

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS ARQUITECTURAS ISA Y DIFFSERV EN UNA PASARELA RESIDENCIAL CON SERVICIOS DE VOZ, DATOS Y VIDEO PARA EL DIMENSIONADO DE UNA RED DOMÓTICA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

JULIO WLADIMIR TORRES TELLO
new_joule@hotmail.com

DIRECTOR: ING. TARQUINO SÁNCHEZ ALMEIDA MBA.

Quito, marzo 2008

DECLARACIÓN

Yo, Julio Wladimir Torres Tello, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Julio Wladimir Torres Tello

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Julio Wladimir Torres Tello, bajo mi supervisión.

Ing. Tarquino Sánchez Almeida MBA.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más grande agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, de cuyas aulas he aprendido mucho no solamente en lo académico, sino también de la vida. A todos los profesores, estudiantes, compañeros y amigos, y demás personas que la integran.

Agradezco de manera particular al Ing. Tarquino Sánchez por su tiempo, ideas y dedicación, que han hecho posible la consecución de este trabajo.

También agradezco a la empresa CINTELAM, y de manera particular al PhD. Héctor Chinchero Villacís, Jefe del Departamento de Domótica & Inmótica de la misma; por toda la ayuda prestada sobre todo en la parte final de este proyecto, con asesoría, tiempo e información.

Pero no solamente quiero agradecer a las personas que han participado directamente en la realización de este proyecto de titulación, sino también a todos aquellos quienes de una u otra manera han sido un soporte durante mi vida, puesto que esto no es solamente la finalización de un proyecto o la obtención de un título, es la culminación de una gran etapa de mi vida y la realización de un gran sueño que empezó muchos años atrás, en mi niñez.

Es así que quiero agradecer en primer lugar a mi familia: mis padres Julio y Adita; mi hermano Juan Carlos, hermano de sangre y del alma; mi abuelita Dolores, mi segunda madre; a todos mis tíos, en especial a Genaro que ha sido como un segundo padre para mí; a mis primos (demasiados para nombrarlos a todos) y demás.

Lindsay, gracias por haber llegado a mi vida en estos momentos en que tanto te necesitaba; por ser un gran apoyo y ayuda para realizar mis sueños; pero sobre todo *thank you for not working on the bridge! I love you so much...*

Y por supuesto un gran agradecimiento para todos mis amigos; en especial Charti, Pao, Karla, Pancho, Rolando, Christian, Fefis, Carlos, Xavier, Majo, Oso, y a todos los demás. Gracias por todos los momentos buenos y malos que hemos pasado, todas las experiencias y enseñanzas. ¡Si se me olvida alguien es por la tensión del momento!

Y por sobre todas las cosas, como diría una querida cantante: Gracias a la vida, que me ha dado tanto...

Julio Torres Tello

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado de todo corazón para mis padres, como un pequeño y silencioso reconocimiento al gran esfuerzo que han realizado durante todos estos años para hacer posible la culminación de esta meta en mi vida.

Julio Torres Tello.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	I
PRESENTACIÓN.....	III
CAPÍTULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO	
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	1
1.2 ENTORNOS INTELIGENTES.....	2
1.2.1 EL HOGAR DIGITAL.....	3
1.2.2 DOMÓTICA.....	4
1.2.3 INMÓTICA.....	5
1.2.4 URBÓTICA.....	6
1.3 SERVICIOS Y APLICACIONES DE LA DOMÓTICA.....	7
1.3.1 GESTIÓN DIGITAL DEL HOGAR.....	8
1.3.2 OCIO Y ENTRETENIMIENTO.....	9
1.3.3 TELECOMUNICACIONES.....	10
1.3.4 APLICACIONES DE VOZ, VIDEO Y DATOS.....	10
1.3.4.1 Voz sobre IP.....	10
1.3.4.1.1 Códecs.....	12
1.3.4.1.2 Protocolos de Señalización.....	13
1.3.4.2 Video streaming.....	14
1.3.4.2.1 Unicast.....	14
1.3.4.2.2 Broadcast.....	15
1.3.4.2.3 Multicast.....	15
1.3.4.3 Transferencia de datos.....	16
1.4 ARQUITECTURA DE LAS REDES.....	17
1.4.1 ARQUITECTURA CENTRALIZADA.....	18
1.4.2 ARQUITECTURA DISTRIBUIDA.....	18
1.4.3 ARQUITECTURA MIXTA.....	19

1.5 COMPONENTES DE UNA RED DOMÓTICA.....	19
1.5.1 SENSORES.....	20
1.5.2 ACTUADORES.....	22
1.5.3 UNIDADES DE CONTROL.....	23
1.5.3.1 Pasarela residencial.....	24
1.5.4 EQUIPOS DE DATOS.....	25
1.6 PRINCIPALES ESTÁNDARES DOMÓTICOS.....	26
1.6.1 EL ESTÁNDAR X10.....	27
1.6.1.1 Descripción del Sistema.....	28
1.6.2 OSGi (OPEN SERVICES GATEWAY INITIATIVE).....	29
1.6.2.1 El Enfoque de OSGi.....	30
1.6.2.2 Características Principales de la Especificación.....	31
1.6.3 UPnP (UNIVERSAL PLUG & PLAY).....	33
1.6.4 LONWORKS.....	35
1.6.4.1 Funcionamiento de LonWorks.....	36
1.6.4.1.1 El protocolo LonTalk (ANSI/EIA 709.1).....	37
1.6.4.1.2 Aspectos Importantes del Neuron Chip.....	39
CAPÍTULO II. ARQUITECTURA Y SERVICIOS DE LA PASARELA RESIDENCIAL	
2.1 DEFINICIÓN DE PASARELA RESIDENCIAL.....	40
2.2 CLASIFICACIÓN.....	41
2.2.1 DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PROVEEDOR DE SERVICIO.....	42
2.2.2 DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL USUARIO.....	42
2.3 ARQUITECTURA.....	43
2.3.1 BLOQUES FUNCIONALES.....	46
2.3.2 FLUJOS EN LOS BLOQUES FUNCIONALES.....	48
2.3.3 PLANOS DE DATOS, CONTROL Y ADMINISTRACIÓN.....	49
2.3.3.1 Plano de Datos.....	49

Pág.

2.3.3.2 Plano de Control.....	50
2.3.3.3 Plano de Administración.....	50
2.3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA RGW.....	51
2.3.4.1 Pasarela Residencial tipo Puente.....	51
2.3.4.2 Pasarela Residencial tipo Ruteador sin NAT.....	51
2.3.4.3 Pasarela Residencial tipo Ruteador con NAT.....	52
2.3.4.4 Pasarela Residencial Híbrida.....	52
2.3.5 PILA DE PROTOCOLOS.....	53
2.4 SERVICIOS QUE PRESTA UNA RGW.....	54
2.4.1 FUNCIONALIDAD.....	54
2.4.2 APLICACIONES.....	55
2.5 TECNOLOGÍAS QUE SOPORTA UNA PASARELA RESIDENCIAL.....	56
2.5.1 EN LA RED DE ACCESO.....	57
2.5.1.1 xDSL Bucle de Abonado Digital.....	57
2.5.1.1.1 ADSL Asymmetric DSL (DSL Asimétrico).....	58
2.5.1.1.2 SDSL Single line DSL.....	59
2.5.1.2 HFC Híbrido Fibra Coaxial.....	59
2.5.1.3 FTTx Fiber To The: Curb, Home.....	61
2.5.1.4 WiMax.....	62
2.5.2 EN LA INSTALACIÓN DOMOCILIARIA.....	63
2.5.2.1 PLC Power Line Carrier.....	63
2.5.2.2 Bluetooth.....	64
2.5.2.3 USB Universal Serial Bus.....	65
2.5.2.4 IEEE 1394 FireWire.....	66
2.5.2.5 Ethernet / IEEE 802.3.....	66

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE CALIDAD DE SERVICIO PARA SOPORTE DE VOZ, VIDEO Y DATOS EN UNA PASARELA RESIDENCIAL

3.1 INTRODUCCIÓN A CALIDAD DE SERVICIO (QoS).....	68
3.2 PARÁMETROS TÉCNICOS INVOLUCRADOS EN QoS.....	70
3.2.1 RETARDO.....	70
3.2.2 VARIACIÓN DEL RETARDO O JITTER.....	71
3.2.3 DISPONIBILIDAD DE ANCHO DE BANDA.....	71
3.2.4 CONFIABILIDAD.....	72
3.3 PROCEDIMIENTOS PARA PROPORCIONAR DIFERENCIACIÓN DE QoS.....	73
3.3.1 PRIMERO EN ENTRAR, PRIMERO EN SALIR (FIFO).....	73
3.3.2 ENCOLAMIENTO BASADO EN CLASES (CBQ).....	74
3.3.3 ENCOLAMIENTO EQUITATIVO PONDERADO (WFQ).....	75
3.3.4 TASA DE ACCESO COMPROMETIDA (CAR).....	77
3.3.4.1 Clasificación de paquetes.....	77
3.3.4.2 Limitación de las tasas de transmisión.....	77
3.3.5 DETECCIÓN ALEATORIA TEMPRANA (RED).....	78
3.4 ARQUITECTURAS DE CALIDAD DE SERVICIO.....	79
3.4.1 ARQUITECTURA DE SERVICIOS INTEGRADOS (ISA).....	80
3.4.1.1 Componentes de la arquitectura ISA.....	82
3.4.1.1.1 Clasificador de Paquetes.....	82
3.4.1.1.2 Planificador de Paquetes.....	82
3.4.1.1.3 Control de Admisión.....	82
3.4.1.1.4 Protocolo de Reserva.....	83
3.4.1.2 El Protocolo RSVP.....	83
3.4.1.2.1 Formato de los mensajes RSVP.....	84
3.4.1.2.1.1 Campo de Cabecera.....	85
3.4.1.2.1.2 Campo de Objeto.....	85
3.4.1.2.1.2.1 Objetos QoS.....	86
3.4.1.2.1.2.2 Parámetros RSVP.....	87
3.4.1.3 Operación de la Arquitectura de Servicios Integrados.....	88
3.4.2 ARQUITECTURA DE SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV).....	91

Pág.

3.4.2.1 Elementos básicos de la Arquitectura DiffServ.....	93
3.4.2.2 Políticas de Control.....	94
3.4.2.3 Comportamiento por salto (PHB).....	95
3.4.2.3.1 Campo DS (Servicios Diferenciados).....	95
3.4.2.3.2 Estandarización PHB.....	97
3.4.2.3.2.1 PHB de Reenvío Expedito (Expedited Forwarding PHB).....	98
3.4.2.3.2.2 PHB de Reenvío Asegurado (Assured Forwarding PHB).....	98
3.4.2.4 El protocolo IEEE 802.1 p/Q.....	99
3.4.3 COMPARACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS ISA Y DIFFSERV.....	101
3.5 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE QoS EN LOS SERVICIOS QUE PRESTA LA PASARELA RESIDENCIAL.....	103
3.5.1 SOLUCIÓN ISA.....	103
3.5.2 SOLUCIÓN DIFFSERV.....	105
3.5.3 COMPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES.....	106
3.5.4 SOLUCIONES CONJUNTAS.....	106

CAPÍTULO IV. DIMENSIONADO EFICIENTE DE UNA RED DOMÓTICA TÍPICA

4.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL INTERNET Y LAS TECNOLOGÍAS EN EL ECUADOR.....	109
4.2 DETERMINACIÓN DEL ESTÁNDAR DOMÓTICO A UTILIZARSE.....	111
4.2.1 TIPOS DE VIVIENDAS.....	111
4.2.2 SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR.....	112
4.2.3 CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL ESTÁNDAR LONWORKS.....	114
4.2.4 VOLUMEN DE TRÁFICO ADICIONADO A LA RED.....	114
4.3 SOLUCIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO.....	115
4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DOMÓTICA.....	116

Pág.

4.4.1 SELECCIÓN DE VIVIENDA Y EQUIPOS.....	116
4.4.1.1 Red de Datos.....	117
4.4.1.2 Red de Control.....	119
4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO.....	124
4.5.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO EN LA RED INTERNA.....	126
4.5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO EN LA RED EXTERNA.....	128
4.5.2.1 Tráfico ascendente.....	129
4.5.2.2 Tráfico descendente.....	129
4.6 SELECCIÓN DE LAS MEJORES TECNOLOGÍAS.....	130
4.6.1 EN LA INSTALACIÓN DOMICILIARIA.....	130
4.6.2 EN LA RED DE ACCESO.....	131
4.7 SELECCIÓN DE LA PASARELA RESIDENCIAL.....	132
4.8 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LA VIVIENDA.....	133

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	138
5.2 RECOMENDACIONES.....	145

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
---------------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A. PLANOS DE LAS VIVIENDAS CONSIDERADAS PARA EL DISEÑO

ANEXO B. CATÁLOGO DE EQUIPOS

ANEXO C. NODOS DE CONTROL

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 El Hogar Digital.....	3
Figura 1.2 Vivienda domótica típica.....	5
Figura 1.3 Edificio inmótico.....	6
Figura 1.4 Infografía Ciudad Vertical Torre Biónica.....	7
Figura 1.5 Tipos de Arquitecturas de Red.....	17
Figura 1.6. Funciones y conexiones típicas de una Pasarela Residencial.....	25
Figura 1.7 Campos de una trama X10 definida en el protocolo.....	28
Figura 1.8. Arquitectura OSGi extremo a extremo.....	30
Figura 1.9. Marco de Servicios de OSGi.....	32
Figura 1.10. Dispositivos UPnP compartiendo recursos.....	35
Figura 1.11 Formato de la trama LonTalk.....	37
Figura 1.12 Formato del paquete LonTalk.....	38
Figura 2.1 La Pasarela Residencial y su papel en la red Domótica.....	41
Figura 2.2 Modelo de Referencia RGW (Pasarela Residencial).....	44
Figura 2.3 Estructura interna genérica de un bloque funcional.....	49
Figura 2.4 Pila de Software de una Pasarela Residencial típica.....	53
Figura 2.5 División de frecuencias en un canal telefónico que usa ADSL.....	59
Figura 2.6 Arquitectura típica de una red HFC.....	60
Figura 2.7 Tarjeta PCI-USB 2.0.....	65
Figura 3.1 Ejemplo de la compartición de enlace en CBQ.....	75
Figura 3.2 Esquema gráfico del procedimiento WFQ.....	76
Figura 3.3 Límites normal y extendido en RED.....	79
Figura 3.4 Diagrama esquemático de un ruteador que realiza un proceso de reserva de recursos.....	83
Figura 3.5 Formato de un mensaje RSVP.....	84
Figura 3.6 Formato de la cabecera de un mensaje RSVP.....	85

Figura 3.7 Formato del campo de Objeto de un mensaje RSVP.....	86
Figura 3.8 Ejemplo de establecimiento de una reserva en ISA utilizando RSVP.....	91
Figura 3.9 Dominio DS y sus elementos básicos.....	94
Figura 3.10 Clasificación y Acondicionamiento de tráfico.....	94
Figura 3.11 (a) Campo ToS dentro de la cabecera IPv4.....	96
Figura 3.11 (b) Campo Traffic Class dentro de la cabecera IPv6.....	96
Figura 3.11 (c) Utilización de los bits del campo DS.....	96
Figura 4.1 HP (Hewlett-Packard) Pavilion Dv6426us.....	117
Figura 4.2 Teléfono IP BudgeTone 100 Series.....	118
Figura 4.3 Switch de 8 puertos Cisco Catalyst 2960 8TC.....	118
Figura 4.4 Esquema de la red de datos.....	118
Figura 4.5 CA IVBL-1U Actuador de corte de agua de dos motores.....	119
Figura 4.6 Sonda de Agua CSA-100.....	119
Figura 4.7 ISH-2600 Detector de humo.....	120
Figura 4.8 ISP-1X Detector de gas.....	120
Figura 4.9 Detector de Presencia de Pared CSP-200.....	120
Figura 4.10 Nodo de Control estándar INS-231X/V3.....	121
Figura 4.11 Nodo de Control de habitación INS-451X/V3.....	121
Figura 4.12 Fuente de Alimentación IFA-200X/V3.....	121
Figura 4.13 Servidor Web IWLON-100X/V3.....	122
Figura 4.14 Pantalla Táctil en Color IPTM-200.....	122
Figura 4.15 Esquema de la red de control.....	123
Figura 4.16 Ejemplo de ocupación del canal en DiffServ.....	128
Figura 4.17 IETH-FTT Nodo Gateway LONWORKS - TCP/IP.....	133
Figura 4.18 Esquema completo de la red domótica.....	134
Figura 4.19 Distribución de la red domótica en la vivienda seleccionada.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Ancho de banda usado por algunos códecs.....	12
Tabla 1.2 Principales protocolos de señalización y sus características.....	13
Tabla 1.3 Tipos de sensores y su ámbito de aplicación.....	21
Tabla 2.1 Resumen de Tecnologías xDSL.....	58
Tabla 2.2 Ventajas e inconvenientes de las tecnologías PLC.....	64
Tabla 3.1 Códigos recomendados para AF PHB.....	99
Tabla 3.2 Prioridades de los distintos tipos de tráfico en IEEE 802.1 p.....	100
Tabla 3.3 Resumen comparativo entre arquitecturas ISA y DiffServ.....	102
Tabla 3.4. Parámetros técnicos a cumplirse en los servicios de la pasarela residencial...	103
Tabla 3.5. Equivalencias entre campos DSCP (DiffServ) y p-bits (IEEE 802.1 p/Q).....	108
Tabla 4.1 Números de puerto de los servicios estudiados.....	116
Tabla 4.2 Tráfico que se maneja en la red interna.....	127
Tabla 4.3 Simbología usada para identificar los dispositivos de la red domótica en el plano de la vivienda seleccionada.....	136
Tabla 5.1 Resumen comparativo entre las arquitecturas ISA y Diffserv.....	141
Tabla 5.2 Valores de los campos DSCP (DiffServ) y p-bits (IEEE 802.1 p/Q) para los servicios estudiados.....	142

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es el de realizar un estudio comparativo entre las arquitecturas ISA y Diffserv para garantizar Calidad de Servicio en el intercambio de información de voz, datos y video en una pasarela residencial, y de esta manera realizar el dimensionado de una red domótica típica de manera eficiente.

En el capítulo primero se hace una descripción de los principales conceptos involucrados en la domótica. Se realiza una introducción a lo que es el hogar digital, la domótica, inmótica y urbótica, cuales son sus aplicaciones y servicios que ofrece; destacando los servicios de voz sobre IP, video streaming y transferencia de datos, sobre los que se menciona sus características principales. Se describen las arquitecturas de estas redes (centralizada, distribuida y mixta); y los estándares domóticos abiertos e interoperables más conocidos en este campo (X10, OSGi, UPnP, LonWorks). Se menciona cuales son los componentes de las instalaciones domóticas y el papel que desempeñan dentro del hogar digital.

Luego, en el capítulo 2 nos centramos en la pasarela residencial; en donde se define a la misma dentro de una instalación domótica, su clasificación (desde los puntos de vista del proveedor de servicios y del usuario), funciones y servicios que ofrece. Se describe de manera detallada la arquitectura en la que se basa este dispositivo, enunciando las posibles implementaciones que se pueden realizar partiendo de dicha arquitectura. Se hace una descripción de las tecnologías mas populares que soporta tanto en la red de acceso como en la instalación domiciliaria.

Ya en el capítulo 3 nos centramos en uno de los objetivos principales de este proyecto, es decir la calidad de servicio (QoS). Aquí se analiza este concepto y sus parámetros técnicos involucrados (retardo, jitter, disponibilidad de ancho de banda y confiabilidad). Se hace una introducción a la provisión de calidad de servicio, mencionando los procedimientos para proporcionar diferenciación de QoS; para luego adentrarnos en el estudio de las arquitecturas ISA y Diffserv; además de comparar las características que poseen estas. En la parte final de

este capítulo se realiza un análisis de requerimientos de QoS en los servicios que presta la pasarela residencial, y cuales son las alternativas para proveerla. También se incluye una comparación entre las soluciones que presentan las dos arquitecturas, y la posibilidad de tener soluciones conjuntas.

En el cuarto capítulo se hace una pequeña delineación de la situación actual del Internet y las tecnologías en el Ecuador, para luego adentrarnos en el objetivo principal del capítulo que es el dimensionado eficiente de una red domótica típica. Primero se selecciona el estándar domótico a aplicarse en nuestra red, considerando a un hogar digital típico como una casa en la que habita una familia promedio integrada por cuatro personas, dos adolescentes con habitaciones independientes y sus padres. Posteriormente se estudian los requerimientos para el dimensionado de la red domótica; y se dimensiona la red considerando los criterios de calidad de servicio del capítulo anterior. Finalmente se señalan las tecnologías recomendables en la red de acceso y del hogar para este escenario y se ubican los equipos correspondientes en el plano de la vivienda.

El quinto y último capítulo consiste en las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de la realización de este proyecto.

PRESENTACIÓN

En la actualidad a nivel mundial se van presentando cada vez más y mejores servicios a través de las redes de información como Internet; pero a su vez también se desarrollan servicios para las redes internas, en los hogares, a lo que se conoce como domótica.

Partiendo de estos antecedentes se desarrolla un dispositivo denominado pasarela residencial que ofrece interconectar la red del hogar con todos los servicios externos.

La pasarela residencial entonces maneja distintos tipos de tráfico, los mismos que deben compartir recursos y a su vez deben permitir a los usuarios gozar de los beneficios de esta nueva tecnología. Para que estos servicios puedan brindarse de la mejor manera y así cumplir con los objetivos de la pasarela residencial se debe garantizar una determinada calidad de servicio en esta; y es por eso que se requiere un análisis de las maneras de proveer QoS en estos dispositivos.

Los servicios a los que accede el usuario a través de una pasarela residencial son variados, así como los equipos con los que se accede a estos, una pasarela residencial puede ser el centro de estas redes en los hogares digitales como en el caso de este proyecto donde se busca dimensionar una red domótica de la forma más eficiente posible, aprovechando los recursos y los servicios de este dispositivo de la mejor manera, ya que esto se traduce en una experiencia superior para el usuario y a un menor costo.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La automatización de manera general nació durante el siglo XIX, donde el avance tecnológico provocó que la industria involucre cada vez más máquinas y menos mano de obra humana, en este proceso las industrias han llegado a depender en un alto grado de procesos automatizados y temporizados.

Pero la automatización no solamente ha sido adoptada por la industria, sino también en tareas comunes que las personas realizamos a diario. Es así que a finales de la década de 1960 se puede decir que aparece por primera vez una generación de edificios denominados “inteligentes” debido a que ya poseen un cierto grado de automatización.

Como en otras tantas áreas tecnológicas, Estados Unidos y Japón han sido los líderes en el desarrollo de la domótica, y fueron los primeros en mencionar los recintos inteligentes a fines de la década de los 70's.

Ya en la década de 1980 aparecen los subsistemas de automatización de intrusión, seguridad e iluminación, evidenciando un grado de integración entre sus componentes, es decir, un sistema puede alertar a otro diferente sobre un acontecimiento específico y obligarlo a actuar o no. Es así que en 1984 en los Estados Unidos nace el proyecto denominado “Smart House” a cargo de la NAHB (National Association of Home Builders) en el que se buscaba integrar los diferentes sistemas de electricidad, informática, etc. que pueden incluirse en una vivienda, dando de esta manera el primer paso hacia un hogar digital y la domótica.

Sin embargo, la automatización de las tareas del hogar es un tema reciente y las tecnologías para poder proporcionar comodidad, ahorro de tiempo y dinero a los

usuarios están en pleno apogeo; y a su vez estas buscan integrar cada vez más servicios en una sola red, usando un mismo protocolo para comunicar a los diferentes sistemas internos de una vivienda. Es este el caso de la pasarela residencial, la que busca ser el dispositivo central de administración de la red domótica, y la puerta de salida del hogar digital al mundo exterior. Esto es importante, ya que el avance tecnológico no se dirige solamente a la automatización de un edificio o una vivienda, sino a la posibilidad de controlar estos recintos de manera remota.

1.3 ENTORNOS INTELIGENTES

Un entorno inteligente consiste en un conjunto de entidades con capacidad de computación compartiendo un mismo espacio físico, y que son capaces de interactuar con el mundo físico, sus habitantes y entre ellas. Dicho con otras palabras es un “espacio interactivo y altamente integrado, que acerca la computación al mundo real”.¹

En palabras más sencillas podemos decir que un entorno inteligente es todo aquello que es capaz de interactuar con el mundo exterior, con el entorno que lo rodea a través de sensores para percibir el medio y por medio de actuadores para modificarlo.

En el caso doméstico los sistemas deben interactuar entre si y con su entorno, pero para evolucionar hacia un entorno inteligente se deben considerar varios aspectos tanto técnicos, como económicos y sociales que permitan un desarrollo de estos.

Al hablar de entornos inteligentes mencionaremos lo que es el hogar digital, y por consiguiente la domótica, ya que estos conceptos van de la mano. Además, no

¹ Definición tomada del documento en línea “El proyecto Interact: El rol de la información contextual” de Pablo A. Haya, Xavier Alamán y Germán Montero Dpto. de Ingeniería Informática. Universidad Autónoma de Madrid <<http://odisea.ii.uam.es/papers/HAMipo2003.pdf>>

podemos dejar de lado a la inmótica y la urbótica, concepciones que surgen de la domótica y que se relacionan estrechamente con esta.

1.2.1 EL HOGAR DIGITAL

El Hogar Digital es una vivienda que a través de equipos y sistemas, y la integración tecnológica entre ellos, gracias a la domótica, ofrece a sus habitantes funciones y servicios que facilitan la gestión y el mantenimiento del hogar, aumentan la seguridad; incrementan el confort; mejoran las telecomunicaciones; ahorran energía, costes y tiempo, y ofrecen nuevas formas de entretenimiento, ocio y otros servicios dentro de la misma y su entorno. ¹

Entonces como vemos un hogar digital es una vivienda que logra la automatización e integración de sus sistemas internos, sea informática, telecomunicaciones, entretenimiento, etc. valiéndose de la tecnología denominada domótica, de la cual hablaremos a continuación. Entonces la domótica es el medio para llegar al hogar digital, y es esta la diferencia, aunque a su vez la relación entre estos dos conceptos.



Figura 1.1 El Hogar Digital²

¹ Definición tomada de <<http://es.wikipedia.org/wiki/Dom%C3%B3tica>>.

² Figura tomada del documento “Redes del Hogar y Pasarela Residencial” de Pedro J. Lizcano Martín; Telefónica Investigación y Desarrollo S.A.

En la figura 1.1 vemos fotografías de un hogar digital con dispositivos domóticos con diferentes aplicaciones, de las más típicas.

1.2.2 DOMÓTICA

Para definir a la domótica vamos a comenzar por el origen etimológico de la palabra, el cual es: *domo* que proviene del latín “domus” que significa casa y del sufijo “tica” que viene de *automática* o *informática*.

En Francia se adoptó la unión de las contracciones “Domo” e “Informatique” para formar la palabra “Domotique” que en 1998 se definía el término domótica en la enciclopedia Larousse como "el concepto de vivienda que integra todos los automatismos en materia de seguridad, gestión de la energía, comunicaciones, etc.", cuyo objetivo es asegurar al usuario de la vivienda el aumento de estas características, por lo que la domótica se refiere al conjunto de las técnicas utilizadas para satisfacer las necesidades básicas del hombre y su entorno en cuanto a seguridad, confort y la automatización de la gestión e información de las viviendas.¹

Es así que podemos definir a la domótica como una tecnología que tiene vigencia en un edificio de oficinas, en uno de viviendas o simplemente en cualquier hogar, y es útil para interconectar equipos y sistemas entre si y hacia el mundo exterior con la finalidad de incrementar la seguridad, el confort, mejorar las telecomunicaciones, el ahorro energético, el entretenimiento, etc. de los usuarios de la misma.

Al hablar de domótica debemos tener cuidado en diferenciar una vivienda automatizada de una vivienda domótica, ya que para llamar a un recinto automatizado también domótico, se deben integrar los sistemas de control, telecomunicaciones y gestión en uno solo.

¹ Definición tomada de <<http://www.fortunecity.com/campus/spanish/184/domotica/domotexto.htm>>.

Entran en el concepto de domótica otros dos términos, que son la inmótica y la urbótica y que tienen relación principalmente por los procesos de automatización aunque se distinguen en el campo de acción y aplicación; pero de estos términos hablaremos luego.

En la figura siguiente observamos un recinto domótico típico, con los servicios más comunes que son interconectados por medio de una red doméstica o domótica.



Figura 1.2 Vivienda domótica típica¹

1.2.5 INMÓTICA

Uno de los nuevos conceptos que están siendo introducidos en el mismo campo de la domótica es el de la inmótica. Podemos definir a la inmótica según lo hace la Universidad de Valencia como la integración de servicios, dispositivos e instalaciones orientadas a la automatización de edificios y zonas comunitarias,

¹ Figura tomada de <<http://www.domoticaviva.com/noticias/insta8.jpg>>.

posibilitando la gestión eficazmente sostenible e inteligente de recursos climáticos, control de accesos, alumbrado, motorización y alarmas.

Como se había mencionado con anterioridad la inmótica se relaciona directamente con la domótica, e incluso se podría decir que es una parte específica de ésta, debido al concepto general que adopta la domótica; pero así como tienen similitudes especialmente en lo que se refiere a los procesos de automatización, puesto que son los mismos; también podemos hablar de diferencias que se localizan en lo referente al campo de acción y aplicación, ya que las funciones que se pretenden integrar se particularizan de acuerdo a las necesidades.

Así, podemos hablar que este es un término que hace referencia a la gestión técnica orientada a los grandes edificios, como por ejemplo bancos, industrias, museos, hoteles, etc. como el que podemos observar en la figura 1.3.



Figura 1.3 Edificio inmótico1

1.2.6 URBÓTICA

Este es un término bastante nuevo y no muy conocido, el mismo que surge de la misma tendencia de la inmótica, es decir, así como al aplicar la domótica a los

¹ Fotografía tomada de <<http://www.itresa.com/imagenes/fotos/inmotica.jpg>>.

edificios y zonas comunitarias llegamos a esta, para hablar de urbótica decimos que se aplican los conceptos de automatización y control de la domótica a centros urbanos, con lo que también podríamos incluir el término “ciudad inteligente” en la misma línea del hogar inteligente.

Este término futurista de la ciudad inteligente abarca varios aspectos de la vida en sociedad, y de su manejo a través de la tecnología que se involucraría en aspectos como el control del tráfico vehicular, la distribución de espacios, el uso de tecnologías de telecomunicaciones, etc. Es este sentido se desarrollan varios proyectos de ciudades inteligentes alrededor del mundo, sobre todo en los países y ciudades más avanzados, como por ejemplo la “Ciudad Vertical Torre Biónica” en Shanghai, a la que observamos en un diseño tridimensional.



Figura 1.4 Infografía Ciudad Vertical Torre Biónica¹

1.3 SERVICIOS Y APLICACIONES DE LA DOMÓTICA

En un mundo cada vez más desarrollado tecnológicamente y que está constantemente evolucionando se desarrollan una gran variedad de servicios y

¹ Infografía tomada de <<http://www.torrebionica.com/bvs/bvs.htm>>.

aplicaciones de las que podemos disfrutar en nuestros hogares, y que pueden ser integrados en las redes domóticas; a continuación mencionaremos los principales servicios, pero para facilitar su análisis los clasificamos en tres grupos de acuerdo a la afinidad que poseen estos entre si; de esta manera mencionaremos las generalidades de cada grupo, y señalaremos que servicios específicos pueden estar incluidos en ellos.

Esta clasificación se menciona en documentos del grupo de Investigación y Desarrollo de Telefónica S.A. de España y surge por la tendencia que tienen las tecnologías a evolucionar en estas líneas, y por las implementaciones que podemos encontrar comúnmente.

1.3.1 GESTIÓN DIGITAL DEL HOGAR

En el campo de la gestión digital del hogar tenemos que señalar que se refiere al manejo óptimo de los recursos y de los sistemas de control del hogar digital, y además a la seguridad del inmueble, la misma que considera tres factores fundamentales que son la seguridad del individuo, la del patrimonio, y la relacionada con eventos de emergencia; valiéndose para esto de dispositivos como temporizadores, termostatos, sensores de iluminación y presencia, alarmas, etc.

Entre los servicios relacionados a este primer campo tenemos los siguientes:

- Tele – asistencia.
- Tele – seguridad.
- Alarmas por teléfono
- Detección de intrusión y simulación de presencia.
- Compra automatizada.
- Control de iluminación.
- Control de persianas y toldos.
- Control de climatización.
- Vigilancia de fuegos, gas, etc.

- Control de piscinas.
- Energía solar.
- Portero automático.
- Automatización del riego.
- Información del estado del sistema.

1.3.2 OCIO Y ENTRETENIMIENTO.

Otra de las áreas que toma gran importancia en el hogar digital es la del ocio y entretenimiento, debido a las nuevas generaciones de televisiones digitales e interactivas, el desarrollo de los juegos en red, la cantidad de música y videos en Internet, etc. Pero no solamente incluimos aquí funciones de ocio, sino también algunas que pueden ayudar de uno u otro modo al trabajo desde el hogar que es una tendencia creciente especialmente en países desarrollados; entre las más importantes tenemos:

- Video bajo demanda.
- Música bajo demanda.
- Juegos en red.
- Tele – educación.
- Personal Video Recording.
- Tienda en casa.
- EPG (Electronic Program Guide).
- Servicios de información a la medida.
- Banca en casa.
- Internet TV.
- Publicidad Interactiva.
- Apuestas on line.
- Chats / comunidades.
- Fotografía Digital.

1.3.3 TELECOMUNICACIONES.

Este es un campo muy importante en los servicios y aplicaciones que ofrece una instalación domótica, ya que permite a los usuarios interactuar entre si dentro de la misma vivienda y además con el mundo exterior, permitiendo por ejemplo el control de dispositivos de manera remota. Es entonces un área que se relaciona profundamente con las dos anteriores.

Entre los principales aspectos considerados podemos mencionar:

- Acceso a Internet.
- Videoconferencia a través de PC, TV, videoteléfono.
- Mensajería unificada.
- Control de toda la instalación domótica de forma remota.

1.3.4 APLICACIONES DE VOZ, VIDEO Y DATOS

En el contexto de este trabajo vamos a enfocarnos principalmente en tres aplicaciones, las mismas que abarcan las características principales del tráfico que se va a cursar en la red domótica y estas son: voz sobre IP, video streaming y transferencia de datos. A los servicios mencionados anteriormente los podemos incluir en alguna de estas tres categorías, y los parámetros de calidad de servicio de estos serán satisfechos al analizar estas aplicaciones, pero de esto se estudiará con más profundidad en los capítulos 3 y 4; por el momento definiremos dichas aplicaciones y mencionaremos que clase de tráfico generan en la red.

1.3.4.1 Voz sobre IP

Al hablar de VoIP (*Voice over IP*), al igual que en el caso de video streaming nos estamos refiriendo a un tipo de las aplicaciones multimedia, es decir diferentes tipos de medios como texto, imágenes, gráficos, audio y video entre otros. A estas aplicaciones multimedia o multimedios las podemos clasificar de acuerdo a la

direccionalidad de los flujos en dos grupos: Interactivas y; Distribución o también denominadas *Streaming*.

A las aplicaciones de Distribución las mencionaremos en Video Streaming, por ahora nos ocuparemos de las Interactivas. Estas son aplicaciones que contienen audio y/o video tomadas generalmente de fuentes vivas, por lo que se las llama real time o en tiempo real, en este caso suelen interactuar personas y/o aplicaciones simultáneamente en el sistema.

Las aplicaciones multimedia interactivas, se caracterizan porque los participantes (clientes) envían y reciben flujos multimedia. Generalmente se adquiere la información multimedia de fuentes vivas como cámaras y micrófonos. Se puede mencionar la videoconferencia y voz sobre IP como aplicaciones típicas de este tipo.¹

La voz sobre IP es un conjunto de recursos que permiten que la señal de voz sea transmitida a través de Internet o cualquier red que maneje el protocolo IP, como por ejemplo una red de área local. Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital en paquetes en lugar de enviarla en forma de circuitos como una compañía telefónica convencional o PSTN². Una de las principales ventajas de esta tecnología es el ahorro de costos, sobretodo en llamadas de larga distancia, y en empresas que subutilizan el ancho de banda que tienen disponible.

En una red de conmutación de paquetes, los paquetes individuales de la señal de voz viajan por caminos diferentes de la red para, posteriormente, ser reensamblados ordenadamente en el destino: si bien es que esto supone un aumento de la eficiencia de la utilización de recursos respecto a las redes de conmutación de circuitos como la PSTN o RTPC, va suponer una serie de limitaciones en cuanto a la calidad de la voz recibida. Por otra parte, el funcionamiento característico de las redes de paquetes va a tener implicaciones

¹ Tomado del Proyecto de Titulación “Diseño e implementación de un sistema de transmisión de audio y video por Internet para la ex-facultad de ingeniería eléctrica” de los Ing. Granja y Vega. E.P.N. Pág. 30.

² PSTN = Public Switched Telephonic Network o Red Telefónica Pública Conmutada.

importantes sobre la fiabilidad del sistema, sobretodo cuando el usuario está acostumbrado a disfrutar de unos niveles de disponibilidad de aproximadamente el 99.999 % típico de la PSTN, algo muy difícil de conseguir en una red de datos.¹

1.3.4.1.1 Códecs

Existe un componente fundamental en la transmisión de voz sobre paquetes, al cual se denomina códec (COdificador - DECodificador), el cual es un elemento, ya sea de hardware o software, que se encarga de convertir la señal analógica de la voz humana en un conjunto de muestras digitales aptas para su transmisión sobre las redes de datos, y viceversa. En este sentido, existen gran variedad de especificaciones, las cuales se diferencian principalmente por su mayor o menor grado de compresión de los datos, aunque a veces esto también puede representar un cierto nivel de degradación de la calidad de la voz. En la siguiente tabla se presenta un resumen sobre la velocidad binaria o ancho de banda requerido por algunas de las especificaciones más comunes:

ESPECIFICACIÓN	ANCHO DE BANDA (kbps)
G.711	64
G.722	64
	48
G.726,G.727	40
G.721, G.726,G.727	32
G.726,G.727	24
G.726,G.727	16
G.728	16
	12.8
G.729	8
G.729 A	8
G.723.1	5.3

Tabla 1.1 Ancho de banda usado por algunos códecs.²

¹ Tomado del libro “Tecnologías de Telecomunicaciones” de José Huidobro y otros. España. 2006. Pág. 232.

² Datos tomados de < <http://en.wikipedia.org/wiki/G.722>> y del libro “Integración de Voz y Datos” de José Huidobro y David Roldán. España. 2003. Pág. 326.

1.3.4.1.2 Protocolos de Señalización

Estos protocolos son de gran importancia en la transmisión de la voz sobre IP, o sobre cualquier red basada en conmutación de paquetes o circuitos. Como señalización se entiende al conjunto de informaciones intercambiadas entre dos puntos de una red, con el objetivo de direccionar, establecer, mantener y finalizar una sesión. En este caso especial de voz sobre IP, la arquitectura de señalización debe soportar servicios tanto antiguos como nuevos, ofrecidos por puntos finales inteligentes, a la vez que conservan la privacidad e integridad de la información del usuario. Para cumplir con estas características existen varios protocolos, de los cuales hemos escogido los tres más importantes, y sus características principales se mencionan en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICA	H.323	SIP ¹	MGCP ²
Organismo de Estandarización	ITU	IETF	IETF
Arquitectura	Distribuida	Distribuida	Centralizada
Versión actual	H.323v4	RFC 2543-bis07	MGCPv1.0
Responsable del control de llamadas	Gatekeeper	Servidor Proxy o servidor de desvío	Controlador de pasarela
Puntos terminales	Pasarela, terminal	Agente de usuario	Media gateway
Protocolo de transporte	TCP o UDP	TCP o UDP	TCP o UDP
Soporte multimedia	Si	Si	Si
Servicios suplementarios proporcionados por:	Puntos terminales o el responsable del gatekeeper	Puntos terminales o el responsable del gatekeeper	El agente de llamadas

Tabla 1.2 Principales protocolos de señalización y sus características.

VoIP es un ejemplo típico de una aplicación con requisitos real time, al menos para el flujo de datos y low latency para la señalización. Para la voz sobre IP el punto crucial es el retardo causado por la red debido al rendimiento en el caso de congestión.

¹ SIP = Session Initiation Protocol (Protocolo de Iniciación de Sesión).

² MGCP = Media Gateway Control Protocol.

1.3.4.2 Video streaming

En el otro lado de las aplicaciones multimedia, tenemos a las aplicaciones Distribuidas o de Streaming que son aquellas en donde hay una o varias estaciones que sólo emiten flujos multimedia, llamadas servidores de streaming, y hay una o más estaciones que sólo reciben estos flujos multimedia y su función principal es reproducirlos.

En video streaming no es necesario que el archivo completo haya sido descargado para que sea utilizado, así que podemos ver el video directamente desde el servidor; esto puede describirse como “hacer un clic y obtener”. Para realizar este proceso el archivo localizado en el servidor de streaming es dividido en paquetes, a los que se les añade información de sincronización para su posterior envío a través de la red (cualquiera que ésta sea). Cuando estos paquetes llegan al host del usuario son almacenados en el búfer y, al ser suficiente la información almacenada aquí se inicia la reproducción de archivo de video; mientras tanto el búfer sigue recibiendo paquetes y la reproducción del archivo continúa. De este modo el usuario recibe una secuencia de video continua, siempre y cuando las condiciones de la conexión sean suficientes para este flujo de datos y no cambien considerablemente durante el proceso.

La distribución de video por una red TCP/IP puede realizarse de tres formas, de acuerdo al comportamiento del servidor respecto a los flujos de información; las mismas que serán mejores o peores de acuerdo al entorno en el que se las utilice, y estas son:

1.3.4.2.1 Unicast

En esta forma de operación se ubica a cada host dentro de la red por su respectiva dirección IP, y los flujos de paquetes se encaminan de acuerdo a estas direcciones; es así que cada receptor significa un flujo de datos independiente y el ancho de banda requerido por el servidor está en directa relación con el número de usuarios que solicitan el servicio en determinado instante. Los problemas que

se presentan en esta forma de operación tienen que ver con un alto número de usuarios, y por ende de peticiones y de paquetes generados, ya que si esto ocurre la red podría llegar a colapsar; pero unicast resulta adecuado cuando los usuarios tienen su propia conexión con el servidor para intercambiar información de control sobre la secuencia que está recibiendo, o en redes con poco volumen de tráfico.

1.3.4.2.2 Broadcast

Con esta forma de transmisión se requiere solamente enviar un flujo de información a todos los hosts de una red, usando para esto la dirección de broadcast de dicha red; con lo que el número de estaciones no influye en la cantidad de tráfico generado por el servidor streaming. El inconveniente de este sistema es que todas las estaciones recibirán este tráfico, lo deseen o no, a menos que se bloquee el tráfico broadcast, lo que podría ocasionar que se pierdan algunos mensajes importantes.

1.3.4.2.3 Multicast

Multicast combina las características de las formas de operación de unicast y broadcast, para resolver así los principales problemas que tienen estas, es decir la ocupación innecesaria de ancho de banda y la transmisión a todas las estaciones de la red.

Esta forma de operación se basa en utilizar un conjunto de protocolos que permiten crear direcciones IP multicast. De este modo, asociando una dirección multicast a un grupo, sólo es necesario enviar un único flujo a dicha dirección IP, y los routers se encargarán de hacer llegar la información a los hosts suscritos a dicha dirección IP multicast. La principal ventaja de usar multicast es la disminución del tráfico en la red; los datagramas que comparten un grupo de enlaces hasta sus destinos sólo precisan ser transmitidos una vez y sólo se

replica el mensaje cuando es necesario, recayendo la responsabilidad de la duplicación de paquetes en los routers (para hacer llegar una copia a cada miembro del grupo), de modo que estos aseguren que los paquetes viajarán una vez por cada enlace como máximo (basta con asegurar que todos los miembros reciben una copia del mismo paquete). De este modo, la responsabilidad de la gestión de pertenencia a un grupo reside en la red, y serán los routers o en nuestro caso la pasarela residencial, quienes mediante protocolos de enrutamiento se encarguen de mantener esta información. En cuanto a la denominación de los grupos, cada uno se identificará mediante un nombre lógico o dirección multicast.¹

Video streaming es un ejemplo de aplicación con requisitos de real time que puede generar un volumen de tráfico considerable, por lo que se tendrán dos clases diferentes: video de baja y alta calidad. Los parámetros que más afectan a este tipo de aplicación son el de la tasa de transmisión y la pérdida de paquetes. En cuanto a la pérdida de paquetes, esta se encuentra determinada por el medio de transmisión que usemos y la confiabilidad de la red; por otro lado la tasa de transmisión o ancho de banda que usa la aplicación es la que determina la calidad del servicio, este parámetro varía desde 25 kbps por flujo (poca calidad), hasta 2 Mbps que obviamente es el de excelente calidad.

1.3.4.3 Transferencia de datos

A esta aplicación ya no la catalogamos como multimedia, y es la más básica y de menores exigencias de las que vamos a analizar, aunque no por esto le vamos a restar importancia.

Esta aplicación está muy relacionada con lo que es navegación Web en Internet, transferencia de datos *peer to peer*, etc. y sus requisitos en cuanto a calidad de servicio son bajos y dependen de la aplicación específica; es por eso que se la cataloga como elastic o best effort, es decir su transmisión no es tan crítica y

¹ Tomado del Proyecto de Titulación “Diseño e implementación de un sistema de transmisión de audio y video por Internet para la ex-facultad de ingeniería eléctrica” de los Ing. Granja y Vega. E.P.N. Pág. 43 y 44.

puede sufrir retardos o incluso puede tener paquetes descartados sin implicaciones graves en la operación de la red. Entre los protocolos más destacados, y que tomaremos en cuenta en posteriores capítulos tenemos a HTTP (Hypertext Transfer Protocol o Protocolo de Transferencia de Hipertexto) y, SMTP (Simple Mail Transfer Protocol o Protocolo Simple de Transferencia de Correo) y POP3 (Post Office Protocol version 3 o Protocolo de oficina de correos 3); que respectivamente son los encargados de la transferencia de datos vía Web y los protocolos más difundidos para la transferencia de correo electrónico.

1.4 ARQUITECTURA DE LAS REDES

Al hablar de una arquitectura de redes, nos referimos a la distribución no solamente física, sino también en el ámbito del procesamiento, de los sistemas y elementos de control de la red dentro de la instalación domótica, inmótica o urbótica. A estas arquitecturas se las ha clasificado en dos tipos que son centralizadas y distribuidas.

En la figura de la página siguiente podemos observar una representación esquemática de los dos tipos principales de arquitecturas de redes, para facilitarnos la comprensión de las mismas.

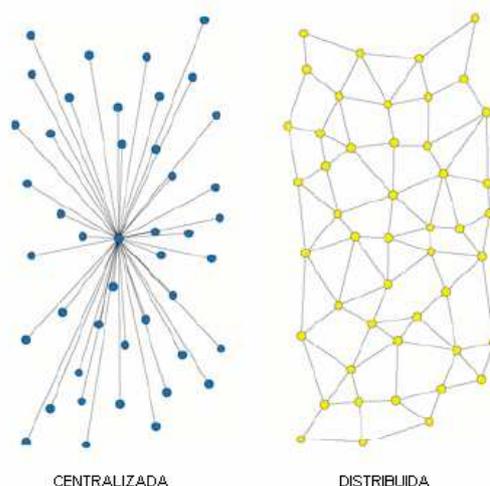


Figura 1.5 Tipos de Arquitecturas de Red

1.4.1 ARQUITECTURA CENTRALIZADA

Como su nombre lo indica esta es una arquitectura con un elemento central de gestión y control de la red, en la que todos los elementos a controlar y supervisar han de comunicarse con este. Dicho elemento, el cual puede ser un computador o algún otro dispositivo como una pasarela residencial, recibe información a través de los sensores, donde la procesa y toma decisiones que serán ejecutadas por medio de los actuadores.

El principal problema de este tipo de arquitectura es la dependencia de la red de un dispositivo único, el mismo que puede fallar y dejar fuera de operación a todo el sistema domótico. Aunque como ventajas posee la relativa facilidad en su instalación respecto a las redes de arquitectura distribuida; y su bajo costo, ya que no requiere módulos adicionales para el direccionamiento.

1.4.2 ARQUITECTURA DISTRIBUIDA

En este tipo de arquitectura no tenemos un único elemento central de control como en el caso anterior, sino que este se sitúa próximo al elemento a controlar y es útil para este, es decir, vamos a tener varias unidades de control en la misma red.

Ahora podemos diferenciar la distribución no solamente física, sino también en el ámbito del procesamiento de los sistemas y elementos de control dentro de la red; ya que ambos pueden estar distribuidos, o solo uno de ellos.

A diferencia de la arquitectura centralizada, estos sistemas se comunican por medio de un bus, en el cual existe un protocolo de comunicaciones implementado en cada uno de los subsistemas con unas técnicas de direccionamiento definidas para mantener el intercambio de información entre los diferentes elementos. Por tanto, el costo de los elementos del sistema es elevado e implica una necesidad de compatibilidad entre ellos y debido a estas desventajas es que la oferta de los

productos en el mercado es reducido.¹ Pero no todo son desventajas, podemos señalar que tienen una gran flexibilidad, puesto que se pueden agregar o retirar elementos de red de acuerdo a nuestras necesidades; no se depende de un solo elemento central para que mantenga activa la red, es decir, si un dispositivo deja de funcionar no afecta la funcionalidad de la red en sí y esta se mantiene activa; y permiten el ahorro de cableado en su instalación.

1.4.3 ARQUITECTURA MIXTA

Si combinamos las dos arquitecturas antes mencionadas, obtendremos una arquitectura mixta, en la cual los dispositivos de control de la red serán distribuidos, pero cada uno de estos a su vez centralizará el procesamiento de algunas funciones, es decir, tendremos una especie de estructura jerárquica, en la cual generaremos una red central distribuida constituida por los elementos de control; y cada uno de estos constituirá una red centralizada a su alrededor. Esta arquitectura combinará las ventajas de las primeras, puesto que ya no existe un punto único de falla y, la instalación y administración de la red no se complica demasiado.

1.5 COMPONENTES DE UNA RED DOMÓTICA

Son muchos los elementos de hardware que componen una instalación de una red domótica y que permiten que esta opere, pero los podemos clasificar y agrupar de acuerdo a sus funciones en sensores, actuadores y elementos de control. Aquí también debemos hacer una mención a los equipos de datos, ya que no estamos solamente estudiando una red de control, sino esta es también una de datos.

¹ Tomado del Trabajo de Grado del Ing. Oscar Henao “Hardware y Software domótico” Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Pág. 51.

1.5.1 SENSORES

Un sensor es un dispositivo que detecta determinadas magnitudes físicas como: velocidad, temperatura, presión, etc. que son útiles para ciertas aplicaciones domóticas y, luego de obtener la información la transforma en una magnitud válida para los dispositivos de control (típicamente voltaje o corriente eléctrica); es decir es un tipo de transductor.

Estos dispositivos son muy útiles en una instalación domótica, ya que son la primera etapa en el control automático de los sistemas, pues estos toman las medidas de las variables a ser controladas y nos indicarán cuando un proceso debe iniciarse y cuando debe finalizarse. Es por esto que se debe también tomar en cuenta la calidad del sensor según su aplicación sea más crítica o no, ya que de esto dependerá la respuesta del sistema ante los distintos escenarios que se presenten.

Para evaluar la calidad de un sensor, es necesario considerar algunos factores técnicos como los siguientes:

- **Amplitud:** Valor máximo que puede alcanzar una magnitud oscilante en un periodo de tiempo.
- **Calibración:** Es simplemente el procedimiento de comparación entre lo que indica un instrumento y lo que "debería indicar".
- **Error:** Entenderemos por error de medición a la diferencia existente entre el valor obtenido al medir una variable con relación a su valor real y objetivo.
- **Confiabilidad:** Se puede definir como la capacidad de un sistema de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un sistema realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.
- **Resolución:** Es el menor cambio en la magnitud medida que puede generar un cambio en la magnitud de salida.

- Sensibilidad: Es la relación entre la variación de la salida y el cambio en la variable medida.

En la siguiente tabla se mencionan algunos tipos de sensores, de los más comunes, y su ámbito de aplicación en un hogar digital.

AMBITO DE APLICACIÓN	TIPO DE SENSOR
Gestión climática	Sensores de temperatura (resistivos, semiconductores, termopares, etc.), termostatos, sondas de temperatura para inmersión, para conductos, para tuberías, sensores de humedad, sensores de presión, etc.
Gestión contra incendio	Sensores iónicos, termovelocímetros, sensores ópticos, infrarrojos, sensores ópticos de humo, de dilatación, etc.
Gestión contra intrusión y/o robo	Sensores de presencia por infrarrojos, por microondas, o por ultrasonidos, sensores de apertura de puertas o ventanas, sensores de rotura de cristales, sensores de alfombra pisada, etc.
Control de presencia	Lector de teclado, lector de tarjetas, identificadores corporales.
Control de iluminación	Sensor de luminosidad.
Otros sistemas	Sensores de lluvia, viento, de gas, de consumo eléctrico, de nivel de depósitos, etc.

Tabla 1.3 Tipos de sensores y su ámbito de aplicación.1

En el momento de seleccionar un sensor para una aplicación específica debemos considerar varios factores:²

1. El tipo de medición que se requiere, por ejemplo, la variable que se va a medir, su valor nominal, el rango de valores, la exactitud, velocidad de medición y confiabilidad requeridas, las condiciones ambientales en las que se realizará la medición.

¹ Tomado del Trabajo de Grado del Ing. Oscar Henao "Hardware y Software doméstico" Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Pág. 77.

² Tomado del libro "Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico e Ingeniería Mecánica y Eléctrica" de William Bolton. Pág. 48.

2. El tipo de salida que se requiere del sensor, lo cual determinará las condiciones de acondicionamiento de la señal, a fin de contar con las señales de salida idóneas para la medición.
3. Con base en lo anterior se pueden identificar algunos posibles sensores, teniendo en cuenta rango, exactitud, linealidad, velocidad de respuesta, confiabilidad, facilidad de mantenimiento, duración, requisitos de alimentación eléctrica, solidez, disponibilidad y costo.

La selección de un sensor no se puede hacer sin considerar el tipo de salida que el sistema debe producir después de acondicionar la señal; por ello, es necesaria una integración idónea entre sensor y acondicionador de la señal.

1.5.2 ACTUADORES

Los sistemas de actuadores son elementos que se encuentran en cualquier sistema de control, los mismos que transforman la señal de salida de un microprocesador o una unidad de control en una acción que permita controlar alguna máquina o dispositivo. Estos actuadores se sirven de la información obtenida a través de los sensores o transductores, la misma que es procesada por la unidad de control y que permite operar a los actuadores, afectando de alguna manera a la vivienda o edificio; es por esto que se los considera como la salida del sistema domótico.

Podemos clasificar a los actuadores, de acuerdo a su constitución en tres tipos diferentes:

- *Electromecánicos* como por ejemplo relés, contactores, electroválvulas, motores, porteros eléctricos.
- *Acústicos*, entre los que se pueden mencionar a las sirenas, altavoces, bocinas, etc.

- *Luminosos*, que pueden ser monitores, lámparas, paneles entre otros.

Cada uno de estos actuadores será seleccionado según la aplicación para la que sean requeridos dentro de la instalación domótica y la manera en que se quiera disponer de esa aplicación de acuerdo a las preferencias propias de cada usuario de la red.

1.5.3 UNIDADES DE CONTROL

Si consideramos un problema de control sencillo, como la secuencia de las luces roja, amarilla y verde del semáforo, basta recurrir a un sistema de control electrónico que contenga circuitos integrados, de lógica combinatoria y de lógica secuencial. Sin embargo, en situaciones más complejas se deben controlar muchas más variables pues la secuencia de control es más complicada. La solución más sencilla en este caso no es construir un sistema basado en la interconexión de circuitos integrados de lógica combinatoria y secuencial, sino en el uso de un microprocesador para que el software realice las funciones correspondientes.¹

El sistema de control de una red domótica es la parte principal de esta, ya que es el lugar donde la información es procesada y que permite que la red opere de la manera prevista. Todos los datos obtenidos de los sensores de la red son adquiridos por las unidades de control, donde estos se procesan, interpretan y son transformados en nueva información que permitirá el funcionamiento de los actuadores. Podemos decir que las unidades de control son el “cerebro” de la instalación domótica, inmótica o urbótica, según sea el caso.

Es también necesario mencionar que para la operación de estas unidades de control se requiere de un software especializado, que permita la interacción de

¹ Tomado del libro “Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico e Ingeniería Mecánica y Eléctrica” de William Bolton. Pág. 339

estas con los distintos dispositivos interconectados, ya que es el software el que realiza las tareas de procesamiento, es el que le da sentido al hardware.

Como ya hemos descrito anteriormente, las redes domóticas pueden distribuir sus unidades de control de diversas formas, originando tipos de arquitecturas: centralizada, distribuida o mixta; de acuerdo a las necesidades de cada sistema. En este proyecto nos enfocaremos en el estudio de una unidad de control en especial denominada pasarela residencial, la cual es usada en una arquitectura de red mayoritariamente centralizada o mixta.

1.5.3.1 Pasarela residencial

En un concepto general, primeramente nos vamos a remitir a lo que es una Pasarela de Servicios o “Services Gateway”; siendo esta un servidor que se incluye entre la red interna donde están los usuarios, y la red externa donde están los proveedores de servicios, permitiendo la interacción de estos. Esta pasarela de servicios debe ser capaz de manejar flujos de datos y también multimedios. Cuando esta pasarela de servicios se enfoca principalmente a negocios pequeños y sobretodo a viviendas, toma el nombre de Pasarela Residencial.

De esta manera, podemos definir a una Pasarela Residencial como una unidad de control que conecta las infraestructuras de telecomunicaciones (datos, control, automatización, etc.) de la vivienda a una red pública de datos, típicamente la Internet. Este dispositivo normalmente combina las funciones de un ruteador, de un hub, de un módem con acceso a Internet para varios PC's, de firewall e incluso de servidor de aplicaciones de entretenimiento, como video streaming; de comunicaciones, como VoIP; o de telecontrol. Generalmente se promociona a la Pasarela Residencial como el elemento que permite la interconexión total de la red domótica interna de una vivienda con el mundo exterior, permitiendo fácilmente la gestión remota de los servicios del hogar digital, y es esto lo que se muestra en la figura 1.6.

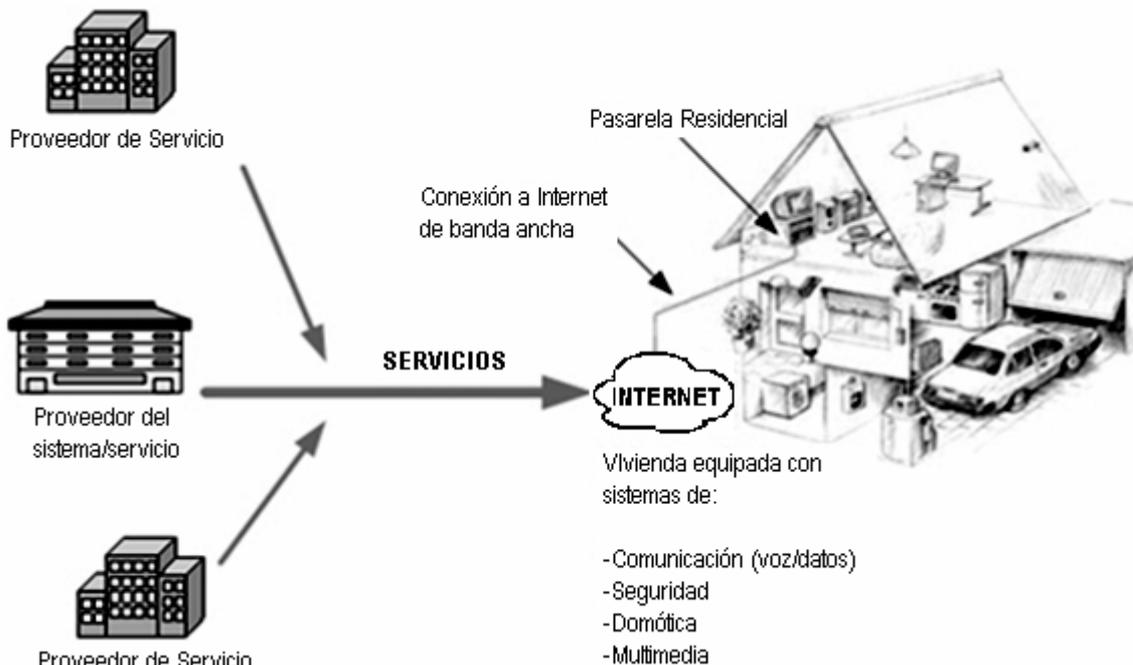


Figura 1.6. Funciones y conexiones típicas de una Pasarela Residencial.¹

1.5.4 EQUIPOS DE DATOS

Si estamos considerando que la red domótica no sólo maneja servicios de control, sino también de telecomunicaciones, ocio y entretenimiento; es necesario mencionar como componentes de este tipo de redes a los equipos de datos. Hoy en día existen una infinidad de estos, pero aquí mencionaremos algunos de los más difundidos:

- Televisión digital.
- Teléfono móvil.
- PDA o agenda personal digital.
- Reproductor de DVD.
- Computadores personales o de escritorio.
- Teléfonos IP.
- Cámara Web.

¹ Gráfico tomado de la dirección electrónica:
 <<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=49&m=15&idm=60&pat=14&n2=14>>.

- Consola de videojuegos.
- Cámara fotográfica digital.
- Cine en casa.

1.6 PRINCIPALES ESTÁNDARES DOMÓTICOS

Al igual que ocurre en todo tipo de tecnologías noveles, la domótica necesita de estándares para su implantación masiva. Históricamente uno de los grandes problemas que se les ha achacado al bajo promedio de la implantación de las tecnologías de la información en los hogares, ha sido la existencia de múltiples tecnologías para ser aplicadas al entorno doméstico: X10, EIB, LonWorks, etc. Los implantadores de tecnología podían usar diferentes estándares para atender las necesidades de los clientes, sin embargo, la inexistencia de aplicaciones generalistas y con relaciones de precio y calidad tan altas que no se justifican, han hecho que el mercado domótico sea muy reducido.¹

Sin embargo, en los últimos años y gracias a la llegada de Internet, los estándares tecnológicos relacionados con este mercado han florecido y parecen constituirse en la columna vertebral del futuro de la domótica. Otro de los factores influyentes en este desarrollo es el uso de estándares abiertos, ya que estos permiten una mayor innovación en las tecnologías.

La estandarización ha sido uno de los pilares de la economía moderna y del progreso tecnológico. Sin estandarización, no habría producción en masa ni comunicaciones en masa. Hoy en día vivimos en un mundo estandarizado con casi 800.000 estándares globales, de acuerdo al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos. Una porción significativa de esas tecnologías de la información y comunicación gubernamentales se han vuelto cruciales para nuestra sociedad moderna.²

¹ Tomado del documento on line “¿Hacia un entorno inteligente?” de Alfredo Romero. <<http://diarioed.com/blog/ana/archivo/000792.php>>.

² Tomado del artículo “Standards – A new challenge for ComSoc” publicado en la IEEE Communications Magazine. Agosto 2005.

Como se mencionó anteriormente la cantidad de estándares domóticos es enorme, debido al número de empresas que han incursionado en este campo, y a que no ha existido un organismo que regule su avance. Es por esta razón que resultaría casi imposible mencionarlos a todos, entonces en este trabajo solamente mencionaremos cuatro de ellos, los más comunes y útiles en las condiciones actuales de la domótica: X10, OSGi, UPnP y LonWorks.

1.6.1 EL ESTÁNDAR X10



X10 es un protocolo de comunicaciones abierto que se fundamenta en el uso de la red eléctrica (110 o 220 V) como medio de transmisión entre equipos de automatización dentro del hogar en formato digital. A esta transmisión de datos usando la red eléctrica se la conoce de manera general como PLC (Power Line Carrier).

Este estándar fue desarrollado por ingenieros de Pico Electronics de Escocia en 1975, y fue el primer módulo capaz de controlar remotamente dispositivos domésticos, fue rápidamente difundido en especial en Estados Unidos y Europa; y hoy en día es el estándar domótico más usado en el mundo.

Más de cinco millones de usuarios en el mundo disponen de productos X10, y es el fabricante de sistemas de control del hogar que ha vendido más sistemas de control de iluminación que ninguna otra compañía, ello se refleja en que más de 100 millones de equipos se han vendido durante los últimos 30 años.¹

La popularidad de X10 se debe a sus ventajas como son el ahorro en la instalación de la red domótica, debido a que el cableado eléctrico ya está presente en las viviendas, su interoperabilidad con aparatos antiguos que cumplen con el estándar, facilitando la escalabilidad de las redes; y la facilidad de implementación por parte de los usuarios sin conocimientos profundos en automatización.

¹ Tomado del Proyecto de Titulación “Análisis de los sistemas de comunicación utilizados para la implementación de las aplicaciones de la domótica” del Ing. Navarrete. EPN. Enero 2005. Pág. 105.

1.6.1.1 Descripción del Sistema

Las señales de control de X10 se basan en la transmisión de ráfagas de pulsos de RF (120 kHz) que representan información digital. Estos pulsos se sincronizan en el cruce por cero de la señal de red (50 Hz o 60 Hz). Con la presencia de un pulso en un semiciclo y la ausencia del mismo en el semiciclo siguiente se representa un '1' lógico y a la inversa se representa un '0'. A su vez, cada orden se transmite 2 veces, con lo cual toda la información transmitida tiene cuádruple redundancia. Cada orden involucra 11 ciclos de red (220 ms). Primero se transmite una orden con el Código de Casa y el Número de Módulo que direccionan el módulo en cuestión. Luego se transmite otro orden con el código de función a realizar (Function Code). Hay 256 direcciones soportadas por el protocolo.¹

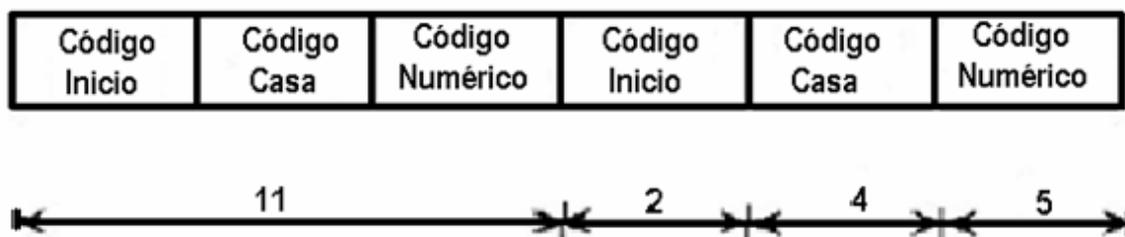


Figura 1.7 Campos de una trama X10 definida en protocolo.

Esta tecnología define tres tipos de dispositivos: transmisores, receptores y dispositivos bidireccionales.

- *Transmisores:* Estos dispositivos envían señales codificadas de bajo voltaje en la red eléctrica domiciliaria. Se pueden direccionar hasta 256 dispositivos en una misma red, y varios de estos pueden enviar señales a uno solo.
- *Receptores:* Cada uno de estos dispositivos tiene una dirección, con lo que demodula la señal y si la dirección contenida en la trama concuerda con la suya propia, procederá a actuar según el código; es importante mencionar

¹ Tomado de Wikipedia. "<http://es.wikipedia.org/wiki/X10>"

que estas direcciones no son únicas en cada dispositivo de la red, por lo que es posible enviar órdenes a más de un dispositivo a la vez.

- *Dispositivos Bidireccionales:* Debido a que los receptores no pueden responder, y por ende no podemos conocer su estado, se han creado los dispositivos bidireccionales que facilitan el conocimiento de si una orden se ha ejecutado o no, el estado de ciertos dispositivos, etc. lo que puede ser muy útil si tenemos un sistema que gestiona el hogar digital.

1.6.2 OSGi (OPEN SERVICES GATEWAY INITIATIVE)



La Alianza OSGi fue fundada por Sun Microsystems, IBM, Ericsson y otras entidades en marzo de 1999 (inicialmente se la llamó Connected Alliance). Además de estos miembros, hasta abril de 2006, más de 35 compañías de diferentes áreas se han integrado a la Alianza, como por ejemplo Nokia, Motorola, Philips, BenQ, Siemens VDO Automotive, Telefonica, BMW, Gatspace Telematics, ProSyst, Samsung Electronics y Deutsche Telekom.

Esta organización fue creada con el objetivo de desarrollar una especificación de software libre, que sea independiente del hardware y que permita diseñar y construir plataformas compatibles que sean capaces de proporcionar múltiples servicios en el mercado residencial y automovilístico. Como ya habíamos mencionado anteriormente, a estas plataformas se han denominado "Pasarela de Servicios" en su modalidad genérica, pero en el ámbito de las viviendas, SOHO's y pequeños negocios, se la conoce con el nombre de Pasarela Residencial.

La arquitectura OSGi extremo a extremo se muestra en la figura 1.8. El componente OSG es la Pasarela de Servicios Abierta (Open Service Gateway), mientras que el Operador de Pasarela (OSG Operator) gestiona y mantiene la pasarela y sus servicios. Algunas de sus funciones son: descargar, empezar,

actualizar o quitar un servicio; controlar los recursos de la pasarela; hacer seguras las comunicaciones entre la pasarela y el proveedor de servicios, etc.¹

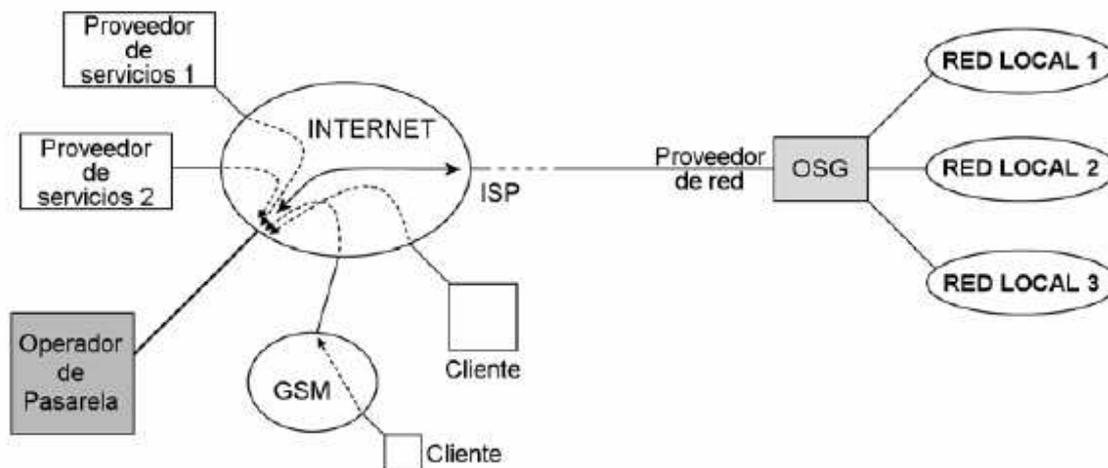


Figura 1.8. Arquitectura OSGi extremo a extremo.

1.6.2.1 El Enfoque de OSGi

Existen tres áreas en las que se enfocan los esfuerzos de la organización, y estos son:

1. *Servicios*: Se define una plataforma que sea capaz de procesar toda la información necesaria para brindar servicios de comunicaciones, de entretenimiento, de telecontrol, y de seguridad; es así que la especificación OSGi debe poseer los interfaces adecuados para soportar estos servicios sin que haya incompatibilidades, además de permitir gestionarlos de forma adecuada.
2. *Métodos de acceso*: Una pasarela OSGi debe poder acceder al mundo exterior usando cualquiera de las tecnologías de banda ancha con

¹ Tomado del artículo "Pasarelas Residenciales – Definición del servicio" de la Comisión Hogar Digital. 2006. Pág. 12 y 13.

conexión permanente a Internet (Always - On); como por ejemplo ADSL, cable módem, tecnologías inalámbricas UMTS, GPRS, etc.

3. *Redes de datos y control de las viviendas:* Partiendo del hecho que existe una gran variedad de hogares y edificios en donde este tipo de pasarelas deben ser instaladas, en OSGi no se escoge una única tecnología de conexión en red de los múltiples dispositivos de las viviendas; mas bien se define un interfaz común y se deja la responsabilidad a los fabricantes de construir los controladores adecuados para cada una de ellas.

1.6.2.2 Características Principales de la Especificación

La especificación OSGi ha ido mejorando con el tiempo, comenzando con una primera versión en la que se definen API's (Application Programming Interfaces) de Java, además de un Marco de Servicios (Service Framework) que proporciona un contexto de ejecución seguro, bien definido y fiable para servicios descargables de manera electrónica, llamados bundles¹. Este contexto incluye un entorno de ejecución en tiempo real de Java, lenguaje que se escogió por ser una tecnología abierta, que puede funcionar en múltiples plataformas, desde pasarelas hasta equipos electrónicos de consumo, ordenadores, etc.

Una segunda versión de esta especificación, compatible con la primera, mejora y clarifica el Marco de Servicios. Además, se añaden características que simplifican la programación de bundles, se logra perfeccionar la seguridad del sistema y se definen nuevos servicios y API's. La tercera y última especificación publicada hasta el momento², incluye innovaciones para el soporte para servicios móviles, de entretenimiento, contenido bajo demanda, etc. En esta versión las API's ya

¹ Bundle. – En sistemas operativos como MAC OS o GNU/LINUX es un directorio que permite agrupar recursos relacionados, como un código de software. Estos bundles usualmente contienen un archivo ejecutable y archivos con los recursos, como sonidos o imágenes. En Microsoft Windows, los recursos se incluyen en el archivo ejecutable en el momento de la compilación. Los bundles ayudan a solucionar problemas de desorganización, colocando a los recursos de una manera jerárquica.

² Según se menciona en el documento “Pasarelas Residenciales – Definición del servicio” de la Comisión Hogar Digital. 2006. Pág. 14.

definidas en las anteriores se extienden a nuevas áreas, pero son siempre compatibles entre estas; se definen nuevos servicios y se mejoran las especificaciones básicas. Hay que destacar el hecho que aunque OSGi define su propia arquitectura, ha sido pensada para su compatibilidad con otros estándares como UPnP.

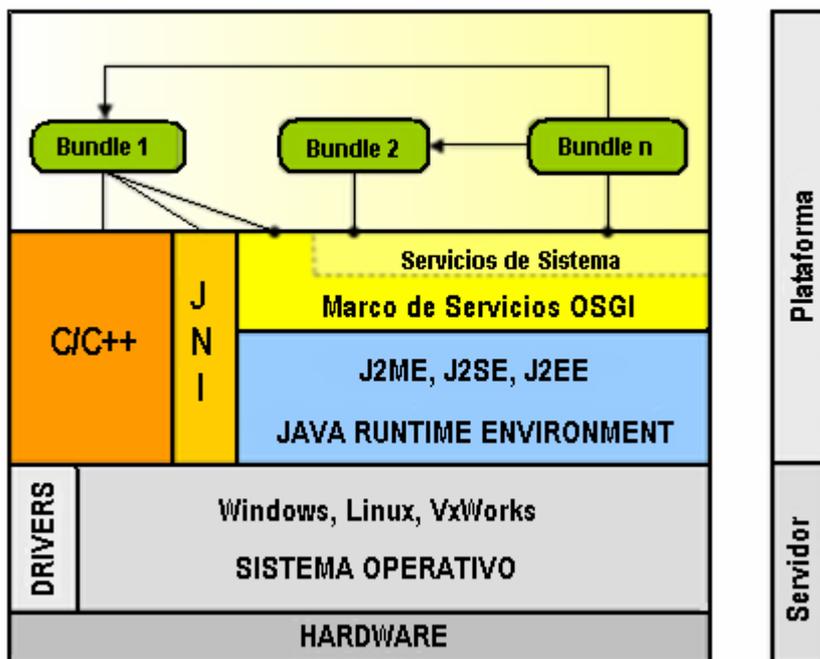


Figura 1.9. Marco de Servicios de OSGi¹

OSGi se caracteriza principalmente por ser una especificación:

- *Estandarizada*: De esta manera se evita la monopolización del mercado por parte de una sola organización, y se permite el mejor desarrollo de las tecnologías y servicios por parte de los fabricantes de equipos y los proveedores de servicios que contarán con una plataforma común sobre la cual desarrollarse.
- *Independiente del hardware*: Es necesario que la tecnología sea independiente del hardware de forma que pueda funcionar con soluciones

¹ Gráfica tomada de <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Osgi_layer.png>.

variadas en cuanto a procesadores, las comunicaciones, los electrodomésticos, las soluciones domóticas, etc.

- *Abierta*: No se define ninguna arquitectura de red de control ni obliga al uso de alguna tecnología o protocolo. Con esto se garantiza que cualquier empresa pueda introducir su propia tecnología al producto final siempre y cuando esta sea compatible con las API's predefinidas.
- *Segura*: La arquitectura software definida proporciona una alta seguridad para que los proveedores puedan ofrecer múltiples servicios sobre la misma plataforma sin interferencias.
- *Fiable*: La pasarela debe funcionar 24 horas al día, sin caídas del sistema.
- *Escalable*: Debe ser una tecnología flexible, personalizable y escalable acorde a las nuevas necesidades del proveedor del sistema.

1.6.3 UPnP (UNIVERSAL PLUG & PLAY)



Esta especificación es la respuesta que lanza Microsoft al estándar Jini de Sun Microsystems, el mismo que no se estudia en el presente trabajo, y que tiene dos años más de antigüedad y experiencia en el mercado.

UPnP es un estándar totalmente abierto, ya que se basa en protocolos como IP, TCP, UDP, HTTP, XML, etc. y que permite a las aplicaciones de dispositivos IP conectados a una red, intercambiar información de manera sencilla y transparente para el usuario final. Es también independiente del medio (Cable Ethernet, PLC, WiFi, Bluetooth, Firewire, etc.) lo que hace que UPnP no se limite a un solo fabricante, lenguaje de programación o sistema operativo.

Los dispositivos compatibles con UPnP se descubren al conectarse a una misma red, obteniendo su dirección IP y un nombre lógico y entonces comparten información sobre sus funciones y prestaciones. De esta manera el usuario no necesita configurar o instalar controladores y ajustarlos según las necesidades de otros equipos, ya que la misma red se ocupa de esto y de su propia optimización en todo momento. Esta función de coordinación es gestionada por el punto de control; un servicio que puede estar presente en la pasarela residencial. Los servidores DNS y DHCP son opcionales y son usados solamente si están disponibles en la red de trabajo. Al ingresar a la red los dispositivos UPnP siguen el procedimiento que se detalla a continuación:

- *Dirección:* Cuando el dispositivo ingresa a la red, adquiere una dirección IP única que las entidades pueden utilizar para comunicarse con el dispositivo.
- *Descripción:* Este dispositivo publica hacia la red sus servicios y capacidades en un formato estándar.
- *Descubrimiento:* Los puntos de control ubican al dispositivo y aprenden sobre las capacidades de este recuperando una descripción.
- *Control:* El dispositivo UPnP queda a la escucha de los puntos de control.
- *Eventualidades:* Cualquier cambio interno en el dispositivo es notificado hacia los puntos de control registrados.
- *Presentación:* Proporciona un interfaz administrativo basado en HTML que permite la manipulación y supervisión directas del dispositivo.

El uso habitual de UPnP es la reproducción de contenidos distribuidos en la vivienda, de manera que cada habitación que cuente con un reproductor UPnP puede acceder a los contenidos de un servidor UPnP de otra habitación de la vivienda (como un PC) o de Internet mediante una pasarela residencial que cuente con un servidor UPnP. La pasarela puede publicar como dispositivos UPnP los sistemas de control que no lo son y otros dispositivos no IP como emisores de infrarrojos (control de aparatos de audio y video) para que las

funciones de los mismos queden accesibles por todos los dispositivos UPnP.¹ Es esto lo que podemos observar en la figura 1.10; los dispositivos UPnP compartiendo recursos entre habitaciones de una vivienda, e incluso desde el automóvil; en este caso por medio de conexiones inalámbricas.

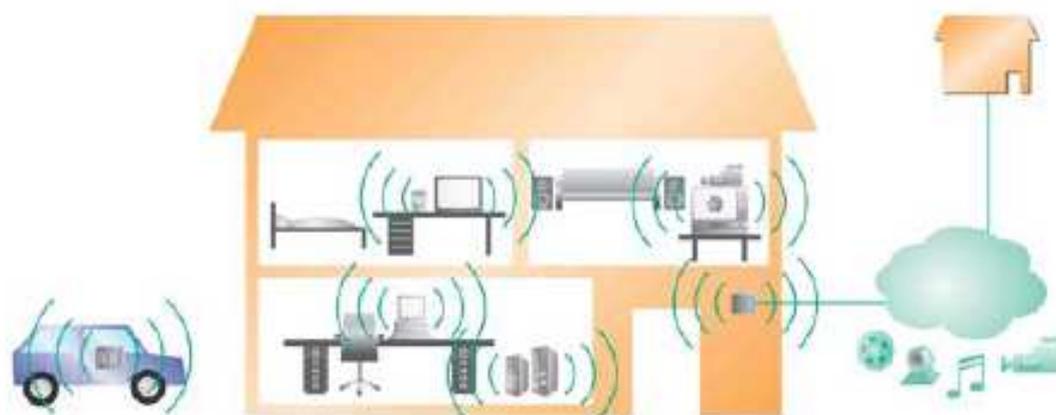


Figura 1.10. Dispositivos UPnP compartiendo recursos.

1.6.4 LONWORKS



En el año de 1992 la compañía norteamericana Echelon lanzó al mercado su estándar LonWorks para la implementación de redes de control distribuidas, pero no fue sino hasta 1994 cuando esta tecnología ingresó al campo de la domótica, llegando hoy en día, con más de 300.000 sistemas y sobre los 60 millones de dispositivos instalados a nivel mundial², a ser uno de los estándares más difundidos y que incluso cuenta con su propia feria para presentar sus productos nuevos a personas y empresas interesadas; esta feria, llamada LONWORLD, se desarrolla en diferentes ciudades del mundo con presentaciones de decenas de empresas, como por ejemplo en el 2007 se la realizó en

¹ Tomado del documento “Pasarelas Residenciales – Definición del servicio” de la Comisión Hogar Digital. 2006. Pág. 16.

² Datos obtenidos de la página Web de LonMark <http://www.lonmark.org/connection/what_is_lon.shtml>.

Ámsterdam con la participación de un sinnúmero de empresas de diferentes continentes.

La plataforma LonWorks constituye un sistema abierto e ínter operable en el cual los productos y soluciones de las más importantes empresas convergen de manera simple y con altos niveles de seguridad en una solución completa, usando una arquitectura común. Es esta una de las razones de su popularidad, y es así que ha sido acogido por algunas de las más importantes organizaciones de estandarización como ANSI/EIA, IEEE, etc. las que además trabajan en su desarrollo para poder incluir nuevas funcionalidades compatibles con las instalaciones ya existentes.

Pero como todo sistema, este también tiene sus desventajas, entre las que vamos a mencionar la poca oferta de productos fuera de los Estados Unidos, el alto coste de las herramientas de desarrollo y su documentación relativamente compleja y difícil de manipular.

1.6.4.1 Funcionamiento de LonWorks

LonWorks se comunica por medio de un bus de comunicaciones que une todas las plantas de la vivienda, facilitando la comunicación telemática entre los nodos sin perder recursos de cálculo, en donde cada nodo está constituido por un microcontrolador que recoge la información de la red y la comunica a los actuadores. El lenguaje de programación usado es el Neuron C, una variante del C; el medio físico más empleado en las instalaciones LonWorks es el par trenzado, aunque soporta varios medios de transmisión, como el cable coaxial, radio frecuencia, fibra óptica, infrarrojos, red eléctrica, etc.

Como se mencionó con anterioridad, cualquier dispositivo LonWorks está basado en un microcontrolador especial denominado Neuron Chip (aunque este no es requisito indispensable para la implementación de esta tecnología). Tanto este chip como LonTalk (el protocolo de comunicación usado en LonWorks) han sido desarrollados por Echelon hace más de quince años.

1.6.4.1.1 El protocolo LonTalk (ANSI/EIA 709.1)

Este protocolo que usa LonWorks como base de sus dispositivos, tiene la función de brindar comunicaciones confiables y seguras entre estos, y además proporcionar interoperabilidad con otras casas fabricantes, para esto se ha desarrollado este protocolo basado en el modelo de referencia OSI, con el que es compatible en las 7 capas. A continuación se da una breve descripción de este protocolo en cada una de las capas del modelo OSI:

- En la *capa física*, podemos destacar que se provee soporte para segmentos operando sobre diversos tipos de medio físico, como par trenzado, red eléctrica, cable coaxial, fibra óptica, radio frecuencias, etc. aunque de estos, los más utilizados son los 2 primeros.
- En la *capa de enlace de datos* se define funcionalidades para detección de colisiones, prioridades y autenticación; y además se especifica un formato de trama para el transporte de los datos, esta trama es la indicada en la figura siguiente:



Figura 1.11 Formato de la trama LonTalk

En donde, los campos BitSync y ByteSync permiten la sincronización de los relojes; el campo L2Hdr se usa para indicar el protocolo; NPDU indica los datos que transporta la trama y CRC es un campo de 16 bits que provee detección y corrección de errores.

- En cuanto a *capa red*, utiliza el direccionamiento basándose en el concepto de dominios (hasta 255 subredes por dominio), subredes (hasta 127 nodos por subred) y dirección de nodo (7 bits), de esta forma se puede acceder directamente un dominio, subred o nodo específico. Las direcciones se especifican en el paquete LonTalk, que se constituye según se muestra en la figura 1.12.

Versión	Formato	Longitud	Dirección	PDU
----------------	----------------	-----------------	------------------	------------

Figura 1.12 Formato del paquete LonTalk

En donde, la versión se refiere a la versión del protocolo; el formato al formato del campo de direcciones y datos; el campo de longitud señala la longitud del paquete; la dirección puede contener las direcciones de: nodo origen, nodo destino, subred origen y subred destino; y tenemos el campo de datos o PDU.

- El protocolo LonTalk ofrece 4 tipos de servicios de mensaje de *capa transporte*: Reconocido o confirmado, que obliga a un receptor a confirmar que recibió correctamente el mensaje; esta modalidad utiliza más recursos y ancho de banda de la red, pero es la más segura. Petición/Respuesta que como en el caso anterior es un servicio confiable. Repetido, mensaje que se envía a un nodo o grupo de nodos varias veces pero no se espera respuesta; se utiliza para realizar broadcast. Y, Sin confirmación.
- La *capa de sesión* es un punto de finalización, ya que el protocolo proporciona una interfaz de red para utilizar aplicaciones LonWorks en cualquier host sea microcontrolador o PC. La interfaz del protocolo maneja de la capa 1 a la 5 para definir el formato del paquete a intercambiar con el host, por otro lado el host maneja las capas 6 y 7 del modelo.
- En la *capa presentación* del protocolo LonTalk se encuentra la interpretación de la información, la cual consiste en las variables medidas como la temperatura, presión, o cualquier otra que requiera el sistema. Esta información se transmite a través de la red en un formato estándar. Los comandos de la aplicación se encuentran encapsulados dentro de cada nodo Neuron receptor, esto significa que los datos que circulan a través de la red no son particulares de una aplicación específica, si no que pueden ser leídos por distintos nodos dándole cada uno de ellos un uso

distinto de acuerdo a la función de cada nodo y a la aplicación que tenga programada dentro de sí.¹

- Se define una *capa de aplicación*, en la que se desarrollan las funciones de interpretación del significado final de los datos, proporcionando el interfaz final necesario para la comunicación entre el usuario y la red.

1.6.4.1.2 Aspectos Importantes del Neuron Chip.

Respecto a este circuito integrado, diseñado por Echelon pero fabricado por Cypress Semiconductor, Motorola y Toshiba, podemos mencionar que está constituido por tres procesadores, uno para aplicación y los otros dos para comunicaciones; además tiene memorias EEPROM, RAM y ROM; 11 pines bidireccionales y 2 contadores de 16 bits. Otro de los aspectos interesantes tiene que ver con el direccionamiento, ya que tiene un identificador único de 48 bits que es almacenado en la memoria EEPROM durante la fabricación del chip, este identificador llamado Neuron ID identifica unívocamente a cualquier dispositivo dentro de una red LonWorks.

¹ Tomado del documento “Redes de control para edificios inteligentes” de Araque Raúl. Universidad Central de Venezuela.

CAPÍTULO II. ARQUITECTURA Y SERVICIOS DE LA PASARELA RESIDENCIAL

2.1 DEFINICIÓN DE PASARELA RESIDENCIAL

En el capítulo primero ya se había dado una breve introducción a lo que es una pasarela residencial (RGW) o “residential gateway”, en este segundo capítulo profundizaremos en este concepto, ya que es el centro del presente estudio. En su concepción más general, una pasarela residencial es una unidad de control que conecta las infraestructuras de telecomunicaciones, datos, control, automatización, etc. de la vivienda a una red pública de datos, típicamente la Internet. Por definición, una pasarela o “gateway” posibilita la interconexión de dos redes. La palabra ha sido parte del léxico de los administradores de redes por más de treinta años, y estos gateways históricamente han jugado un rol importante en el desarrollo de la Internet.

El advenimiento de este dispositivo surge por las necesidades de interconectar las diferentes opciones de redes de acceso con los distintos equipos de una vivienda, e igualmente servir de punto de acceso para las comunicaciones y plataforma de soporte de aplicaciones típicas del hogar. Pero además de necesidades, han sido necesarios ciertos factores impulsores al momento de desarrollar este nuevo concepto, como por ejemplo la proliferación de electrodomésticos y equipos inteligentes en el hogar; la popularización de los equipos informáticos (PC’s, periféricos) y digitales; y también la introducción de soluciones de acceso de banda ancha (xDSL, HFC, FTTx, etc.).

La pasarela residencial es el punto más importante de la instalación domótica, debido a que todos los productos y servicios que se instalen o vayan a instalarse podrán ser controlados por ella; es decir es el cerebro del hogar digital. Pero es también el primer elemento de la red externa accesible por el cliente, y en este

sentido su trascendencia radica en que es la responsable en último término de la entrega de servicios al usuario final.

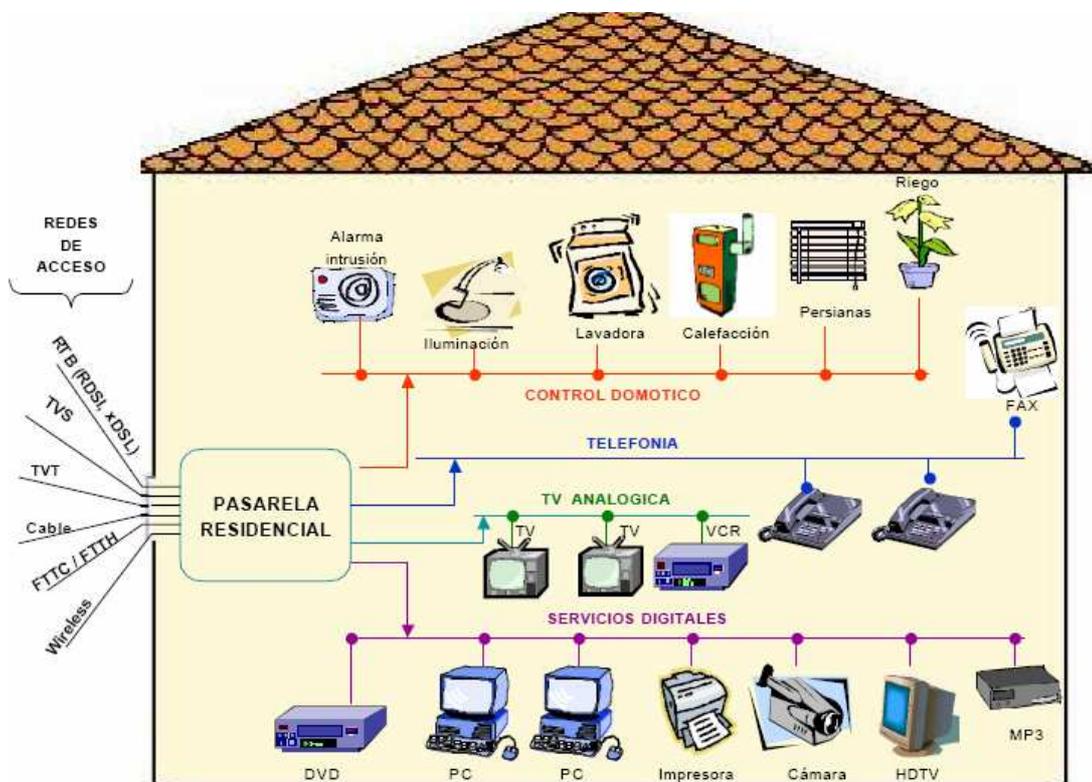


Figura 2.1 La Pasarela Residencial y su papel en la red Domótica¹

Es responsable de la recepción de los datos que vienen de la red de acceso y, manteniendo la calidad de servicio que se haya especificado, transferirlos hacia la red doméstica. Y en sentido contrario, es responsable de enviar tramas desde la red de acceso marcando los flujos de acuerdo a la calidad especificada para que la red les proporcione la calidad requerida.²

2.2 CLASIFICACIÓN

La clasificación de estos dispositivos que brindan servicios tan diversos, es un poco complicada de realizar, pero la mayoría de fabricantes e ingenieros

¹ Gráfico tomado del documento “Redes del Hogar y Pasarela Residencial” de Pedro J. Lizcano Martín; TELEFONICA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO S.A.

² Tomado del documento en línea “Pasarela residencial multiservicio con soporte de calidad garantizada para acceso de banda ancha”. < http://www.it.uc3m.es/ividal/articulos/06-fvalera_Telecom.pdf>

concedan en agruparlas de la siguiente manera; desde dos enfoques diferentes (el proveedor de servicios y el usuario).

2.2.3 DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PROVEEDOR DE SERVICIO

Esta clasificación se relaciona esencialmente con el sentido económico y de propiedad de la pasarela residencial, en lugar de ser una clasificación técnica o por funcionalidades del equipo; y de acuerdo a la Comisión Hogar Digital de España, las pasarelas residenciales pueden:

- Ser adquiridas en propiedad por el usuario final.
- Ser cedidas en alquiler o depósito. Siendo el proveedor del servicio el responsable del mantenimiento y actualización.

2.2.4 DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL USUARIO

El tipo de servicios que ofrecen las pasarelas residenciales es el parámetro a tomar en cuenta en esta clasificación, ya que esto depende del uso que demos al equipo como usuarios; y la clasificación se enfoca en tres tipos de pasarelas residenciales:

- *Pasarelas Multiservicios:* proporcionan varios interfaces para redes de datos y control con diferentes tecnologías, además de ser las más complejas y potentes. Son capaces de ejecutar diferentes aplicaciones con requisitos de tiempo real (para VoIP o video streaming). También puede ejecutar servicios orientados a las SOHO's como el acceso único a Internet para varias PC's.
- *Pasarelas de Control:* tienen menores capacidades y prestaciones que las anteriores, ya que estas están especializadas en la gestión de tareas relacionadas con la automatización y seguridad de la vivienda.

- *Pasarelas de Entretenimiento*: también son pasarelas con un enfoque en específico, pero en este caso distribuyen señales de Televisión IP, DVB o UPnP en la vivienda.

El usuario puede tener acceso a los servicios de las pasarelas residenciales a través de diferentes interfaces; entre ellos:¹

- TV. Mediante un mando a distancia y a través de un navegador Web o interfaz nativo.
- Panel táctil. Formando parte de la propia pasarela o como dispositivo anexo.
- Agendas electrónicas. Mediante WiFi, Bluetooth, GPRS o 3G.
- Teléfono. A través de conexiones de voz, aplicaciones o páginas HTML o WAP.
- Computador personal u otros dispositivos electrónicos como consolas.

2.3 ARQUITECTURA

Existe una arquitectura referencial en la que se basan las pasarelas residenciales, pero cada fabricante puede decidir como utilizarla de acuerdo a sus conveniencias, implementando o no las funciones definidas por la arquitectura, por lo que aquí se describe este modelo de referencia independiente de los fabricantes.

A continuación se presenta un diagrama de bloques que muestra la arquitectura de comunicaciones de la pasarela residencial, en el cual se identifica de manera secuencial la transferencia de las tramas y paquetes de un bloque a otro, lo que no implica una implementación física por bloques de este dispositivo, sino mas bien un seguimiento lógico. Como se hará notorio al estudiar los bloques

¹ Tomado del documento “Pasarelas Residenciales – Definición del servicio” de la Comisión Hogar Digital. 2006. Pág. 6.

funcionales, este seguimiento lógico se basa en un flujo de información a través de las tres primeras capas del modelo de referencia OSI; se puede percibir claramente el interfaz que comunica cada una de las capas inferiores con su superior, dentro de la pasarela residencial; o su finalización e interacción con la red interna del usuario, ya sea al finalizar la capa 2 o capa 3 (siendo necesaria en algunos casos la adaptación de aplicaciones y/o dispositivos).

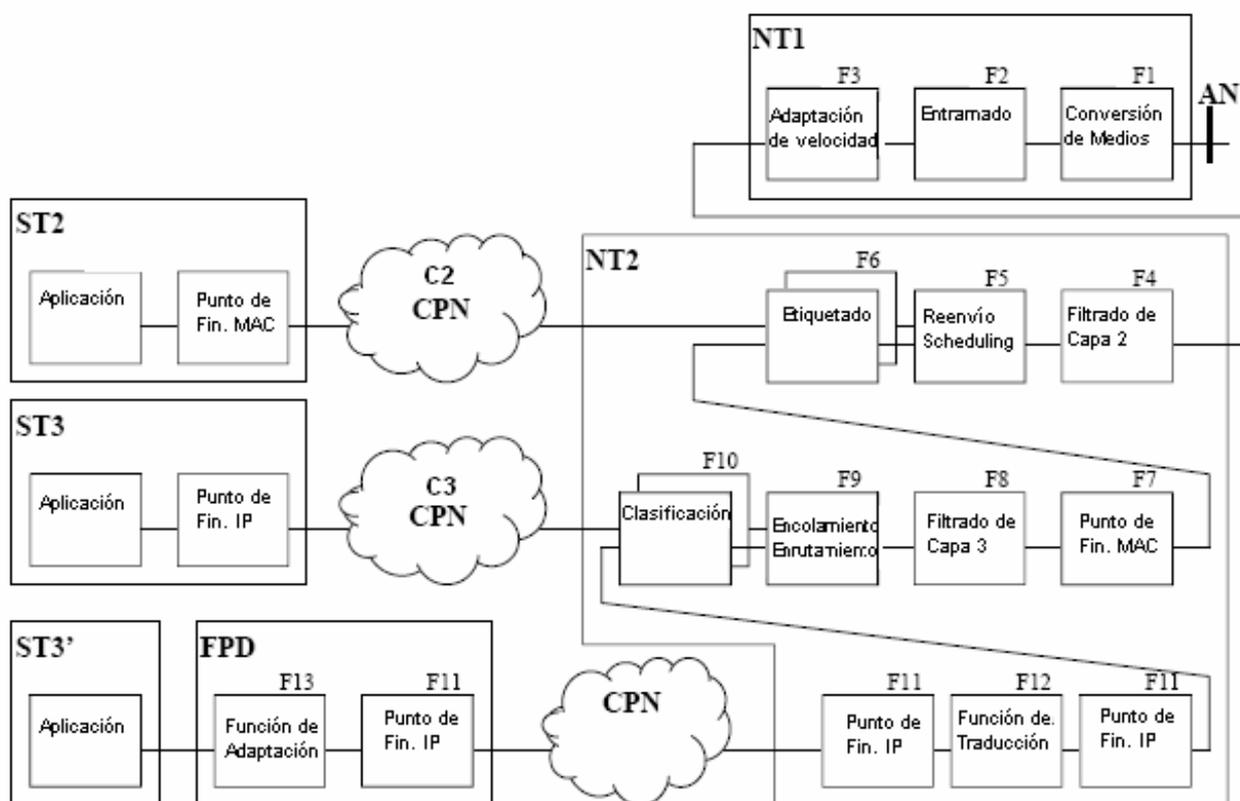


Figura 2.2 Modelo de Referencia RGW (Pasarela Residencial)¹

Como vemos en el gráfico, existen agrupaciones de bloques funcionales en bloques NT (Network Termination), y es por estos por donde empezaremos la descripción de la arquitectura RGW.

- **NT1:** Es el punto terminal de una tecnología específica en la red de acceso (AN); generalmente de capa 1, pero también de capa 2 si se trabaja con

¹ Tomado del documento "Gateway Solutions" del Proyecto MUSE. Pág. 42.

ATM (Asynchronous Transfer Mode). NT1 es básicamente un módem estándar con capacidad de adaptación de velocidades.

- *NT2*: En este bloque se cumplen funciones relacionadas con calidad de servicio, como por ejemplo etiquetado y scheduling, además de conmutación de capa 2. Otras funciones tienen que ver con el enrutamiento de capa 3 y clasificación de paquetes IP según clases de servicio, usando los bits TOS (Type of Service) de las cabeceras IP, entre otras.
- *ST*: Son puntos de terminación de servicio (Service Termination); ST2 si es de capa 2 (Ethernet) y ST3 si es de capa 3 (IP).
- *FPD*: Dispositivo de Procesamiento de Funciones; se define como una función de networking entre una red de acceso basada en IP y terminales y/o aplicaciones no IP en el lado del usuario final.
- *ST3'*: Es cualquier aplicación o terminal IP del usuario que no puede ser directamente conectada a una red de acceso basada en IP.
- *CPN*: Es la red de área local administrada por el cliente (Customer Premises Network).

Al bloque NT1 generalmente se lo podría implementar en un solo dispositivo que puede ser propiedad del proveedor de servicios, ya que termina la red de acceso, y además se puede evitar así un uso inadecuado por parte del usuario. Se podría requerir otro dispositivo para NT2, entre los cuales en la mayoría de los casos se puede requerir un interfaz externo basado en ethernet, como por ejemplo 100BaseT o GbE¹.

¹ GbE (Gigabit ethernet). – Tecnología de capa enlace en el modelo OSI, basada en ethernet, que puede alcanzar velocidades de transferencia de datos del orden de los 1000 Mbps o gigabits por segundo (Gbps), de ahí su nombre.

2.3.1 BLOQUES FUNCIONALES

Como se vio previamente en la figura 2.2 los bloques NT están constituidos por bloques funcionales que cumplen tareas específicas dentro de cada uno de estos, y están descritos a continuación: ¹

Conversión de Medios (F1): Es un convertidor entre la señal física que tenemos en la red de acceso y la señal eléctrica binaria en la pasarela residencial, como por ejemplo un módem ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line) o un convertidor eléctrico-óptico.

Entramado (F2): Este bloque se encarga de añadir o remover la información de entramado dependiente de la red de acceso.

Adaptación de velocidad (F3): F3 se preocupa del filtrado, para asegurar que el número de tramas no exceda la velocidad en la línea de la red de acceso en la dirección del flujo ascendente; o la velocidad de la línea residencial en la dirección del flujo descendente, aunque esto último no es muy común. Implementaciones sencillas de este bloque podrían simplemente descartar cualquier paquete que pueda causar que la velocidad binaria exceda la velocidad máxima del canal. En implementaciones más sofisticadas, el etiquetado CoS (Clase de Servicio) puede ser tomado en cuenta. Sin embargo, se debe tener cuidado de no incrementar demasiado el retardo y el jitter.

Filtrado de Capa 2 (F4): Las tramas ethernet pueden ser descartadas en esta función. Las políticas para este proceso deben definirse por la administración de la RGW. Este bloque típicamente representa funciones de cortafuegos que trabaja a nivel ethernet.

Scheduling (F5): En muchas pasarelas residenciales existen diferentes puertos para soportar servicios de voz, video y datos. Estas fuentes pueden ser

¹ Tomado del documento "Gateway Solutions" del Proyecto MUSE. Pág. 43 y 44.

agregadas en la capa 2. La función de scheduling permite esta agregación, tomando en cuenta el etiquetado de CoS de las tramas ethernet.

Etiquetado (F6): Esta función convierte a las tramas ethernet de un flujo ascendente regular en tramas etiquetadas con CoS que pueden ser organizadas de acuerdo a sus requerimientos de QoS (Calidad de Servicio). En la dirección del flujo descendente, el etiquetado puede ser removido, o esta función puede no hacer nada si las tramas etiquetadas no causan problemas en los puntos de finalización MAC (F7). En la figura 2.2, se dibujan múltiples bloques F6 para ilustrar el hecho de que por cada enlace (puerto) de flujo ascendente que arriba a F5 se requiere esta función de etiquetado.

Punto de Finalización MAC (F7): Este es el punto de terminación ethernet en el que las cabeceras ethernet son agregadas o removidas según el caso, y la información dentro de ellas está disponible.

Filtrado de Capa 3 (F8): Los paquetes IP pueden ser descartados en esta función. Las políticas para este proceso deben definirse por la administración de la RGW. Este bloque típicamente representa funciones de cortafuegos que trabaja a nivel IP.

Encolamiento y Enrutamiento (F9): Paquetes IP de la red de acceso y de la red domiciliaria (puede ser más de un dispositivo o subred) son enrutados a su destino: paquetes salientes hacia la red de acceso y paquetes entrantes hacia los respectivos terminales.

Clasificación (F10): Esta función activa los bits TOS en los paquetes IP.

Punto de Finalización IP (F11): Las cabeceras IP y TCP/UDP son añadidas o removidas de acuerdo al caso. Se reconocen las direcciones IP y números de puerto.

Función de Traducción (F12): Funciones como traducción de puerto/dirección de red (NAT/NAPT)¹ son implementadas en este bloque. Las direcciones IP usadas en el lado de la LAN de este bloque no son visibles fuera de la red domiciliaria.

Función de Adaptación (F13): Esta es una función de networking que se usa para adaptar aplicaciones y/o dispositivos de tecnologías de red diferentes a IP y que no pueden ser direccionados directamente con una IP pública, esto incluye a los que tienen una dirección IP local. En último caso la función de adaptación tiene funcionalidad NAPT.

2.3.2 FLUJOS EN LOS BLOQUES FUNCIONALES

Como ya se había mencionado, cada uno de los bloques funcionales descritos en el punto anterior procesa la información que pasa a través de estos bloques; dicha información se clasifica en diferentes flujos de acuerdo al tipo de carga útil que se transporta, pues esta información puede ser utilizada por el usuario como voz, video, etc. o señalización. En el primer caso estamos hablando de un flujo de datos, mientras que en el segundo se dice que tenemos un flujo de control. Pero además de estos flujos que atraviesan los distintos bloques funcionales, tenemos un conjunto de parámetros que nos proporcionan información sobre el estado de los bloques, a lo que se conoce como flujo de administración; y que es el que determina la manera en que serán procesados los flujos de datos y control.

En este sentido existe un software que nos provee el interfaz necesario para administrar las diferentes entidades, sean de usuario final, proveedor de servicio, o algún servidor de auto configuración; al que se lo denomina Aplicación de Administración. Esta aplicación, además proporciona el soporte necesario al dispositivo cuando se enciende o resetea, ya que posee un módulo de arranque.

¹ NAT. – Network Address Translation o Traducción de Dirección de Red. NAPT. - Network Address Port Translation o Traducción de Dirección de Puerto de Red

2.3.3 PLANOS DE DATOS, CONTROL Y ADMINISTRACIÓN

Partiendo de la arquitectura referencial descrita anteriormente y de los flujos de datos, control y administración especificados por la misma y que se muestran en la figura 2.3, el proyecto MUSE (Multiservice Access Everywhere)¹ de la Comunidad Europea ha definido tres planos para la arquitectura de su prototipo de pasarela residencial, el mismo que está totalmente de acuerdo con las ideas de la mayoría de empresas operadoras y vendedores de telecomunicaciones en Europa. Las generalidades y características principales ha tomarse en cuenta en estos planos se mencionan a continuación, considerando a los bloques NT.

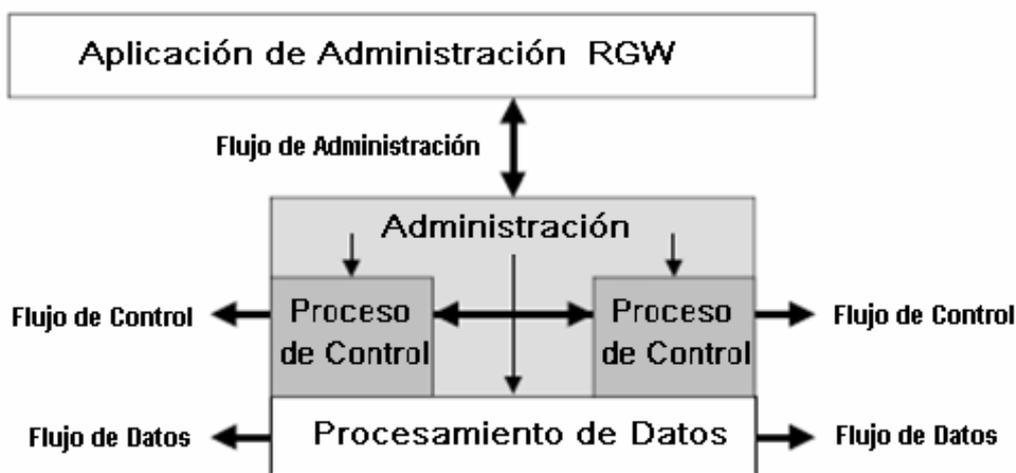


Figura 2.3 Estructura interna genérica de un bloque funcional²

2.3.3.1 Plano de Datos

En lo referente al bloque NT1, correspondiente a la figura 2.2, se destaca el hecho de que es el punto terminal para la red de acceso en capa 1; debiendo ser la arquitectura RGW lo más independiente posible de la tecnología utilizada en última milla. Es además aquí donde los circuitos virtuales (VC's) terminan y se realiza su correspondencia con ethernet, en caso de que ATM sea usada como tecnología de acceso.

¹ Página Web oficial del proyecto: <www.ist-muse.org>

² Diagrama tomado del documento "Gateway Solutions" del Proyecto MUSE.

El bloque NT2 en este plano se caracteriza por su compatibilidad con el estándar IEEE 802.1 p/Q para dar soporte de calidad de servicio, y con NAT; permitiendo así que la pasarela residencial se comporte como un puente, un ruteador con o sin NAT, o un dispositivo híbrido que combine funciones de puente y ruteador.

2.3.3.2 Plano de Control

En el bloque NT1 se define un conjunto de parámetros físicos que serán reconocidos automáticamente mediante un proceso de entrenamiento.

Respecto al bloque NT2 se refiere principalmente a las capacidades del dispositivo para administrar las direcciones IP públicas o privadas en ambos lados de la pasarela residencial por medio de DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) y NAPT, además del uso de un protocolo administrativo como IGMP¹.

2.3.3.3 Plano de Administración

La provisión de calidad de servicio es el punto principal en el bloque NT1, de acuerdo a las clases de servicio que se definen en MUSE, siendo estas: mejor esfuerzo, baja latencia, tiempo real y velocidad garantizada. Un aspecto importante es el uso de ILMI (Interim Link Management Interface) en caso de que ATM se use como tecnología de última milla, para enrutar las clases de tráfico por diferentes VC's.

La única mención que se hace respecto al bloque NT2 es la posibilidad de utilizar OSGi para realizar las tareas de configuración y administración de la pasarela residencial.

¹ IGMP = Internet Group Management Protocol

2.3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA RGW

Si nos fijamos en el bloque NT2, en lo referente al plano de datos, podemos destacar el hecho de que la pasarela residencial se puede comportar como un puente, un ruteador con o sin NAT, o un dispositivo híbrido que combine funciones de puente y ruteador. Este hecho se visualiza de manera más clara en la figura 2.2, en la que se muestra la arquitectura RGW y se puede observar los tres puntos posibles de terminación ST, los que producen que la pasarela residencial se pueda comportar de las siguientes maneras:

2.3.4.1 Pasarela Residencial tipo Puente

En este escenario en particular, los bloques funcionales a implementarse en la pasarela residencial, serían solamente los correspondientes a capa enlace de datos, es decir hasta el bloque funcional F6 en NT2, según se observa en la figura 2.2 referente a la arquitectura RGW. Con esta implementación, los dispositivos del usuario son conectados directamente a la red de los proveedores de servicio a través de un dispositivo transparente (pasarela residencial operando como puente). Esto tiene como ventaja la facilidad en la implementación de la red, pero tiene demasiadas desventajas si se manejan múltiples servicios, ya que los mensajes de broadcast pueden inundar toda la red, no se pueden implementar seguridades y, se necesitan IP públicas para cada uno de los dispositivos del hogar que accedan a la red externa.

2.3.4.2 Pasarela Residencial tipo Ruteador sin NAT

Si seguimos avanzando en la implementación de más bloques funcionales de la arquitectura de la pasarela residencial, llegaremos al bloque F10 en NT2, con lo que ya se maneja hasta capa 3 del modelo de referencia OSI, es decir se implementan funciones de enrutamiento; estas funciones incluyen la posibilidad de comunicar diferentes dispositivos de red, evitar las inundaciones con tráfico de

broadcast y proveer calidad de servicio a los flujos de datos que se envían o reciben desde la red externa.

2.3.4.3 Pasarela Residencial tipo Ruteador con NAT

Finalmente, si implementamos todos los bloques de la arquitectura que se muestra en la figura 2.2, tendremos una pasarela residencial tipo ruteador con funcionalidad NAT/NAPT; es decir que el dispositivo ya sería capaz de conectar gran variedad de dispositivos de red a los proveedores de servicios, sin necesidad de ocupar una dirección IP pública por cada uno, sino manejando solamente direcciones globales. Otra ventaja importante de este tipo de implementación, es que la pasarela residencial es capaz de actuar como un firewall para así proteger la red doméstica de los intrusos. Una desventaja de este dispositivo es que a mayor cantidad de proveedores de servicios, la resolución DNS se vuelve cada vez más compleja.

2.3.4.4 Pasarela Residencial Híbrida

Esta pasarela residencial es la más completa, ya que se comporta como un switch de capa 3, puesto que cumple funciones de puente y ruteador, y tiene las ventajas anteriormente descritas tanto para la pasarela residencial tipo puente o tipo ruteador (con o sin NAT). Aquí podemos ver que el dispositivo mencionado agrupa varios de sus puertos para dirigir estos flujos de datos hacia uno de los proveedores de servicios y, cada uno de los grupos puede manejarse ya sea como pasarela residencial tipo puente o ruteador. Con este tipo de pasarela residencial podemos conseguir por ejemplo que el tráfico de voz este concentrado en un solo grupo, evitando así que este cree problemas (como inundación) en los demás puertos que manejan otros tipos de tráfico; aunque esto también puede crear la limitante de que los dispositivos de un grupo no pueden comunicarse con los de otro y, los puertos especializados en un tipo de tráfico no pueden utilizarse para ningún otro propósito.

A pesar de ser la pasarela residencial más completa, por ser híbrida, esto no implica que sea la que más facilidades nos presta, ya que por ejemplo esta no provee la funcionalidad de configuración de los equipos de red, y esta hay que realizarla manualmente, lo que complica la configuración de la red; y como ya mencionamos, la comunicación entre entes de diferentes grupos no es posible.

2.3.5 PILA DE PROTOCOLOS

Como había sucedido en la arquitectura, también aquí mostramos una pila de protocolos y tecnologías típica de una pasarela residencial; en la que la configuración final dependerá de los requisitos de los proveedores de servicio y usuarios, y variará en las versiones comerciales de una a otra. La figura 2.4 muestra en este caso la pila de protocolos referencial que desarrolla la Comisión Hogar Digital de España.

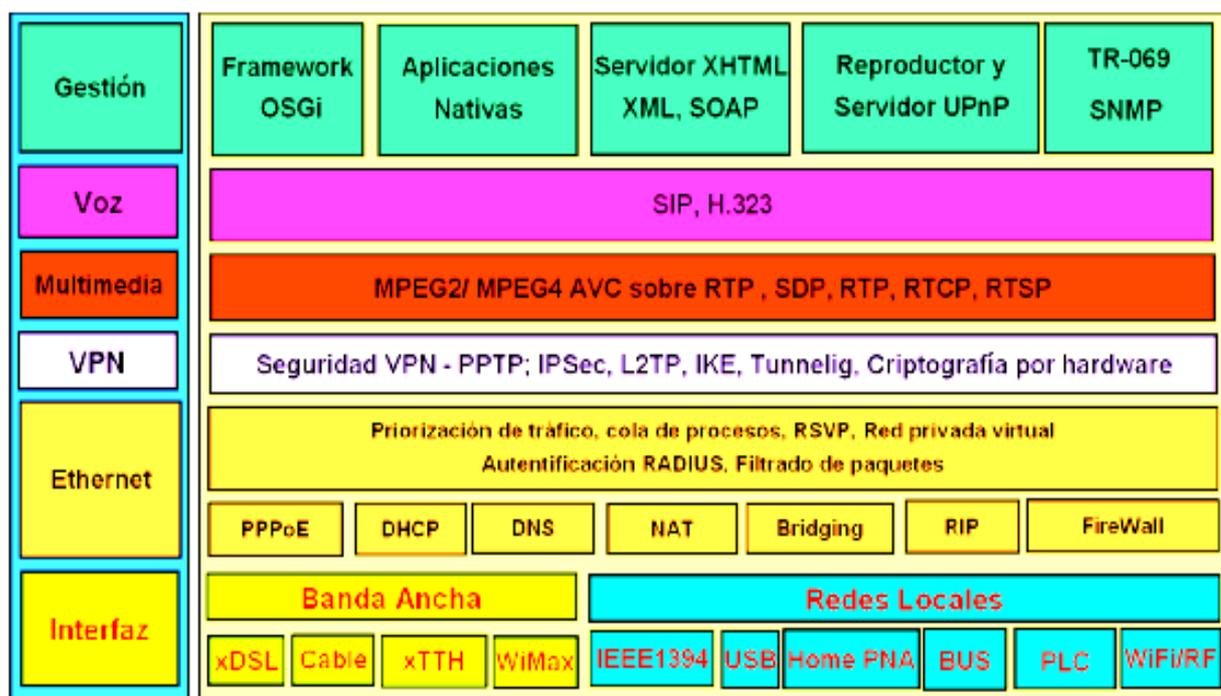


Figura 2.4 Pila de Software de una Pasarela Residencial típica¹

¹ Tomado del artículo “Pasarelas Residenciales – Definición del servicio” de la Comisión Hogar Digital. 2006. Pág. 11.

Al observar el gráfico anterior, podemos destacar la gran variedad de protocolos de los que se puede disponer para una pasarela residencial típica, en diferentes capas del modelo OSI. Tenemos diferentes tecnologías a nivel de interfaz, tanto en la red local como en la de acceso, las mismas que estudiaremos al final de este capítulo. A nivel ethernet tenemos varios protocolos de gran utilidad en redes privadas locales, como NAT y DHCP; y otros como RSVP, cola de procesos y priorización de tráfico, que nos serán de utilidad al momento de implementar Calidad de Servicio como veremos en el capítulo 3. En niveles superiores de esta misma pila de protocolos es posible observar que se brinda el soporte necesario para los servicios de voz, video y datos en los que se enfoca este proyecto, además de otras funcionalidades que pueden resultar útiles al momento de implementar una red de domótica.

2.4 SERVICIOS QUE PRESTA UNA RGW

Las funciones y aplicaciones que se mencionan a continuación son también las descritas para el prototipo de pasarela residencial descrito en MUSE y que como se había indicado es el referente para la mayoría de empresas de telecomunicaciones en Europa; y representan la mayoría de servicios disponibles en una pasarela residencial típica.

2.4.1 FUNCIONALIDAD

Como una de las principales funciones que cumple una pasarela residencial, y muy importante por ser caso de estudio en el presente proyecto, es la provisión de calidad de servicio (QoS) extremo a extremo; que MUSE aborda desde un enfoque IMS (IP Multimedia System) en el que los prototipos deben desarrollarse bajo la consideración de que la pasarela residencial no necesita proveer un interfaz basado en IMS cuando los terminales del usuario envíen o reciban señalización SIP (Session Initiation Protocol); pero que aún está abierto para el desarrollo de nuevas arquitecturas referentes a QoS, sobretodo en lo que concierne a bloques como encolamiento y scheduling.

Otra funcionalidad importante de la pasarela residencial es la autenticación que está basada en el protocolo IEEE 802.1X, siendo la pasarela residencial el solicitador y el nodo de acceso el autenticador y cliente RADIUS. La mayor ventaja de esta técnica es que se puede proveer a los servicios basados en DHCP de un proceso de autenticación independiente de la ubicación.

Como tercer punto entre las funciones que cumple una pasarela residencial tenemos el proceso de auto configuración y la administración remota, para lo que la pasarela residencial se vale del estándar TR-069¹ del DSL forum.

La pasarela residencial es también capaz de soportar tráfico multicast hacia los terminales del usuario, posibilitando así que este maneje grupos multicast y reciba este tipo de tráfico.

Tomando en cuenta los distintos esquemas de asignación de direcciones IP y las características relacionadas al direccionamiento IPv6, la pasarela residencial encara las recomendaciones hechas respecto a ambientes residenciales en los cuales MUSE ha especificado un escenario IPv4 sin soporte a servicios directos de capa 2, pero donde los servicios IP se soportan con calidad de servicio y se ha implementado la asignación de direcciones IP basada en NAPT.²

2.4.2 APLICACIONES

Un ejemplo de aplicación corriendo sobre una pasarela residencial es una aplicación domótica, ya que esta es una típica aplicación “always-on” que tiene una función central en el hogar, como la pasarela residencial misma. Los sensores localizados en varios lugares dentro del hogar proveen información sobre la temperatura, luz, presencia, información visual grabada por cámaras, etc. a través de conexión a la aplicación ejecutándose en la RGW. Basada en las

¹ Documento en línea: <http://www.dslforum.org/aboutdsl/Technical_Reports/TR-069.pdf>

² Tomado del documento “Gateway Trials” del Proyecto MUSE. Pág. 14.

entradas sensoriales, esta aplicación decide apagar la calefacción o el aire acondicionado, prender o apagar las luces, cerrar cortinas, enviar alarmas al teléfono móvil del propietario, etc. El dueño de casa puede ingresar remotamente a la aplicación para monitorear el estado de su vivienda.¹

Otras aplicaciones importantes que podemos ejecutar gracias a la pasarela residencial son las de video streaming, voz sobre IP, transferencia de datos, ya descritas en el capítulo 1 del presente trabajo: La RGW puede actuar como un servidor, ya que las aplicaciones del dispositivo pueden facilitar el almacenamiento de información audio visual, permitiendo por ejemplo el acceso a sus videos favoritos desde cualquier lugar de la casa. En lo que se refiere a la transferencia de datos hacia el exterior, la pasarela residencial actúa como un módem de banda ancha permitiendo el acceso a Internet por parte de los terminales de los usuarios conectados a este dispositivo. Y, como vimos en la pila de protocolos de la pasarela residencial, esta nos proporciona funcionalidades para aplicaciones de voz sobre IP.

2.5 TECNOLOGÍAS QUE SOPORTA UNA PASARELA RESIDENCIAL

Como ya se ha mencionado en la arquitectura de la pasarela residencial, el bloque NT1 se encarga de hacer a este dispositivo lo más independiente posible del medio físico, es decir puede soportar gran variedad de tecnologías tanto en la red del usuario, como en la red de acceso; esto también lo pudimos observar en la pila de protocolos para una pasarela residencial típica de la Comisión Hogar Digital, en la que se destacaban algunas tecnologías a ambos lados de la pasarela residencial; y a continuación se describen de manera breve, ya que este no es el objeto de estudio en el presente trabajo, algunas de las tecnologías más comúnmente implementadas en las pasarelas residenciales y otros dispositivos relacionados.

¹ Tomado del documento “Gateway Solutions” del Proyecto MUSE. Pág. 47.

2.5.1 EN LA RED DE ACCESO

En primer lugar nos referiremos a las tecnologías de redes de acceso, entre las que se destacan xDSL, HFC, FTTx y WiMax por ser las más populares y que como veremos cada una se maneja en un medio físico diferente, pues la independencia de este es una de las principales ventajas de las pasarelas residenciales.

2.5.1.1 xDSL Bucle de Abonado Digital

La RTPC o PSTN que en un inicio fue concebida para manejar tráfico de voz analógica en un canal comprendido entre 300 y 3400 Hz se vio como una alternativa para transmitir datos con un significativo ahorro en infraestructura para las compañías telefónicas que eran propietarias de esta red y es así como surgió la transmisión de datos usando un módem telefónico cuya principal desventaja es la limitada velocidad de transmisión que ofrece de 56 kbps o en el mejor de los casos de hasta 128 kbps¹ si se usan técnicas de compresión. Pero, esta limitación de ancho de banda no se debe, como podría pensarse, a las características de la línea de abonado, sino que es consecuencia de la utilización de filtros de 4 kHz por parte de las compañías telefónicas. De este modo, en ausencia de dichos filtros, como se muestra en la tabla 2.1, se podrían alcanzar velocidades del orden de las unidades de Mbps en lugares no muy distantes de las centrales telefónicas (no más de 5.5 kilómetros); y es ahí donde surge xDSL (Digital Subscriber Line), en donde la letra “x” hace referencia a cualquiera de sus variantes.

Existen varias tecnologías xDSL, entre las que destacamos algunas de las más conocidas por su funcionalidad y principalmente por su aceptación en el mercado, en primer lugar tenemos una tabla con un resumen de las características principales de algunas de estas, puesto que tienen variaciones entre ellas que deben ser tomadas en cuenta al momento de decidir cual es la mejor para nuestras necesidades; y a continuación se describe más a detalle las dos versiones más difundidas de xDSL.

¹ Dato tomado del folleto de Telemática, Ing. Pablo Hidalgo. E.P.N. Abril 2006.

Nombre	Significado	Velocidad	Modo	Observaciones
ADSL	DSL Asimétrico	De 1.5 a 8 Mbps	Descendente	Utiliza un par de hilos de cobre. Hasta 5.5 km de distancia.
		De 16 a 640 kbps	Ascendente	
CDSL	DSL de consumidor	Hasta 1 Mbps	Descendente	Utiliza un par de hilos de cobre. No necesita splitter en casa.
		De 16 a 128 kbps	Ascendente	
HDSL	DSL de alta velocidad	1.544 Mbps en EEUU	Simétrico	Utiliza 2 o 3 pares de hilos de cobre.
		2.048 Mbps en Europa	Simétrico	
IDSL	DSL de RDSI	Igual que la interfaz básica (BRI) de RDSI	Simétrico	Utiliza un par de hilos de cobre que se denomina BRI sin conmutador.
RADSL	DSL de velocidad adaptable	De 1.5 a 8 Mbps	Descendente	Utiliza un par de hilos de cobre. Adapta su velocidad de datos a la velocidad de la línea.
		De 16 a 640 kbps	Ascendente	
SDSL	DSL de par único	768 kbps	Simétrico	Utiliza un par de hilos de cobre.
VDSL	DSL de altísima velocidad	De 13 a 55 Mbps	Descendente	De 300 a 1500 metros de distancia. Necesita una red de fibra óptica y ATM.
		De 1.6 a 55 Mbps	Ascendente	

Tabla 2.1 Resumen de Tecnologías xDSL¹

2.5.1.1.1 ADSL Asymmetric DSL (DSL Asimétrico)

A pesar de no ser la más eficiente de las tecnologías xDSL, es la más difundida en el mercado, principalmente por su idoneidad para brindar servicios cliente/servidor y acceso a Internet. Como su nombre lo indica, ADSL es una tecnología asimétrica, es decir que brinda una mayor velocidad al flujo entrante de datos o canal descendente que al flujo saliente o canal ascendente, por lo que es más apropiado para clientes residenciales en donde generalmente se descargan contenidos en mayor cantidad que la publicación de los mismos.

Esta tecnología separa al canal telefónico en tres bandas de frecuencia, la primera y más baja es la del canal de voz, y otras dos superiores para la transmisión de datos, como se muestra en la figura 2.5 y que son separadas en el domicilio del usuario mediante el uso de splitters o filtros separadores de

¹ Tabla tomada del libro “Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP”. 2002. Pág. 187.

frecuencias para discernir el tráfico telefónico del de datos. El componente fundamental de una red ADSL es el DSLAM (DSL Access Multiplexer) que se sitúa en la central telefónica y cuya función es la de multiplexar cierto número de señales DSL dentro de una misma interfaz física, manejando un gran número de clientes por un solo canal en la red interna del proveedor de Internet o ISP.

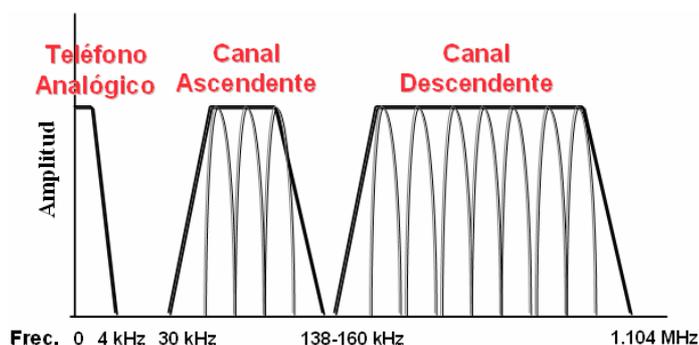


Figura 2.5 División de frecuencias en un canal telefónico que usa ADSL

2.5.1.1.2 SDSL Single line DSL

Esta es otra de las tecnologías de la familia xDSL bastante difundida, en la que las velocidades de los canales entrante y saliente son simétricas, por lo que se suele asociar el término SDSL con DSL Simétrico, lo que implica que el rendimiento es el mismo sea que se esté cargando o descargando contenidos. Por esta razón es una tecnología bastante difundida en medios corporativos. El nombre de “single line” viene del hecho de que SDSL es una versión a una sola línea de HDSL (High data rate DSL), que ocupa dos o tres pares de cobre para su funcionamiento, lo que ha limitado mucho su difusión.

2.5.1.2 HFC Híbrido Fibra Coaxial

Un módem de cable es un dispositivo que permite el acceso a altas velocidades por medio de las redes de cable, que pueden ser de cable coaxial, fibra óptica, o un híbrido HFC; y que se conecta a la red de televisión por cable. Estas redes se originaron a finales de los años cuarenta con el propósito de distribuir la señal de

televisión en las zonas montañosas de Pensilvania (EEUU), por lo que se denominaron CATV (Community Antenna TV) y hoy están muy difundidas a nivel mundial, ofreciendo muchos más servicios.

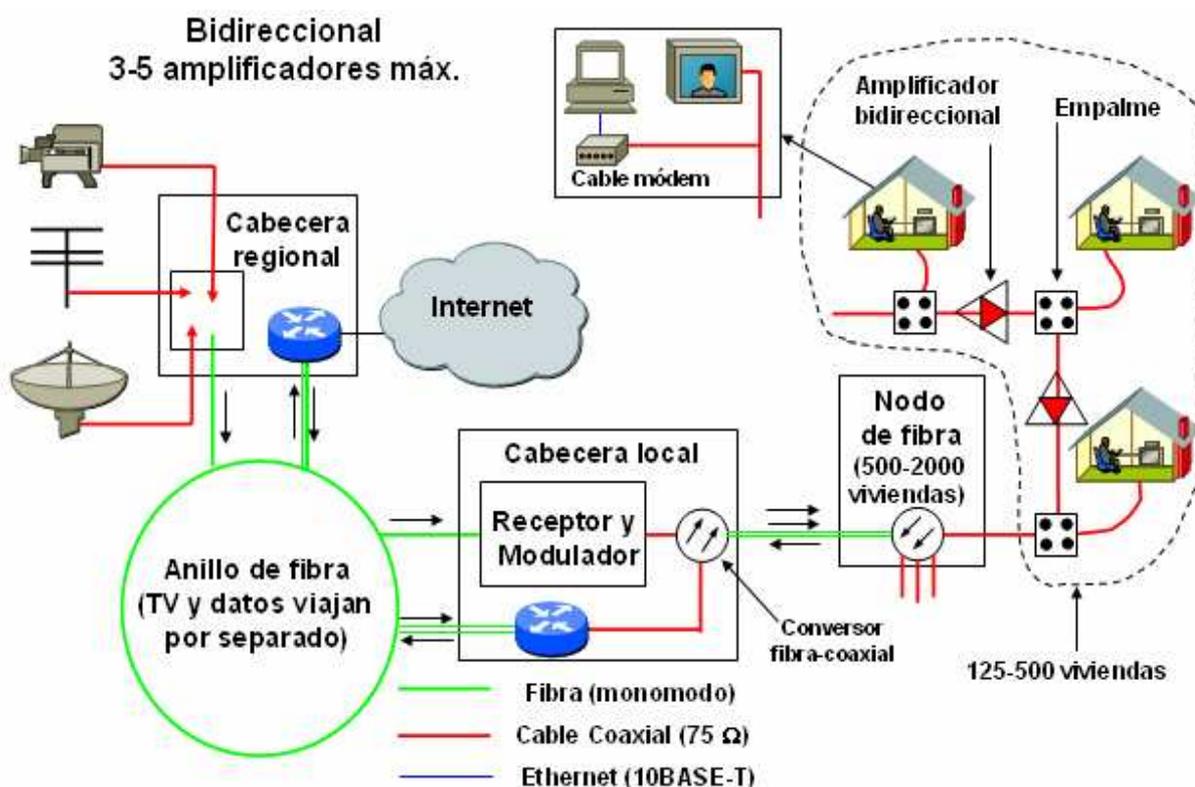


Figura 2.6 Arquitectura típica de una red HFC¹

Las redes HFC se denominan así, ya que en la red troncal poseen anillos de fibra óptica que recorren un cierto número de nodos primarios; pero la red de distribución está constituida por un bus de cable coaxial de banda ancha al que se conectan los usuarios en hogares y edificios mediante un módem de cable, al mismo que se suele añadirse un splitter (al igual que en ciertas versiones de xDSL) para separar las señales en el cable coaxial. Con esta topología de bus, todos los canales se envían a todos los usuarios todo el tiempo, sea que el televisor esté encendido o no. Esta topología se hace más claramente visible si observamos la figura 2.6.

¹ Gráfico tomado de la presentación "Tecnologías de Internet de banda ancha en la subregión andina: situación actual y tendencias" del MSc. Servio Lima. 2007.

Un módem de cable permite velocidades teóricas de hasta 40 Mbps en el flujo descendente y 10 Mbps en sentido contrario, aunque en la práctica estas llegan a los 10 y 1 Mbps respectivamente. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que estas velocidades dependen del número de usuarios en la red, ya que el ancho de banda en uso es compartido.

Las redes de CATV fueron pensadas para la difusión de señales, por lo que la mayor parte del espectro viaja en sentido descendente. Las redes de cable necesitan tener habilitado el canal ascendente para enviar información desde el usuario a la cabecera. Para habilitar la transmisión ascendente se requieren tres tipos de cambios técnicos en la red:¹

- Establecer un rango de frecuencias entre 5 y 55 MHz dedicado al canal de retorno.
- Los amplificadores deben incluir los circuitos que separen las señales descendentes de las ascendentes y las amplifiquen cada una en su respectiva dirección.
- Implementar métodos de acceso (FDMA, TDMA o CSMA) al medio de transmisión que permitan dirigir el flujo de las señales de ida hacia la cabecera.

2.5.1.3 FTTx Fiber To The: Curb, Home.

Dos tecnologías bajo consideración para mejorar el bucle de abonado son fibra hasta la acera (FTTC Fiber To The Curb) y fibra hasta el hogar (FTTH Fiber To The Home), también llamadas fibra en el bucle (FITL Fiber In The Loop). FTTC supone la llegada de la fibra cerca del suscriptor, pero no a la vivienda. El tendido llega hasta un pedestal que sirve a la vivienda.² Como vemos, es una tecnología bastante parecida a la anterior, puesto que en las redes híbridas HFC también se usa fibra óptica hasta un cierto punto, y luego se llega hasta el usuario por medio

¹ Tomado del libro "Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP". 2002. Pág. 213.

² Tomado del libro "Residential Broadband Networks xDSL, HFC, & Fixed Wireless Access". 1998. Pág. 23.

de otra tecnología, en ese caso el cable coaxial; en este en cambio, no se especifica cual es el medio físico a utilizar.

FTTH supone tender la fibra totalmente hasta la vivienda. Aunque esta tecnología proporciona un mayor ancho de banda, es un poco costosa y cada suscriptor debe poseer su propio transceptor óptico. En comparación con FTTC, hay menos interés en el desarrollo de FTTH, principalmente debido a los costos.

2.5.1.4 WiMax

En cuanto a tecnologías inalámbricas, WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una de las más difundidas en los últimos años. El foro WiMax se formó para facilitar el despliegue de redes inalámbricas de banda ancha basadas en el estándar IEEE 802.16, ayudando a asegurar la compatibilidad e interoperabilidad de equipos de acceso inalámbrico de banda ancha.

Lo mejor es que la solución WiMax varía de acuerdo a los modelos de uso, el tiempo de implementación, la posición geográfica y la aplicación de red (tanto en datos, VoIP y vídeo). Cada implementación puede estar hecha a la medida que mejor se adapte las necesidades de la red de usuarios.

Entre las características técnicas de esta tecnología tenemos que alcanza tasas de transferencia de 70 Mbps sobre distancias cercanas a los 50 km, incluso si no existe línea de vista. Una de sus grandes ventajas es que se han especificado estándares para WiMax móvil, como IEEE 802.16e y en Corea se ha desarrollado WiBro (Wireless Broadband). Es entonces una solución que puede competir con tecnologías móviles como 3G y por sus velocidades fácilmente también con soluciones cableadas como xDSL. El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz y requería torres con línea de vista. La nueva versión 802.16a, ratificada en el 2003, utiliza una banda del espectro más

estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación. Los estándares subsiguientes también se manejan dentro de éste rango de frecuencias.

2.5.2 EN LA INSTALACIÓN DOMOCILIARIA

Así como tenemos distintas tecnologías en la red de acceso, también en la red del usuario podemos tener algunos tipos; entre las que vamos a destacar PLC, Bluetooth, USB, FireWire y Ethernet.

2.5.2.1 PLC Power Line Carrier

Esta es una tecnología que se podría usar tanto en la red de acceso, cuanto en la red domótica, pero por limitaciones que veremos adelante es más práctica su utilización en la red interna del usuario. PLC (Power Line Carrier o Power Line Communication) se sustenta en la transmisión de datos usando la red eléctrica, que a diferencia de las redes tradicionales de telecomunicaciones tiene una cobertura universal, con lo que se podría llegar a la mitad de la población humana a un costo muy bajo.

Inicialmente en países industrializados como Estados Unidos aparecieron estándares como X10 que solo permitían pocos kpbs en sus tasas de transmisión, pero hoy en día las últimas versiones de estas tecnologías PLC alcanzan velocidades del orden de los Mbps. Sin embargo, PLC tiene algunas limitaciones entre las que se destaca la imposibilidad de transmitir datos a través del transformador de distribución, por lo que es más fácilmente instalable en una red interna. Estas limitaciones, conjuntamente con algunas ventajas, se resumen en la tabla siguiente:

VENTAJAS	INCONVENIENTES
La red eléctrica ya está desplegada, lo que reduce los costes de distribución.	La radiación procedente de las líneas eléctricas puede afectar a otros servicios como la radio, la televisión o xDSL.
Bajo coste en comparación con otras tecnologías de banda ancha.	Sensibilidad a las interferencias electromagnéticas. Impedancia variable.

No existe ninguna limitación en cuanto a la topología de la red.	Las frecuencias altas no atraviesan los transformadores de la red eléctrica.
Posibilidad de conectar el PC en cualquier lugar en el que haya un enchufe.	Son soluciones poco maduras desde el punto de vista tecnológico y del mercado.
Las líneas eléctricas pueden transportar señales a larga distancia sin necesidad de regeneración.	El ancho de banda disponible se comparte entre los usuarios conectados a la misma subestación eléctrica.
Seguridad y encriptación.	
La electricidad se suministra a través de una conexión permanente.	
Posibilidad de ofrecer servicios de valor añadido.	

Tabla 2.2 Ventajas e inconvenientes de las tecnologías PLC.¹

2.5.2.2 Bluetooth

Es una tecnología inicialmente propuesta por ingenieros de la Ericsson y posteriormente desarrollada por Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group) para la industria de la informática y las telecomunicaciones, la misma que describe un método de conectividad móvil universal con el cual se pueden interconectar gran variedad de equipos como teléfonos móviles, computadores, PDA's, etc. ya sea en el auto, la oficina o el hogar.

Soporta la transmisión de voz, video y datos y su funcionamiento consiste en que cada dispositivo debe estar equipado con un pequeño chip que transmite y recibe información a una velocidad de 1 Mbps en la banda de frecuencias de 2.4 GHz, y a una distancia operativa de hasta 10 metros. Además, pretende también ofrecer acceso a Internet a través de redes locales y dar soporte para la sincronización de datos entre dispositivos informáticos.²

La versión 2.0 de Bluetooth especifica velocidades de 4, 8 y 12 Mbps dependiendo del dispositivo, pero todas ellas compatibles entre sí y con la primera versión; además proporciona un nivel de acceso al medio más eficiente, aunque como desventaja tenemos que se duplica el consumo de potencia.

¹ Tabla tomada del libro "Redes y servicios de Banda Ancha. Tecnología y Aplicaciones" 2004. Pág. 172.

² Tomado del libro "Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP". 2002. Pág. 62.

2.5.2.3 USB Universal Serial Bus

Esta es una de las tecnologías para la interconexión de equipos actualmente más difundidas, ya que como podemos ver casi todas las computadoras y demás aparatos electrónicos poseen puertos USB en la actualidad. Este estándar permite a los dispositivos actuar como plug & play, es decir que pueden conectarse o desconectarse sin necesidad de reiniciar el sistema; y además incluye la transmisión de energía eléctrica al dispositivo conectado que consuma hasta 2.5 vatios.

Actualmente USB, que tiene un alcance máximo de 5 metros, se encuentra en su versión 2.0, cuya principal ventaja sobre versiones anteriores es la velocidad que ahora llega a 480 Mbps en comparación de anteriores velocidades de 1.5 y 12 Mbps. Esta velocidad le permite a USB 2.0 competir directamente con FireWire, tecnología que se estudiará a continuación.

Entre otras ventajas que posee este estándar tenemos su bajo costo, penetración en el mercado, facilidad de manipulación de los dispositivos, posibilidad de conectar hasta 127 equipos en la misma red, etc. Estas características han hecho tan popular a USB que ahora tenemos conectores tan variados como los fabricantes de equipos, pero todos compatibles con la tecnología original.



Figura 2.7 Tarjeta PCI-USB 2.0¹

¹ Fotografía tomada de < http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:USB2-PCI_Card.jpg >

2.5.2.4 IEEE 1394 FireWire

Esta es una tecnología que por sus similitudes con USB se encuentra en franca competencia con esta en el mercado, pero solamente algunas empresas la han aceptado como estándar, entre estas: Apple, Sony, IBM y Compaq.

Este estándar describe un bus serie plug & play de alta velocidad utilizable tanto sobre placa (para interconexión de tarjetas sobre el mismo panel posterior) como sobre cable (para interconexión de tarjetas en distinto panel posterior o entre periféricos externos).

IEEE1394 permite la conexión tanto de dispositivos digitales multimedia de altas prestaciones, como grabadoras de vídeo, televisores, equipos de música, consolas de mezclas, etc. como de dispositivos tradicionales de PC como discos duros, CD-ROM, impresoras, escáneres, etc. A diferencia de otros buses donde la comunicación depende de un control centralizado (por ejemplo, en un PC), IEEE 1394 soporta un modelo peer-to-peer, en la que cualquier dispositivo puede comunicarse directamente con cualquier otro, siempre que utilicen los mismos protocolos.¹

Entre las principales características de FireWire tenemos su velocidad que está estandarizada en 400 y 800 Mbps, aunque se espera poder alcanzar 1 Gbps; cada bus soporta hasta 63 dispositivos, permite 4.5 metros de alcance y al igual que USB puede transportar energía eléctrica, pero con un esta vez con un máximo de 45 vatios de consumo.

2.5.2.5 Ethernet / IEEE 802.3

Esta es una tecnología que fue inicialmente desarrollada por Digital Equipment Corporation, Intel Corporation y XEROX en 1980 bajo el nombre de Ethernet y luego estandarizada por la IEEE en la especificación IEEE 802.3. Hoy en día este

¹ Tomado del documento “Un paseo por IEEE-1394 (FireWire)” de Fujitsu España. 2000. Pág. 3.

es el término generalizado para referirse a una familia de estándares del IEEE que consideran una red con una topología lógica y física en bus, las cuales se valen de la técnica de acceso al medio CSMA/CD (Acceso Múltiple por Escucha de Portadora/Detección de Colisión) para compartir los recursos del canal; este tipo de redes locales son las de mayor difusión en todos los ámbitos.

Las especificaciones originales de Ethernet se transmitían a 10 Mbps usando como medio físico el cable coaxial (10Base5 y 10Base2), pero luego se la desarrolló para usarse con cables UTP (Par trenzado sin blindaje), con lo que se facilitó su instalación y difusión; a esta tecnología compatible con las versiones anteriores se la llamó 10BaseT. Debido a las necesidades de mayor ancho de banda en las redes locales, se desarrolló Fast Ethernet o 100BaseT, que como su nombre lo indica, alcanza velocidades de 100 Mbps, y es además compatible con la versión a 10 Mbps puesto que usa el mismo medio físico, método de acceso al medio y formato de trama; es por eso que la mayoría de tarjetas de red o NIC's funcionan a ambas velocidades. Hoy en día la tecnología Ethernet se ha desarrollado tanto que podemos alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps sobre fibra óptica, a lo que se ha llamado 10 Gigabit Ethernet; pero estas tecnologías por sus costos y prestaciones se las utiliza casi exclusivamente en redes WAN y MAN.

Ethernet es, sin lugar a dudas, la tecnología más extendida y de mayor difusión en todo el mundo para la implementación de LAN empresariales y es cada vez más utilizada en las redes residenciales. Por ejemplo, la conexión de la tarjeta de red del PC al módem xDSL se suele realizar, si es a través de USB, a través de Fast Ethernet.¹

¹ Tomado del libro "Tecnologías de Telecomunicaciones" de José Huidobro y otros. España. 2006. Pág. 391.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE CALIDAD DE SERVICIO PARA SOPORTE DE VOZ, VIDEO Y DATOS EN UNA PASARELA RESIDENCIAL

3.1 INTRODUCCIÓN A CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

En este capítulo nos concentraremos principalmente en el estudio de las arquitecturas de calidad de servicio ISA y DiffServ, las mismas que nos serán útiles para analizar la mejor manera para soportar Calidad de Servicio (QoS Quality of Service) en los servicios proporcionados por la pasarela residencial; pero antes vamos a introducirnos en el concepto y factores involucrados en lo que es calidad de servicio.

En redes IP tradicionales, debido a su concepción original para flujos pequeños de datos y sin servicios de tiempo real, no era necesario soporte para calidad de servicio; pero con el advenimiento de servicios garantizados y controlables, así como el despliegue de las aplicaciones multimedia y de las aplicaciones con flujos isócronos¹, como video o audio en tiempo real se ve la necesidad de definir y establecer Calidad de Servicio, más allá del famoso Best Effort (mejor esfuerzo) tradicionalmente usado en Internet. QoS es generalmente un término algo difícil de definir, y muchas veces se lo asocia únicamente con el ancho de banda disponible en una red, lo cual puede ser solamente un primer paso para mejorar las prestaciones de la misma, pero no es la solución a la calidad de servicio en sí. Para comprender de mejor manera lo que es calidad de servicio, a continuación se cita una definición del TR-058 del DSL Forum, que se incluye además en otros documentos; y otras definiciones de un libro de texto y un artículo de una revista técnica:

¹ Flujos isócronos. – Son los flujos de información en los cuales, cada entidad de información está delimitada por una relación de tiempo con las entidades precedente y subsiguiente. Como ejemplo tenemos a las aplicaciones en tiempo real, como videoconferencia o voz sobre IP; en las cuales se hace necesario mantener una periodicidad y sincronismo en los flujos de datos.

Calidad de Servicio o QoS se refiere a la naturaleza de la provisión del servicio de entrega de tráfico diferenciado, que viene descrito por parámetros como ancho de banda obtenido, retardo de paquetes, y tasas de pérdida de paquetes. Tradicionalmente, la Internet ha ofrecido un servicio de entrega del Mejor Esfuerzo, con ancho de banda disponible y características de retardo dependientes de la carga instantánea.¹

En términos generales, puede definirse la Calidad de Servicio (QoS) como la capacidad que tiene un sistema de asegurar, con un grado de fiabilidad preestablecido, se cumplan los requisitos de tráfico, en términos de perfil y ancho de banda, para un flujo de información dado.²

El rendimiento de una red basada en paquetes es usualmente caracterizado por varios parámetros: retardo de paquetes (latencia), variación del retardo (jitter), tasa de pérdida de paquetes, y ancho de banda. Calidad de Servicio (QoS) se refiere a la capacidad de una red para limitar todos o algunos de estos parámetros. Para soportar diversos requerimientos de aplicaciones, el tráfico puede ser separado en varias clases con diferente soporte de QoS.³

Como resultado de estas definiciones vemos que QoS tiene como objetivo solventar los problemas que han ido surgiendo en Internet y en las redes IP en general en los últimos años, soportando servicios cada vez más exigentes en lo referente a varios parámetros técnicos, los mismos que se analizarán a continuación; y que además se sustentan en flujos de paquetes que atraviesan distintas redes bajo la administración de diferentes entidades que tendrán distintas posibilidades en lo referente a la provisión de QoS; pues no todas las redes pueden contar con la misma calidad de enlaces, disponibilidad de recursos, y eficiencia en la administración de las mismas.

¹ Definición tomada del reporte técnico TR-094 del DSL Forum “Multi-Service Delivery Framework for Home Networks” 2004. Pág. 12.

² Tomado del libro “Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP”. 2002. Pág. 436.

³ Tomado del artículo “Success PON Demonstrator: Experimental Exploration of Next-generation Optical Access Networks” publicado en la IEEE Communications Magazine. Agosto 2005.

3.2 PARÁMETROS TÉCNICOS INVOLUCRADOS EN QoS

Las redes de datos han sido diseñadas para el transporte eficiente de estos, para lo cual no debe perderse información en las mismas, o esta pérdida debe ser mínima, es decir debe asegurarse una QoS a los servicios ofrecidos. En términos cualitativos la QoS se basa en la percepción que tienen los usuarios finales sobre el servicio que están recibiendo, y a esto se conoce también como QoE (Quality of Experience); pero en términos cuantitativos, la calidad de servicio se refleja en una serie de factores o parámetros técnicos que se pueden medir y ajustar convenientemente de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. Entre los más importantes, y que se tomarán en cuenta en este estudio tenemos: retardo, jitter o variación del retardo, disponibilidad de ancho de banda y confiabilidad del canal de datos.

3.2.1 RETARDO

Este es un parámetro que indica el retraso en la llegada de los flujos de datos a su destino en la red. Sus efectos son distintos de acuerdo a si el protocolo de capa transporte que se usa es TCP o UDP.

Para aplicaciones basadas en TCP, cuanto mayor sea el retardo, mayor será el esfuerzo del protocolo para funcionar de manera adecuada. Este es un protocolo capaz de ajustar dinámicamente la velocidad de envío al flujo de realimentación que proviene del receptor por medio de los acuses de recibo o ACK's. A medida que crece el retardo entre emisor y receptor, más insensible resulta este mecanismo de control de flujo, con lo que el protocolo se vuelve también más insensible a las variaciones dinámicas en la carga de la red. El asunto se vuelve peor para aplicaciones basadas en UDP como voz y video, donde el aumento del retardo hace que la respuesta de la red sea tan pobre que esta resulta totalmente inútil.

3.2.2 VARIACIÓN DEL RETARDO O JITTER

Desgraciadamente el retardo que se produce en los flujos de datos no es constante, y esta variación en el retardo provoca un nuevo problema al que se conoce como jitter. Este puede aparecer por congestión en la red, pero principalmente debido a una incorrecta sincronización de bit entre los elementos de red, y se presenta como un estrechamiento y alargamiento del ancho de los pulsos en el receptor.

El aumento del jitter provoca en las aplicaciones basadas en TCP la falta de eficacia para restablecer los flujos de datos cuando se superan los umbrales prefijados, debido a que el protocolo realiza unas estimaciones muy conservadoras sobre el tiempo de ida y vuelta. En el caso de aplicaciones que se sirven de UDP, el aumento de esta variación provoca que el destino reciba una señal distorsionada, que podría corregirse con el aumento del tamaño de las colas en este para así reproducir fielmente la señal. El problema con esta solución es que se originaría un aumento en el retardo, lo que no afectaría mucho en flujos continuos, pero dificultaría enormemente el mantenimiento de sesiones interactivas como telefonía IP por ejemplo.

3.2.3 DISPONIBILIDAD DE ANCHO DE BANDA

Como ya hemos dicho, por falta de conocimientos, muchas veces se relaciona únicamente a este término con la Calidad de Servicio, pues se suele pensar que basta con incrementar el ancho de banda para mejorar las prestaciones de una red, lo que en un principio puede ser verdad, pero QoS depende también de otros parámetros como lo estamos viendo; y al aumentar el ancho de banda innecesariamente llegamos a sobredimensionar la red, lo que implica costos innecesarios y muchas veces sin alcanzar los resultados deseados. A pesar de lo mencionado, se debe tener en cuenta que este sí es el parámetro técnico más importante a considerarse al momento de proporcionar calidad de servicio.

De manera general podemos definir al ancho de banda como la máxima velocidad de transferencia de datos entre dos extremos de una red. El límite lo impone la infraestructura física de los canales y los flujos que comparten algunos de enlaces. Aunque el ancho de banda no es infinito y depende de las leyes físicas que rigen para un medio físico dado, constantemente se hacen avances en lo referente a técnicas de modulación para aprovechar de manera más eficiente dicho medio.

3.2.4 CONFIABILIDAD

Se concibe como la tasa media de error de la red, siendo una propiedad del sistema de transmisión en su conjunto. Diversos factores pueden afectar a la confiabilidad, como por ejemplo ruteadores mal configurados o de bajas prestaciones; exceso de tráfico, que ocasiona congestión en la red; insuficiente espacio de almacenamiento en los nodos, etc. Otro factor muy importante en el momento de considerar la confiabilidad de un sistema es el medio físico que está siendo usado, ya que hay tasas medias de error asociadas a cada uno de estos.

Si consideramos aplicaciones basadas en el protocolo de transporte TCP, este corrige las deficiencias de confiabilidad mediante retransmisiones, lo que se traduce en obligar al emisor a disminuir su velocidad de envío. En cambio, para aplicaciones basadas en UDP, la falta de confiabilidad causa por ejemplo distorsión en las señales analógicas que se reproducen en el destino, puesto que no hay retransmisiones. En cualquier caso, la falta de confiabilidad en una red causa una baja calidad del enlace, lo que puede llegar a significar incluso que este no esté disponible en ciertos momentos.

Al analizar estos factores debemos tomar en cuenta que no existen de forma aislada, sino que están fuertemente relacionados entre sí. Como ya hemos mencionado, los enlaces tienen características inherentes al medio de transmisión de retardo, ancho de banda y confiabilidad. Si el nivel de tráfico que selecciona un salto determinado excede el ancho de banda correspondiente a ese enlace

durante un tiempo prolongado, la calidad de servicio se degrada. Entre otros factores que degradan la calidad de servicio podemos tener protocolos de enrutamiento inestables, que pueden generar alteraciones en la selección de rutas causando problemas de entregas desordenadas de paquetes y retardos innecesarios.

3.3 PROCEDIMIENTOS PARA PROPORCIONAR DIFERENCIACIÓN DE QoS

Los procedimientos para proporcionar diferenciación de QoS son muy variados y actúan sobre las diferentes capas (enlace, red, transporte, etc.) dependiendo de los problemas específicos que se quieran resolver. Todos ellos requieren modificar la ingeniería de la red en su conjunto, aunque hay que tener en cuenta que, en último término, las medidas de calidad de servicio solo se podrán aplicar dentro de la propia red del proveedor. Estudiamos estos procedimientos porque son la base en la que se sustentan las arquitecturas de calidad de servicio, que serán objeto de estudio posteriormente en este mismo capítulo. Entre los principales procedimientos de calidad de servicio, mencionaremos los siguientes:

3.3.1 PRIMERO EN ENTRAR, PRIMERO EN SALIR (FIFO)

El encolamiento FIFO (First Input First Output) básicamente involucra almacenar los paquetes entrantes cuando la red se encuentra congestionada y enviarlos en el mismo orden de llegada cuando la red se ha liberado o se encuentra con bajos niveles de congestión. Este es el mecanismo por defecto utilizado en la mayoría de dispositivos de red, puesto que el algoritmo no requiere ningún tipo de configuración especial. Los principales inconvenientes relacionados con este procedimiento son:¹

¹ Tomado del Proyecto de Titulación “Reingeniería de la red de campus de la Escuela Politécnica Nacional considerando los criterios de Calidad de Servicio” de los Ing. Díaz y Maya. E.P.N. Pág. 28 y 29.

- No distingue los paquetes entrantes según la prioridad de cada uno de los mismos.
- El orden de llegada determina el ancho de banda, el retardo y la localización en el búfer del dispositivo.
- Cuando se tiene tráfico a ráfagas, este algoritmo puede causar importantes retardos en la entrega de los paquetes causando graves inconvenientes, especialmente si se trata de aplicaciones sensibles al retardo, y mensajes de control y señalización de la red, ya que no distingue sus distintas prioridades.

Este ha sido uno de los primeros procedimientos implantados en las redes, pero no estrictamente para proporcionar calidad de servicio, puesto que no realiza una distinción en el tipo de tráfico o reservas de recursos; y es así como se ha visto la necesidad de implementar nuevos procedimientos que se valen de algoritmos sofisticados, como los que veremos adelante.

3.3.2 ENCOLAMIENTO BASADO EN CLASES (CBQ)

El procedimiento CBQ (Class Based Queuing) consiste en un mecanismo de colas basado en la clase de tráfico: el tráfico se cataloga en diferentes clases y luego, según estas, se lo asigna a una determinada cola de salida. Agrega las conexiones en clases estableciendo una jerarquía. Con este mecanismo, cada clase tiene una prioridad y un determinado rendimiento.

Como vemos en la figura 3.1, cada clase tiene asignado el porcentaje de ancho de banda que puede utilizar. Este parámetro puede ser estático, si es asignado permanentemente por el administrador de la red o; dinámico si varía dependiendo de las condiciones actuales de la red, según el algoritmo en uso. En dicha figura, como ejemplo, se han asignado ciertos valores o porcentajes de ancho de banda a algunas aplicaciones, los que varían de acuerdo a los requerimientos de cada red.

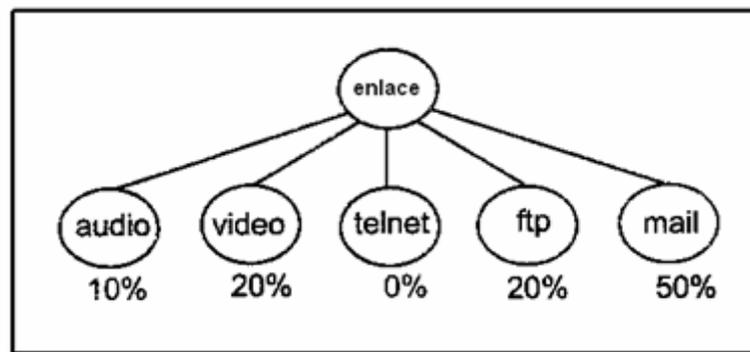


Figura 3.1 Ejemplo de la compartición de enlace en CBQ

Los objetivos principales del encolamiento basado en clases son los de asegurar que cada clase con una demanda suficiente, recibirá aproximadamente el ancho de banda que le corresponde en los intervalos de tiempo adecuados cuando exista congestión y; que la distribución del ancho de banda sobrante generado si alguna de las clases no se encuentra haciendo uso del recurso que tiene asignado, no debe ser aleatoria, sino que ha de seguir un cierto procedimiento.

En este procedimiento se realiza una especie de multiplexación en tiempo, en la que se van tomando alternadamente paquetes de las distintas colas con un tamaño que depende de la asignación de recursos y, se los va despachando hasta que el umbral prefijado se supera o la cola correspondiente se vacía.

3.3.3 ENCOLAMIENTO EQUITATIVO PONDERADO (WFQ)

WFQ (Weighted Fair Queuing) es un procedimiento de garantía de ancho de banda basado en una disciplina de colas de reparto equitativo de recursos, en donde el tráfico de poco volumen o de mejor comportamiento recibe un trato preferencial para reducir su tiempo de respuesta y; el tráfico de gran volumen se reparte el ancho de banda restante de forma proporcional.

Este algoritmo es una mejora al esquema denominado Fair Queuing (FQ), en el cual el dispositivo de conmutación mantiene múltiples colas, las que son atendidas de forma cíclica, tomándose un paquete en cada turno de cada cola no

vacía. El mayor inconveniente de este esquema es que los paquetes de corta duración son penalizados. Es así como se desarrolla WFQ, el cual permite asignar equitativamente de forma ponderada la capacidad disponible entre todos los flujos activos. Con este esquema no se penalizan los paquetes cortos y adicionalmente la asignación diferenciada de capacidad permite el soporte de flujos con diferente calidad de servicio.

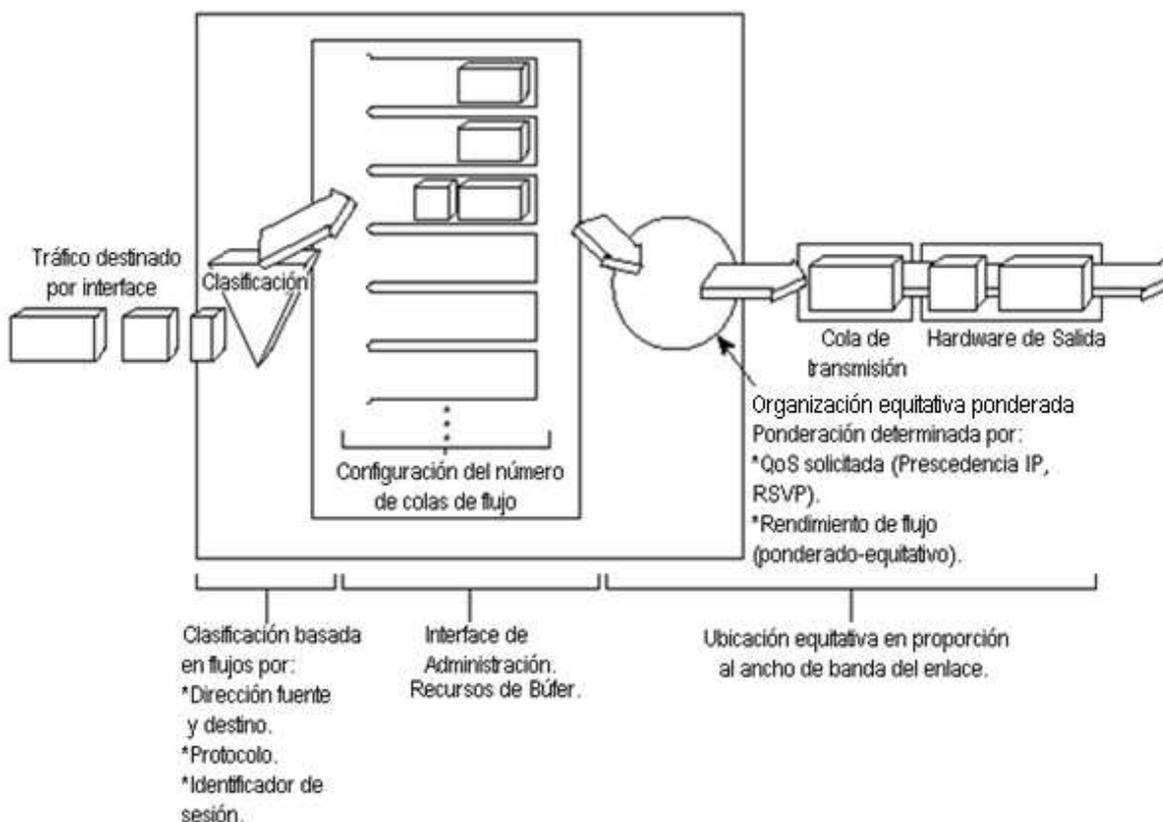


Figura 3.2 Esquema gráfico del procedimiento WFQ

En la figura anterior, lo que podemos observar es una esquematización del tratamiento que reciben los flujos de paquetes en un equipo de conmutación, de acuerdo al procedimiento WFQ; en este procedimiento, los flujos que llegan por los distintos interfaces pasan a ser clasificados de acuerdo a ciertos parámetros como direcciones o identificadores de sesión, para luego colocarlos en un búfer a la espera de ser atendidos; finalmente estos paquetes son colocados en colas de transmisión para ser enviadas por el hardware de salida; en estas colas de salida es donde se aplica WFQ para organizar los paquetes de manera ponderada de acuerdo al tamaño de los paquetes y parámetros de QoS (como RSVP o

precedencia IP). WFQ es un algoritmo sumamente eficiente ya que puede utilizar todo el ancho de banda disponible para enviar tráfico de baja prioridad en el caso de que no exista ninguna cola con tráfico de mayor importancia. Otra de las ventajas de este procedimiento es que las colas se atienden de manera cíclica, consistente y equitativa, lo que permite una estabilización del jitter o variación de retardo.

3.3.4 TASA DE ACCESO COMPROMETIDA (CAR)

CAR (Committed Access Rate) es un mecanismo de garantía de ancho de banda que se basa en dos funcionalidades descritas a continuación, y que son la clasificación de paquetes y la limitación de las tasas de transmisión, la que a su vez se realiza en tres fases que se detallarán en su momento.

3.3.4.1 Clasificación de paquetes

La clasificación de paquetes permite distribuir el tráfico en diferentes niveles de prioridad o clases de servicio. Los paquetes se clasifican en función de su importancia o prioridad utilizando los bits de precedencia IP del campo ToS (Type of Service) de la cabecera IP. A cada clase le corresponde una diferente QoS, de modo que será necesario determinar para cada una de ellas la política de gestión de tráfico, la cual incluirá la gestión de congestión, la asignación de ancho de banda y los límites de retardo.

3.3.4.2 Limitación de las tasas de transmisión

Es cuando se limita la velocidad máxima de transferencia de tráfico por el interfaz de acceso a la red. Al tráfico que entra dentro de los márgenes del servicio contratado se lo deja pasar, mientras que el resto se transmite con prioridad más baja o se descarta, según sea el caso. Esta función se desarrolla en tres fases que son:

- *Equiparación de tráfico* que consiste en la identificación del tráfico para limitar o fijar la tasa de transmisión y/o configurar la precedencia.
- *Medición de tráfico* que se encarga de determinar si el tráfico es conforme o excede la tasa de transmisión fijada en la fase anterior.
- *Política de acción* es la última fase de esta funcionalidad. Si el tráfico es conforme con la tasa de transmisión establecida, entonces se ejecuta la acción de conformidad correspondiente; por el contrario, si el tráfico supera la tasa de transmisión, entonces se ejecuta la acción de exceso correspondiente. Las acciones que se pueden ejecutar en cualquier caso son:
 - Transmitir.
 - Fijar la precedencia y transmitir.
 - Descartar.
 - Continuar.
 - Fijar la precedencia y continuar.
 - Fijar el nivel de QoS y transmitir.
 - Fijar el nivel de QoS y continuar.

3.3.5 DETECCIÓN ALEATORIA TEMPRANA (RED)

RED (Random Early Detection) es un mecanismo para evitar la congestión de red sobre la base de controlar principalmente el tamaño de cola indicando a los sistemas finales cuándo deben dejar de enviar paquetes.

Se establecen dos límites: límite normal y límite extendido. Cuando el tráfico excede el límite normal, RED empieza aleatoriamente a descartar paquetes e indica a la fuente de tráfico que disminuya y adapte su tasa de transmisión a la tasa que la red puede utilizar, retrasando así el tráfico hasta que todos los paquetes alcancen su destino y se finalice la congestión. Si aún no se supera la

congestión y el tráfico alcanza y excede el límite extendido, entonces se produce el descarte indiscriminado de paquetes.¹

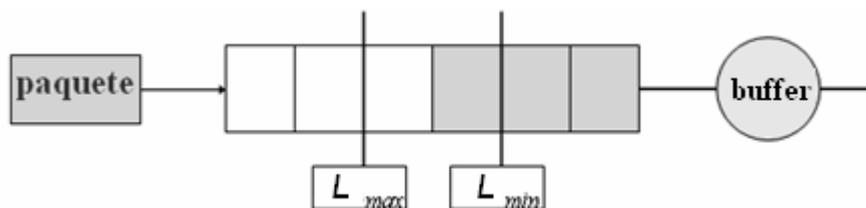


Figura 3.3 Límites normal y extendido en RED.

En la figura anterior se observa una representación de los límites normal y extendido (L_{min} y L_{max} respectivamente) a los que tiene que someterse el tráfico en una cola para el procedimiento RED.

Para acomodar diferentes velocidades de línea entre las redes de backbone y acceso, es necesario el almacenamiento de tráfico en un búfer. Diferentes estrategias de almacenamiento y planificación pueden afectar al rendimiento en la entrega de paquetes.²

3.4 ARQUITECTURAS DE CALIDAD DE SERVICIO

Desde su creación en inicios de los años 70's, para la transmisión de datos, Internet ha adoptado el servicio del mejor esfuerzo o best effort (BE), el cual se basa en los siguientes tres principios:

- No se niega el ingreso a la red para ningún tipo de tráfico.
- Todo el tráfico que atraviesa la red es tratado de la misma manera, sin distinciones.

¹ Tomado del libro "Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP". 2002. Pág. 446.

² Tomado del artículo "Success PON Demonstrator: Experimental Exploration of Next-generation Optical Access Networks" publicado en la IEEE Communications Magazine. Agosto 2005.

- De lo único que se preocupa la red es de transmitir el tráfico de la mejor manera posible de acuerdo a los recursos de la misma, sin introducir retardos adicionales y/o pérdidas innecesarias.

Pero como ya se mencionó con anterioridad, el advenimiento de servicios garantizados y controlables, así como el despliegue de las aplicaciones multimedia y con flujos isócronos, como video o audio en tiempo real han traído necesidad de definir y establecer Calidad de Servicio y arquitecturas que la soporten; es esto a lo que llamamos Arquitecturas de Calidad de Servicio.

El componente que más problemas genera en una arquitectura de QoS es el control de la carga del servicio. Para poder implementar este control de carga se han desarrollado ciertos procesos, como la negociación del nivel de servicio en la que se especifican límites estrictos “por flujo” en los retardos, tasas de pérdida y rendimiento, pero que requieren grandes recursos de cabeceras que dificultan el tratamiento de las mismas; es esto en lo que se basa la arquitectura ISA. Para superar estos inconvenientes que generan problemas de escalabilidad, se ha desarrollado una arquitectura alternativa que realiza una distinción “por clase” conocida como DiffServ, aunque esta provee garantías de servicio menores.

3.4.1 ARQUITECTURA DE SERVICIOS INTEGRADOS (ISA)

ISA (Integrated Services Architecture) también conocida como IntServ es una arquitectura de Calidad de Servicio que se enfoca a flujos individuales de paquetes, es decir, cadenas individuales de paquetes IP entre hosts finales y aplicaciones, con las mismas direcciones fuente y destino, los mismos números de puerto TCP/UDP y el mismo campo de protocolo.

En ISA, un flujo es una secuencia de paquetes que se produce como resultado de una acción del usuario y requiere la misma QoS. Un flujo es simplex (unidireccional), es decir que tendrá una única fuente, pero puede tener varios destinos (multicast). Además, de un flujo podemos decir que es la entidad más pequeña a la que los routers pueden aplicar una determinada QoS; y en ISA se

implementa esta para cada uno de los flujos de acuerdo con el modelo de servicio.

El modelo de Servicios Integrados, describe los posibles niveles de calidad de servicio que las aplicaciones pueden solicitar de forma controlada. Para ello se necesitan:¹

- Definiciones uniformes de los posibles niveles de calidad de servicio y de los parámetros que la especifican, aplicadas de la misma forma por los distintos elementos que componen la red.
- Un protocolo de reserva de recursos, implementado en los nodos extremos (emisor y receptor) y en los elementos intermedios de la red (ruteadores).

En ISA se han especificado dos niveles de calidad de servicio además del mejor esfuerzo; y estos son:

Carga controlada (SCL), que en una situación de bajo nivel de carga exige a los elementos de la red un comportamiento similar al de mejor esfuerzo, utilizando el control de admisión para proporcionar el servicio incluso en caso de congestión. En este caso se mantienen muy bajas la tasa de pérdida de paquetes y el retardo de transmisión; y no se requiere ningún control de la variación del retardo. Resumiendo, las claves del servicio de carga controlada son el asemejarse al servicio de mejor esfuerzo en situaciones de baja carga; no establecer un límite máximo específico en el retardo de cola a través de la red y; garantizar que la mayoría de paquetes transmitidos se entregarán con éxito.

Calidad garantizada (SG) asegura que mientras el tráfico se mantenga dentro de las especificaciones acordadas, las aplicaciones tendrán un tiempo máximo de transmisión extremo a extremo garantizado y que además no se producirán pérdidas por congestión. Sin embargo, los paquetes podrían llegar antes del límite máximo, generando jitter. En este caso, los puntos principales de este servicio

¹ Tomado del libro “Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP”. 2002. Pág. 451.

son: garantizar la calidad de servicio solicitada, establecer un retardo de cola máximo y asegurar que no haya pérdidas en las colas.

Como se verá más adelante, las aplicaciones que requieren uno de estos niveles de calidad deben proporcionar una especificación del tráfico (Tspec) que van a transmitir.

3.4.1.1 Componentes de la arquitectura ISA

Los componentes de la arquitectura de Servicios Integrados son:

3.4.1.1.1 Clasificador de Paquetes

Este es un componente de control de tráfico que cataloga en clases de servicio a los paquetes entrantes. Una clase puede corresponder a un conjunto de flujos o, ajustarse a uno solo. La clasificación es local para cada uno de los ruteadores, por lo que puede ser diferente en cada uno de ellos.

3.4.1.1.2 Planificador de Paquetes

Es otro componente de control de tráfico, el que se encarga de manejar los flujos de envío, organizando a los paquetes para determinar que cola utilizarán y cual será su orden de transmisión. Además se encarga de revisar si un flujo excede o no la capacidad solicitada y en caso de exceso, como tratarlo; pudiendo llegarse en casos extremos al descarte de paquetes.

3.4.1.1.3 Control de Admisión

Este componente de control de tráfico se encarga de implementar el algoritmo de decisión que el ruteador utilizará para determinar si hay suficientes recursos para garantizar la QoS solicitada por el flujo, y por ende si este flujo es aceptado o no por el ruteador.

3.4.1.1.4 Protocolo de Reserva

Es un componente utilizado para establecer una conexión con una determinada QoS entre los nodos extremos y los ruteadores de la ruta seguida por cada flujo. A continuación se estudiará más a profundidad el protocolo de reserva RSVP que es el utilizado en ISA, y que como vimos en el capítulo 2, está incluido en la pila de protocolos de una pasarela residencial típica.

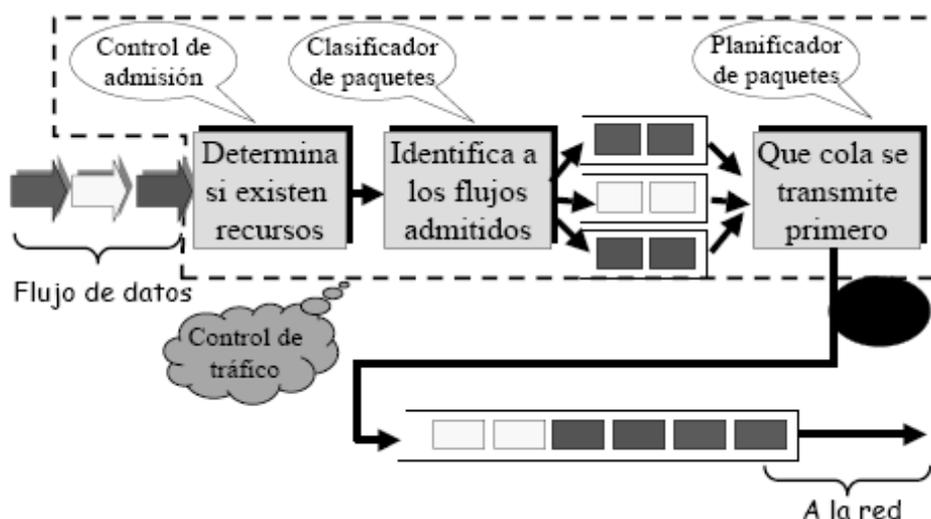


Figura 3.4 Diagrama esquemático de un ruteador que realiza un proceso de reserva de recursos¹

3.4.1.2 El Protocolo RSVP

El Protocolo de Reserva de Recursos (RSVP²) es el protocolo diseñado por ISA para trabajar con cualquiera de sus servicios; el mismo que se utiliza por el nodo inicial para solicitar QoS para uno o varios flujos, por los nodos intermedios para entregar las solicitudes de QoS al resto de nodos en la ruta, por el nodo final para realizar la reserva de recursos y, para establecer y mantener el estado del servicio solicitado.

¹ Gráfico tomado del documento “Modelo IntServ/Protocolo RSVP” de Cláudia Barenco Abbas.2003.

² RSVP = Resource ReSerVation Protocol.

Los mensajes RSVP se envían en paralelo con los paquetes IP (IPv4 o IPv6), este protocolo está diseñado para funcionar sobre cualquier protocolo de enrutamiento, el cual enviará sus mensajes a cada destino, y a continuación los mensajes RSVP para reservar los recursos a lo largo de las rutas. El protocolo de enrutamiento es el que determina donde se enviarán los paquetes, y RSVP determina la QoS de estos paquetes según las rutas.

RSVP requiere reservar recursos en cada nodo a lo largo de la ruta; y asume que se necesitará reservar recursos para diversas aplicaciones debido a la cantidad y heterogeneidad de los receptores, por lo que no es lógico reservar recursos al establecer la conexión y es así como se responsabiliza a los nodos receptores de realizar la solicitud de QoS.

Con RSVP se tratan flujos individuales, asociando a cada flujo una clase de tráfico. Sus problemas fundamentales derivan de su complejidad, pues se precisa una señalización y una información de estado para todos los flujos y todos los nodos de la red. Sin embargo, RSVP tiene todavía aplicación en ciertas áreas, como son la constitución de rutas explícitas y se ven nuevas posibilidades en la arquitectura MPLS (MultiProtocol Label Switching).

3.4.1.2.1 Formato de los mensajes RSVP

Como podemos observar en la figura 3.5, los mensajes RSVP están constituidos por una cabecera y un número variable de objetos QoS.

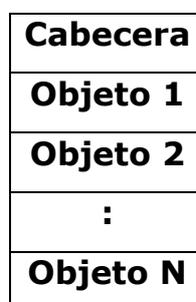


Figura 3.5 Formato de un mensaje RSVP

3.4.1.2.1.1 Campo de Cabecera

La cabecera del mensaje RSVP a su vez, está constituida de la siguiente manera, en donde el número de bits del que consta cada campo se muestra entre paréntesis:

Versión (4)	Bandera (4)	Tipo (8)	Chequeo de suma (16)
Send_TTL (8)		Reservado (8)	Longitud (16)

Figura 3.6 Formato de la cabecera de un mensaje RSVP

En donde:

- *Versión*: Indica la versión del protocolo RSVP, actualmente versión 1.
- *Bandera*: Valores aún no definidos en el estándar.
- *Tipo*: Este es un campo que indica el tipo de mensaje RSVP que se transporta; estos pueden ser 8, los que se indican a continuación:
 1. Mensaje de Ruta (Path).
 2. Mensaje de Reserva (Resv).
 3. Mensaje de Error de Ruta (Path_Err).
 4. Mensaje de Error de Reserva (Resv_Err).
 5. Mensaje de Finalización de estado de ruta (PathTear).
 6. Mensaje de Finalización de estado de reserva (ResvTear).
 7. Mensaje de Confirmación de Reserva (ResvConf).
- *Chequeo de suma*: Campo para la detección de errores en el mensaje.
- *Send_TTL*: Indica el tiempo de vida del paquete.
- *Reservado*: Campo asignado para usos posteriores.
- *Longitud*: Indica en bytes, la longitud total del mensaje RSVP.

3.4.1.2.1.2 Campo de Objeto

Un mensaje RSVP puede tener un número variable de objetos; y el formato de este campo se muestra en la figura siguiente:

Longitud	ID Clase	Tipo-C
Objeto QoS		

Figura 3.7 Formato del campo de Objeto de un mensaje RSVP

En donde:

- *Longitud*: Es un campo que contiene la longitud en bytes del objeto correspondiente, la que debe ser múltiplo de 4.
- *ID Clase*: Indica la clase de objeto que transporta el mensaje RSVP, de esto se tratará mas a fondo en la siguiente sección.
- *Tipo-C*: Describe el tipo de objeto, en la actualidad sirve para identificar si el protocolo de red es IPv4 o IPv6.

3.4.1.2.1.2.1 Objetos QoS

Estos objetos son un conjunto de elementos que se clasifican según el campo ID Clase, pero que se recogen y resumen en las siguientes especificaciones:

- *Especificación del tráfico de datos del emisor (Sender_Tspec)*. Como su nombre lo indica, es la información generada por el nodo emisor, para especificar su propio tráfico. Esta información nunca se modifica por ninguno de los elementos de red.
- *Especificación del flujo de datos (Flowspec)*. Esta información se genera por cada nodo receptor para describir el servicio QoS deseado, y está compuesta por la especificación de tráfico que la reserva solicitada aplicará (Receiver_Tspec); y los parámetros requeridos para solicitar el servicio (Rspec). Flowspec puede ser modificado por los nodos intermedios.
- *Especificación de notificaciones (Adspec)*. Esta información se genera y/o modifica en la red y es utilizada por los nodos receptores para realizar las reservas. Aquí se incluye información sobre los servicios disponibles, ancho de banda estimado, retardos, etc.

3.4.1.2.1.2.2 Parámetros RSVP

Los mensajes RSVP constan de un número variable de objetos que a su vez contienen una serie de parámetros. Cada parámetro puede tomar valores locales o compuestos, en donde el valor local indica el valor del parámetro en cada elemento de red y, el valor compuesto se refiere al valor acumulado a lo largo de la ruta. Los parámetros RSVP son:

- *Especificación de tráfico del cubo de testigos (Token_Bucket_Tspec)*: Es un parámetro de control utilizado por el emisor de datos para describir el tráfico que se espera generar, y por los servicios integrados para describir el tráfico que la reserva aplicará. Se utiliza con SCL y SG.
- *No es nodo IS (Non-Is_Hop)*: Es un parámetro de caracterización que proporciona información sobre la presencia de elementos de red que no tienen implementados servicios integrados a lo largo de la ruta
- *Contador de nodos IS (Is Number_Of_Is_Hops)*: Similar a caso anterior, pero esta vez informa sobre los nodos que si brindan servicios integrados. Su número de parámetro va incrementándose en cada nodo ISA que atraviesa.
- *Ancho de banda de ruta disponible (Available_Path_Bandwidth)*: Este parámetro de caracterización informa sobre el ancho de banda disponible a lo largo de la ruta seguida por un flujo de datos.
- *Latencia de ruta mínima (Minimum_Path_Latency)*: Es un parámetro de caracterización dado en microsegundos, el que indica la latencia a lo largo de la ruta seguida por cierto flujo.
- *Unidad máxima de transmisión de ruta (Path_Mtu)*: Este es un parámetro de caracterización que informa la máxima longitud que puede tener un paquete en determinada ruta.

- *Especificación de solicitud de servicio (Rspec)*: Es un parámetro de control usado para solicitar los valores de ancho de banda y retardo que cada elemento de red debe proporcionar. Este parámetro se usa en el servicio SG.
- *Tasa de error dependiente C*: Parámetro de caracterización de error que informa del retardo que sufren los datagramas de un flujo debido a las características del mismo. Depende del ancho de banda reservado en cada nodo.
- *Tasa de error independiente D*: Es un parámetro de caracterización de error que indica el tiempo máximo de tránsito esperado para obtener un determinado servicio.

Estos dos últimos parámetros son términos de error que representan la desviación existente en los elementos de red debido a la implementación del SG con el modelo.

3.4.1.3 Operación de la Arquitectura de Servicios Integrados

En este punto mencionaremos de manera sencilla como opera la arquitectura ISA para transportar un flujo de datos de un nodo origen a uno de destino, valiéndose para esto del protocolo RSVP, el cual es un protocolo de control que se especializa en gestionar reservas de recursos de la red a lo largo del camino entre dichos nodos.

En cada uno de los nodos (no solamente en los extremos) existe un proceso RSVP, responsable de mantener el protocolo entre nodos y gestionar los componentes del nodo local. Este proceso recibe peticiones de reserva de recursos de las aplicaciones (en los nodos extremos) o de otros nodos a través del protocolo (en los ruteadores). El control de política decide si el usuario y flujo están autorizados a la reserva solicitada. En caso de ser aceptada la reserva,

RSVP configura parámetros adecuados al nivel de servicio solicitado en los dos componentes que realmente procesarán los paquetes: clasificador y planificador de paquetes; lo que ya se pudo observar en páginas anteriores en la figura 3.4, donde se muestra el diagrama esquemático de un ruteador que realiza un proceso de reserva de recursos.

El modo de funcionamiento del protocolo de reserva RSVP está definido para grupos multicast, considerando como un caso particular a unicast. El emisor envía un mensaje PATH a todos los usuarios del grupo, lo que causará la creación de información de “estado de camino” en cada nodo de la ruta seguida. Este mensaje se envía con la dirección IP de destino dirigida al receptor final, asegurando el buen encaminamiento a través de nodos sin capacidad RSVP. Una característica importante del mensaje PATH es que además de contener la dirección del nodo anterior, debe contener la descripción del emisor y el tráfico que este enviará.

En ISA el proceso de establecer una reserva se inicia en el receptor, con un mensaje denominado RESV en dirección al emisor (las reservas, al igual que los flujos son unidireccionales). Este mensaje utiliza la información de “estado de camino” creada previamente por el mensaje PATH para recorrer el camino inverso hacia el emisor, creando a su paso en los nodos información de “estado de reserva”.

Si un nodo desea recibir confirmación de la solicitud de reserva transmitida, entonces debe indicarlo en el mensaje RESV, lo que bajo ciertas condiciones producirá un mensaje de confirmación de reserva o RESVCONFIRM.

Las reservas establecidas mediante RSVP tienen una duración limitada y deben ser refrescadas periódicamente. Dado que los mensajes RSVP se transmiten como datagramas IP sin garantía de entrega, el período de refresco debe ser k veces menor que el tiempo de vida, para que las posibles pérdidas de paquetes no pongan en peligro la estabilidad de las reservas. El valor recomendado es $k=3$,

si bien puede configurarse con valores mayores, en caso de tasa de pérdidas elevada.¹

Dichas reservas son dinámicas, tanto en lo referente a la calidad solicitada, como en cuanto a la ruta que se sigue. La reserva se cancela si no se refresca periódicamente, por lo que se la llama reserva “soft”, que se diferencia de la reserva “hard” realizada en los circuitos permanentes o conmutados en los que esta permanece hasta que se libera por parte del plano de control o por el de gestión.

Es importante tener en cuenta que no todas las solicitudes se aceptan pues cuando un nodo recibe un mensaje de reserva lo pasa a los componentes de ISA, los que realizarán las pruebas correspondientes, y ante cualquier falla se rechaza la solicitud de reserva y el nodo envía un mensaje de error de reserva o RESVERR.

A continuación, en la figura 3.8, se muestra un ejemplo gráfico de cómo se realiza la reserva de una ruta entre los hosts H1 y H2 usando los mensajes PATH y RESV, considerando que no hay fallos que puedan crear errores en la reserva. H1 quiere iniciar una sesión con 137.194.1.1 (H2); para lo cual el ruteador R1, al que se halla directamente conectado H1, crea un soft state y registra H1 como paso anterior y procede a reenviar el mensaje PATH; el ruteador R2 realiza el mismo proceso, registrando a R1 como paso anterior; el proceso de enrutamiento y registro del camino sigue hasta que se alcanza el host H2, el mismo que decide aceptar la sesión y define el tráfico a reservar de acuerdo a sus restricciones, y entonces el mensaje RESV se envía de regreso por el camino previamente establecido por el mensaje PATH, estableciendo de esta manera la sesión RSVP, con lo que ya se tiene la reserva de recursos “soft state” entre los hosts H1 y H2.

¹ Tomado del libro “Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP”. 2002. Pág. 455.

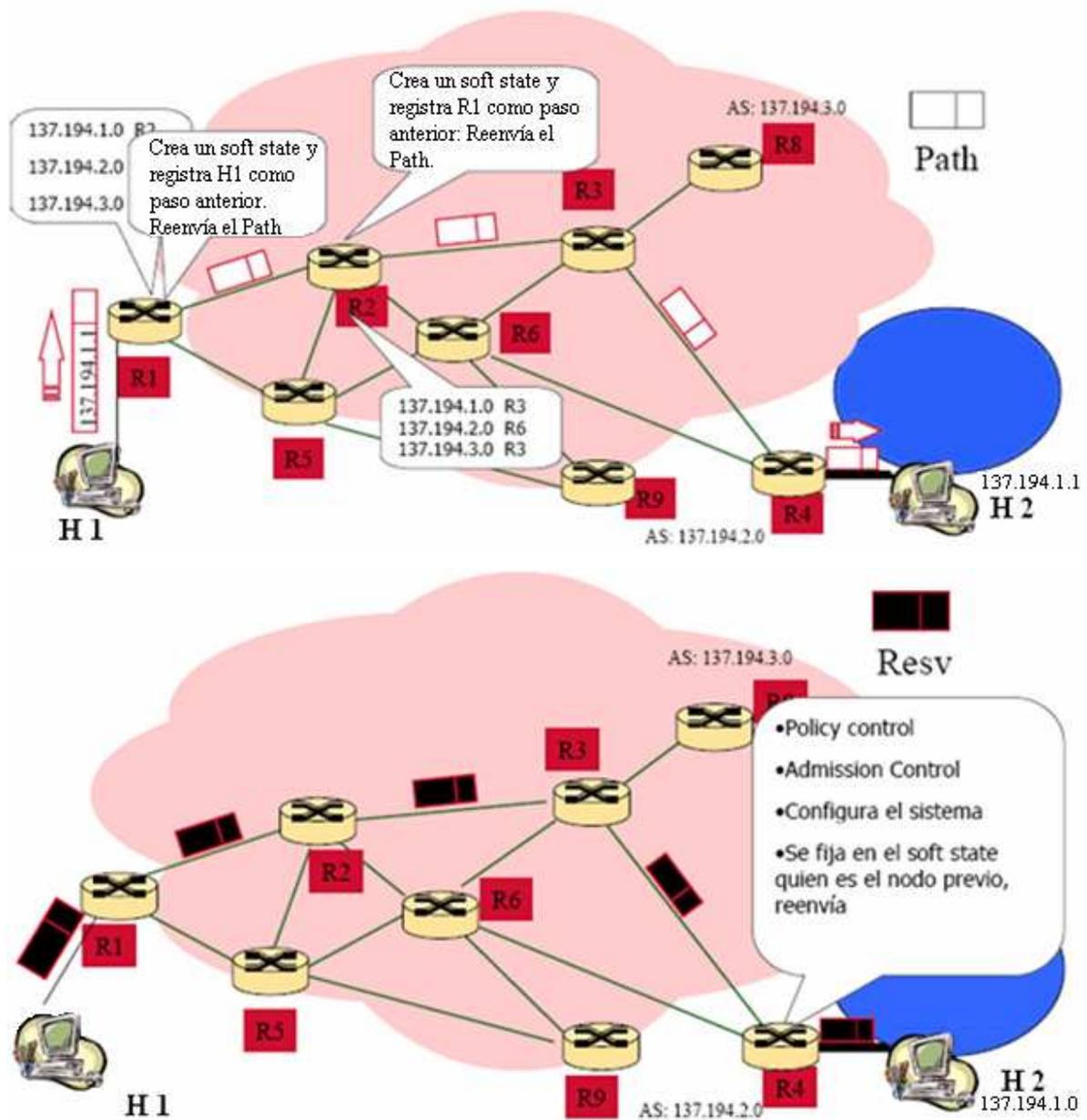


Figura 3.8 Ejemplo de establecimiento de una reserva en ISA utilizando RSVP.¹

3.4.2 ARQUITECTURA DE SERVICIOS DIFERENCIADOS (DIFFSERV)

La arquitectura de servicios diferenciados tiene como objetivo posibilitar una discriminación de servicios escalable en Internet y redes IP. Para que un sistema sea escalable, el trabajo que realiza un nodo no debe depender directamente del

¹ Ejemplo tomado del documento "Calidad de Servicio en redes IP" del Instituto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de la República. 2005.

número de usuarios; en este sentido la agregación es un punto clave para reducir el número de usuarios con que un nodo tiene que tratar.

La arquitectura DiffServ está basada en el concepto de que el tráfico entrante a la red es clasificado y posiblemente condicionado. Estas acciones tienen lugar en los límites de la red y el resultado de esto es que los paquetes entrantes a la red son colocados en los mismos agregados de acuerdo a su comportamiento, como paquetes que deben ser tratados de la misma manera.¹

Dentro de la red los paquetes son reenviados a su destino en un comportamiento por salto PHB (Per Hop Behavior), el que se analizará a profundidad mas adelante, que caracteriza el tratamiento diferenciado que recibe un paquete individual. Este tratamiento se implementa por las disciplinas de servicio de colas. En esencia, esta arquitectura realiza las siguientes funciones:²

- Clasificación y agregación de tráfico.
- Tráfico transportado por marca en la capa IP, utilizando el campo DS (DiffServ). El campo DS constituye una redefinición del campo ToS (Tipo de servicio) utilizado en los datagramas IP, redefinición cuyo objetivo es unificar los campos similares en IPv4 e IPv6.
- Los paquetes se clasifican y marcan para recibir un tratamiento específico por salto en la ruta.
- Las operaciones de clasificación, marca, política y acondicionamiento de tráfico sólo se realizan en los nodos frontera.
- Amplia gama de servicios.
- Establecimiento de un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA, Service Level Agreement).

Este último término es muy importante dentro de DiffServ, pues SLA es un acuerdo entre cliente y proveedor de servicio que especifica el servicio que recibirá el usuario. Puede incluir las reglas que constituyen el TCA (Traffic

¹ Tomado del documento "DiffServ Per Hop Behaviors (PHBs)" de la Universidad de Helsinki. 2000. Pág. 2.

² Tomado del libro "Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP". 2002. Pág. 487 y 488.

Conditioning Agreement), el cual consiste en un acuerdo que define las reglas, aplicables a los flujos de tráfico, para realizar el servicio.

3.4.2.1 Elementos básicos de la Arquitectura DiffServ

Como elementos básicos de esta arquitectura mencionaremos algunos tipos de nodos, los que se encuentran agrupados en un dominio DS¹ que es la entidad que provee un conjunto coherente de PHB's en el dominio de red. Generalmente estos nodos pertenecientes a un dominio DS se encuentran bajo la misma administración, aunque esto no siempre es así. Un dominio DS tiene límites bien definidos constituidos por los nodos frontera, los cuales realizan un conjunto de funciones mencionadas en el punto anterior, necesarias para conectar un dominio DS a otro dominio DS, o bien a uno no DS; esto viene a ser similar al concepto de interconexión de sistemas autónomos en cualquier proceso de enrutamiento. Los nodos frontera se encuentran a su vez clasificados en nodos de entrada y nodos de salida; los que realizan las funciones necesarias para manejar el tráfico entrante o saliente hacia o desde el dominio DS, respectivamente. Otros componentes importantes de estos dominios DS son los nodos internos, los cuales se diferencian de los nodos frontera porque solamente se conectan a otros nodos DS y sólo dentro del mismo dominio.

Un nodo frontera contiene todas las funciones anteriormente mencionadas; y los nodos internos pueden contener parte de las funciones de un nodo frontera, ya que estossolamente se conectarán a nodos de características conocidas. La interconexión y distribución de los diferentes tipos de nodos dentro de un dominio DS puede verse de manera más clara con la ayuda del gráfico de la figura 3.9, la que se muestra a continuación:

¹ DiffServ o Servicio Diferenciados.

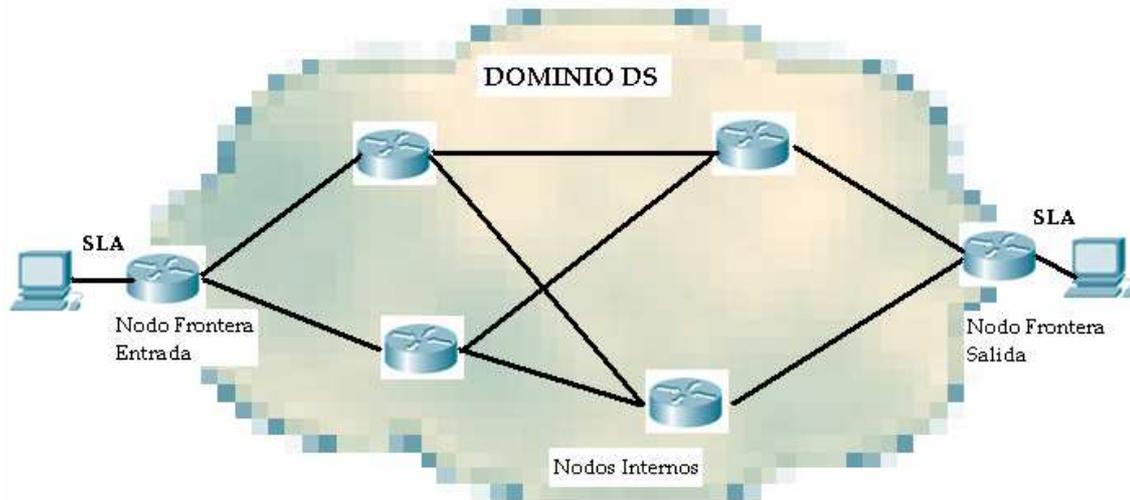


Figura 3.9 Dominio DS y sus elementos básicos

3.4.2.2 Políticas de Control

En la figura 3.10 se muestra la estructura lógica de las funciones de clasificación y acondicionamiento del tráfico. Para la clasificación se usa la información de la cabecera del paquete, es decir, direcciones fuente y destino, y campo DS (luego se estudiará con más detenimiento a cerca de este campo).

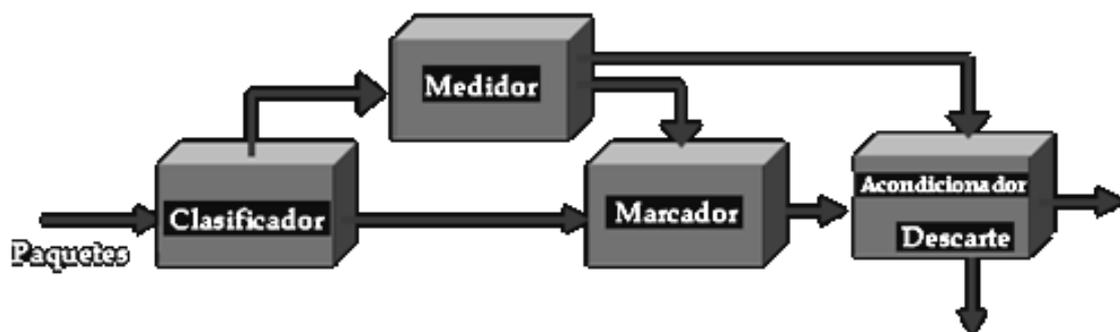


Figura 3.10 Clasificación y Acondicionamiento de tráfico

El medidor realiza una medición de las propiedades temporales del flujo de tráfico seleccionado por el clasificador, e informa a los mecanismos de marcación, acondicionamiento y descarte. El marcador establece el código del campo DS; el acondicionador realiza la función de “suavizar” o demorar los paquetes para que

se adapten a cierto perfil de tráfico, lo que en casos extremos podría llegar a significar el descarte de los mismos.

Respecto a la implementación de estas funciones, no se tiene una regla estricta a seguir, pero como ya se mencionó, los nodos frontera poseen todas las funciones, por lo que generalmente las más complejas se realizan aquí. La función de adaptación se puede realizar en el cliente, y los procesos de descarte en los nodos internos.

3.4.2.3 Comportamiento por salto (PHB)

El principal factor que describe a un PHB es siempre el comportamiento de reenvío observable externamente de un conjunto de paquetes marcados con un mismo DSCP (DiffServ codepoint) y enviados a una misma dirección; conocido como BA (Behavior Aggregate). Pueden pertenecer a un mismo agregado paquetes procedentes de múltiples fuentes o aplicaciones. Además, en un mismo nodo pueden coexistir varios PHB's, los que pueden ser agrupados juntos en agregados, o permanecer separados.

Técnicamente hablando, un PHB denota una combinación de comportamientos de reenvío, clasificación, planificación y descarte en cada salto de los paquetes pertenecientes a un mismo BA.¹ Los comportamientos por salto, son usualmente necesarios en casos en los que varios agregados compiten por los recursos disponibles en un nodo, el que es entonces capaz de realizar una discriminación de servicios basado en los PHB's definidos en ese nodo DS. Estos PHB's se seleccionan en base al campo DS de cada paquete.

3.4.2.3.1 Campo DS (Servicios Diferenciados)

Al estudiar la arquitectura DiffServ es necesario conocer este campo DS, pues es el que define los códigos de los PHB's; DS es una redefinición en la que se

¹ Tomado del libro "Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP". 2002. Pág. 491.

unifican los campos ToS de IPv4 y Traffic Class de IPv6. Los seis primeros bits del campo se denominan DS codepoint (DSCP); además existen dos bits no utilizados en DS, denominados CU (currently unused) para implementaciones futuras. Este “codepoint” es la clave del direccionamiento de los paquetes en un PHB. En las siguientes figuras se puede observar la ubicación de estos campos en las cabeceras de los paquetes de IP, tanto versión 4 como versión 6; y la asignación de los bits dentro de los mismos.

1 byte	1 byte	1 byte	1 byte
Vers.	IHL	TOS	Total Length
Identification		Flags	FO
TTL	Protocol	Header Checksum	
Source IPv4 address (4 bytes)			
Destination IPv4 address (4 bytes)			
Options		Padding	

Figura 3.11 (a) Campo ToS dentro de la cabecera IPv4.

1 byte	1 byte	1 byte	1 byte
Vers.	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source IPv6 address (16 bytes)			
Destination IPv6 address (16 bytes)			
Extensions (variable)			

Figura 3.11 (b) Campo Traffic Class dentro de la cabecera IPv6.

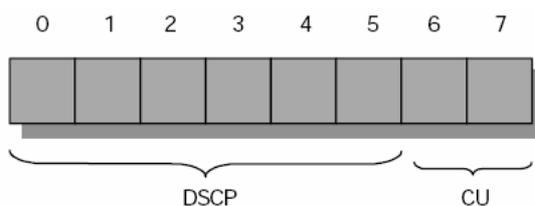


Figura 3.11 (c) Utilización de los bits del campo DS

3.4.2.3.2 Estandarización PHB

Al observar que el campo DSCP tiene seis bits, podemos deducir que es posible obtener 64 códigos para ser usados por los PHB's. Estos 64 posibles códigos se han distribuido en 3 grupos, de la siguiente manera:¹

- Grupo 1: 32 PHB's recomendados para ser asignados a acciones de estandarización. Patrón de bits: 'xxxxx0'.
- Grupo 2: 16 códigos reservados para propósitos experimentales o uso local (EXP/LU). Patrón de bits: 'xxxx11'.
- Grupo 3: 16 códigos que pueden ser usados para uso experimental o local (EXP/LU), pero que pueden llegar a ser usados con fines de estandarización en caso de que el grupo 1 se agote. Patrón de bits: 'xxxx01'.

Los PHB's ya estandarizados más comunes son los siguientes:

- PHB por defecto.
- PHB Selector de Clase.
- PHB de Reenvío Expedito.
- PHB de Reenvío Asegurado.

De estos cuatro, los más importantes son los dos últimos, y serán descritos más detenidamente posteriormente, por ahora mencionaremos brevemente a los otros dos PHB's. El PHB por defecto se encuentra disponible en todos los nodos DS y es equivalente al servicio BE tradicionalmente usado en Internet. El objetivo principal del grupo PHB Selector de Clase es la compatibilidad con los bits de precedencia del campo ToS de IPv4. En este caso, cuando el nivel de congestión aumenta, el tráfico de una cierta clase experimenta unas pérdidas menores que el tráfico de clase inferior. Además, el tráfico de mayor prioridad experimenta menos retardos de colas; se usan mecanismos de colas como WFQ y CAR.

¹ Tomado del documento "DiffServ Per Hop Behaviors (PHBs)" de la Universidad de Helsinki. 2000. Pág. 6.

3.4.2.3.2.1 PHB de Reenvío Expedito (Expedited Forwarding PHB)

El objetivo principal del PHB de EF es proporcionar servicios con pérdidas, latencia y jitter bajos, y ancho de banda garantizado. En otras palabras, equivalentes a los de una línea dedicada virtual o bien a los servicios de calidad garantizada del modelo de Servicios Integrados. Este servicio se denomina también “premium” y sólo tiene un nivel de calidad, especificado por un valor recomendado de DSCP = ‘101110’.

En el nodo frontera debe haber un control estricto de la velocidad del flujo de entrada, pues de otra forma no habría control sobre las colas y, en consecuencia sobre la latencia, el jitter y las pérdidas. Los paquetes en exceso deben descartarse de forma inmediata para que no afecten a los demás flujos. Es posible también utilizar un mecanismo de adaptación para mejorar la característica de pérdidas. En cambio, en los nodos internos, los paquetes que llegan antes de tiempo deben reenviarse inmediatamente.

Ejemplos de posibles aplicaciones son los flujos isócronos de las aplicaciones en tiempo real, como videoconferencia o voz sobre IP. El costo del servicio dependerá fundamentalmente del ancho de banda y de los horarios de disponibilidad.

3.4.2.3.2.2 PHB de Reenvío Asegurado (Assured Forwarding PHB)

El principal objetivo de PHB de AF es asegurar el reenvío de paquetes en Internet e intranets; permite también que un proveedor de un dominio DS pueda ofrecer diferentes niveles de seguridad de reenvío a los paquetes IP recibidos de un cliente. Los flujos de tráfico dentro de un determinado BA que exceden el ancho de banda asignado deben ser penalizados; esta función puede realizarse marcando los paquetes excedentes con un valor mayor de precedencia, es decir con mayor probabilidad de que sean descartados.

AF PHB provee reenvío de paquetes IP en N clases independientes AF, en las que hay M diferentes niveles de prioridad de descarte. Esto origina una matriz AF_{ij} , donde $1 \leq i \leq N$ y $1 \leq j \leq M$. Típicamente se asignan valores de $N=4$ y $M=3$. Además, debe verificarse que $PD(AFi1) \leq PD(AFi2) \leq PD(AFi3)$; donde $PD(AFi_j)$ es la probabilidad de descarte del nivel “j” de la clase “i”. Los códigos recomendados para AF PHB son los siguientes:

AF11 = ‘001010’	AF12 = ‘001100’	AF13 = ‘001110’
AF21 = ‘010010’	AF22 = ‘010100’	AF23 = ‘010110’
AF31 = ‘011010’	AF32 = ‘011100’	AF33 = ‘011110’
AF41 = ‘100010’	AF42 = ‘100100’	AF43 = ‘100110’

Tabla 3.1 Códigos recomendados para AF PHB¹

En el caso de que las acciones de acondicionamiento proporcionen una carga moderada para los paquetes más importantes y que no haya sobrecarga para el tráfico de los otros dos niveles, la clase AF PHB puede ofrecer un alto nivel de reenvío asegurado para los paquetes dentro del perfil y hasta dos niveles de reenvío asegurado para el restante tráfico. La implementación debe intentar minimizar la congestión a largo plazo dentro de cada clase, lo cual requiere un algoritmo tipo RED.

3.4.2.4 El protocolo IEEE 802.1 p/Q

Tomando en cuenta la arquitectura de la pasarela residencial (principalmente los bloques funcionales F5 y F6), descrita en el capítulo anterior, en la que se menciona un posible tratamiento de la QoS usando las cabeceras de capa 2; y que aunque IEEE 802.1p/Q no entra dentro de la arquitectura de servicios diferenciados, tiene un principio de operación similar aunque enfocado a redes de área local y no a grandes redes como lo es DiffServ, es por esto que aquí se hace una breve descripción de este estándar.

¹ Tabla tomada del documento “DiffServ Per Hop Behaviors (PHBs)” de la Universidad de Helsinki. 2000. Pág. 7.

El objetivo principal de IEEE 802.1p es permitir a los dispositivos de capa 2 (opera a nivel de subcapa MAC) asignar prioridades al tráfico, y proveer filtrado multicast dinámico. La razón por la que se habla de IEEE 802.1p/Q es que IEEE 802.1p es una extensión del estándar original para etiquetado VLAN¹ en tramas Ethernet denominado IEEE 802.1Q y trabajan el uno sobre el otro. La etiqueta VLAN de IEEE 802.1Q se conforma de dos partes: el identificador VLAN de 12 bits y un campo de priorización de 3 bits que no fue definido ni usado en este estándar; y es ahí donde entra a operar IEEE 802.1p.

Estos 3 bits de prioridad permiten agrupar a los paquetes en clases de tráfico, con lo que los equipos de conmutación solamente clasifican y reenvían los paquetes de acuerdo a sus características, sin necesidad de establecer una reserva de recursos. Como es lógico, se deduce que podemos tener 8 niveles de prioridad para las distintas clases de tráfico, las que pueden ser asignadas por los administradores de la red, aunque la IEEE ha hecho varias recomendaciones al respecto, las que se resumen en la siguiente tabla:

PRIORIDAD	TIPO DE TRÁFICO
7	Tráfico de máxima importancia como actualizaciones RIP u OSPF.
6	Aplicaciones sensibles al retardo (< 10 ms) ej. Voz.
5	Aplicaciones sensibles al retardo (< 100 ms) ej. Video.
4	Aplicaciones tipo carga controlada como video streaming.
3	Tráfico tipo best effort para usuarios importantes.
2	Aplicaciones de negocios.
1	Datos elegibles a ser descartados.
0	Tráfico tipo best effort, prioridad por defecto en redes LAN.

Tabla 3.2 Prioridades de los distintos tipos de tráfico en IEEE 802.1 p

¹ VLAN = Virtual LAN.

3.4.3 COMPARACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS ISA Y DIFFSERV

Una vez estudiadas ambas arquitecturas, sus fundamentos y características, es necesario realizar una comparación entre las mismas para permitir seleccionar la que mejor se adapte a los requerimientos de una red domótica basada en una pasarela residencial que brinde los servicios ya mencionados.

La comparación entre estas arquitecturas y el debate entre cual es mejor para cada caso no es cosa nueva, puesto que ambas ofrecen distintas clases de servicio, pero la discusión se centra entre la una de garantías determinísticas contra la utilización del ancho de banda.

IntServ se basa en el control de admisión y puede ofrecer anchos de banda determinísticos y, retardos extremo a extremo para flujos individuales al costo de realizar estrictas reservas que garantizan el escenario del peor caso. Debido a que esto ocurre muy raramente, gran cantidad del ancho de banda es desperdiciado. Por otra parte, DiffServ da prioridad a los flujos de acuerdo a la clase de servicio y brinda así una mejor utilización del ancho de banda, ya que no se realiza control de admisión. El costo es un alto grado de incertidumbre: no se puede ofrecer garantía a flujos individuales, el máximo retardo y jitter son difíciles de calcular, puede haber pérdida de paquetes, etc.¹

Como ya hemos visto y seguiremos estudiando en este capítulo las dos arquitecturas tienen ventajas y desventajas y se acoplan de mejor o peor manera a distintos tipos de redes. Se ha mencionado que DiffServ nace como solución a los problemas, principalmente de escalabilidad, que tiene ISA; y además tiene la ventaja de que la administración de QoS se maneja únicamente a nivel local, y no como en el caso de ISA en que esta debe tener una vigencia de extremo a extremo, lo cual es muy difícil de conseguir, especialmente en redes grandes o de distintas administraciones. Pero la ventaja con la que cuenta ISA es la garantía determinística que posee cada uno de los flujos de datos, lo que implica mejores

¹ Tomado del artículo “Comparing the utilization bounds of IntServ and DiffServ” de la Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 1.

garantías de servicio en la red. Las características principales de estas arquitecturas de QoS, y sus diferencias, se resumen en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICA	ISA	DIFFSERV
Granularidad de la diferenciación del servicio.	Flujos individuales.	Agregado de flujos.
Estado en los ruteadores.	Por flujo.	Por agregado.
Base de la clasificación de tráfico.	Algunos campos de cabecera.	El campo DSCP (6 bits) de la cabecera IP.
Control de admisión.	Requerido.	No requerido.
Protocolo de señalización.	Requerido (RSVP).	No requerido.
Coordinación para la diferenciación de servicio.	Extremo a extremo.	Local (por salto).
Alcance de la diferenciación de servicio.	Una ruta unicast o multicast.	Cualquier lugar en la red o rutas específicas.
Escalabilidad.	Limitada por el número de flujos.	Limitada por el número de clases de servicio.
Manejo de red.	Similar a redes de circuitos conmutados.	Similar al existente en redes IP.

Tabla 3.3 Resumen comparativo entre arquitecturas ISA y DiffServ.¹

Además, como un dato interesante publicado por la Universidad Politécnica de Valencia, después de realizar cálculos sobre la eficiencia de las redes que trabajan con estas arquitecturas se ha llegado a la conclusión de que un sistema operando con IntServ no puede garantizar más allá del 40% de la utilización del ancho de banda; pero sorprendentemente, DiffServ EF provee incluso menos que eso. Sin embargo, estos cálculos son bastante pesimistas, puesto que se desarrollan para el peor caso, y es por eso que en la misma publicación² se menciona que después de realizar las correspondientes simulaciones se encuentra que la eficiencia de ambas arquitecturas es similar entre ellas, pero muy superior a los límites impuestos por los cálculos matemáticos.

¹ Basada en la tabla 2.1 de la tesis “Análisis de la provisión de Calidad de Servicio para redes móviles utilizando IntServ y DiffServ” de José Arce. EPN. 2005. Pág. 32.

² “Comparing the utilization bounds of IntServ and DiffServ” de Terrasa, Sáez y Vila. España.

3.5 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE QoS EN LOS SERVICIOS QUE PRESTA LA PASARELA RESIDENCIAL

Los tres servicios en los que se enfoca este trabajo tienen diferentes requerimientos de calidad de servicio debido a sus diferentes naturalezas, y por lo tanto serán tratados de manera diferente en cualquiera de las dos arquitecturas anteriormente estudiadas. Pero, sus características técnicas, sin importar la arquitectura de calidad de servicio serán las mismas para cada tipo de tráfico; estas características se muestran en la siguiente tabla:

SERVICIOS	Ancho de Banda Típico (Upstream)	Ancho de Banda Típico (Downstream)	Límite de retardo	Pérdida de paquetes
Internet de Alta velocidad (navegación, Chat, FTP, VPN, acceso, etc.) - Residencial (típicamente asimétrico) - SOHO (típicamente simétrico)	128 - 640 kbps Hasta 6 Mbps	Hasta 3 Mbps Hasta 6 Mbps		
Video streaming		25 kbps – 2 Mbps		~1%
Voz/Video telefonía	6 - 750 kbps	6 - 750 kbps	<400ms	~1%

Tabla 3.4. Parámetros técnicos a cumplirse en los servicios de la pasarela residencial.¹

Partiendo de los datos indicados en la tabla anterior, y de las consideraciones que se han hecho para los servicios ya mencionados, así como la descripción de las dos arquitecturas de calidad de servicio, mencionaremos dos soluciones para proveer calidad de servicio en una pasarela residencial con servicios de voz, datos y video.

3.5.1 SOLUCIÓN ISA

En este punto aún no es posible decir que cantidad de recursos se reservarían para cada uno de los servicios de la pasarela residencial, pues esto tendrá lugar en el capítulo 4 cuando dimensionemos una red, y esta asignación se haga de

¹ Ciertos datos tomados del reporte técnico TR-058 del DSL Forum “Multi-Service Architecture & Framework Requirements” 2004. Pág. 11.

acuerdo a las necesidades de la red bajo análisis. Por ahora podemos mencionar generalidades de cómo se aplicaría la arquitectura ISA a una red domótica con servicios de voz, video y datos.

Sabemos que en una red de dimensiones pequeñas, como lo es una instalación domiciliaria no existen los problemas de escalabilidad que produjeron el advenimiento de DiffServ y es así que se podrían reservar recursos, pero además, hay que tomar en cuenta que los flujos de datos no serán solamente internos, ya que como una de las características principales de la pasarela residencial teníamos que esta posee una conexión al exterior, permitiendo la conectividad de la red domótica con redes externas de grandes dimensiones y que se encuentren bajo otras administraciones. En este sentido, la arquitectura ISA solo podría proporcionar calidad de servicio en la red domótica, y deberíamos esperar la existencia de algún otro mecanismo en las redes externas que nos ayude en este sentido. Esto no sería un problema en el caso de video streaming, puesto que la pasarela actúa como servidor de video y los terminales del hogar son los únicos que acceden a este, es decir, para este servicio no existe una conexión directa al exterior; lo que no sucede con los servicios de voz sobre IP y transmisión de datos (Internet), puesto que estos fluirán tanto interna como externamente a la red domiciliaria al mismo tiempo.

En cuanto a los flujos individuales, se debe tomar en cuenta que cada uno de los servicios genera flujos diferentes, es decir, que requieren de tratamientos diferentes. Por el momento lo más importante a tener en cuenta es que la transmisión de datos es un servicio del tipo *best effort*, y que los otros dos necesitan ser clasificados como carga controlada o calidad garantizada.

Para el caso de la voz sobre IP, como se ve en la tabla 3.4, es necesario garantizar ciertos valores de retardos en la red, pérdida de paquetes y un ancho de banda que dependerá de las características de la misma. Además hay que considerar, como se vio en el capítulo 1, que VoIP tiene como requisitos un bajo retardo y jitter. Con estas consideraciones podemos asociar este servicio al nivel de calidad garantizada de ISA.

Para el caso de video streaming, el que puede ser de alta o baja calidad, parámetro que solamente depende del ancho de banda asignado al flujo; hay que considerar que los parámetros técnicos referentes a calidad de servicio que más afectan son la tasa de transmisión y pérdida de paquetes, lo que se puede satisfacer con un nivel de calidad de carga controlada de ISA.

3.5.2 SOLUCIÓN DIFFSERV

En esta solución debemos hacer las mismas consideraciones que en la anterior, pero con un enfoque diferente, puesto que por ejemplo ahora el hecho de que DiffServ sea usado en Internet facilita la provisión de calidad de servicio de extremo a extremo, ya que los paquetes marcados en la cabecera IP serán tratados de acuerdo a estas consideraciones en las demás redes, sin necesidad de establecer acuerdos de nivel de servicio, como ha sido el caso de ISA. Aunque no hay que olvidar que la eficiencia en la red interna podría disminuir respecto a la solución anterior.

En cuanto a los servicios ofrecidos por la pasarela residencial, la transmisión de datos es un servicio *best effort*, por lo que podría ser clasificada con ese código, es decir el de un PHB por defecto; y para los otros dos servicios se tiene que establecer prioridades y sus correspondientes códigos serán colocados en el campo DSCP de la cabecera IP.

Al igual que en la solución ISA o IntServ, el tráfico más crítico de los tres servicios es el generado por VoIP, y es por esto que será marcado con el código '101110'; es decir PHB EF. Para el servicio de video streaming se buscará un PHB AF no tan prioritario, debido a las características ya mencionadas con anterioridad, como por ejemplo AF21='010010'. En el caso de la transmisión de datos, otra opción es proporcionar un cierto nivel de QoS marcando a los paquetes, no como best effort, sino como PHB AF de baja prioridad, como puede ser AF11 = '001010' o AF12 = '001100'. Todos estos valores han sido asignados tomando en cuenta

recomendaciones que se hacen al respecto en el libro “Alta velocidad y Calidad de Servicio en redes IP”.

En la parte final del tema referente a la arquitectura DiffServ, se mencionó el estándar 802.1 p/Q, en donde se señalaron algunos valores sugeridos para las distintas clases de servicio, los que se recogen en la tabla 3.2 y que deben tomarse en cuenta en caso de aplicar este estándar para proporcionar calidad de servicio en nuestra LAN, es decir en la red domótica. Con la aplicación de este estándar en nuestra red, tenemos los mismos beneficios de usar cualquier dispositivo de conmutación de capa 2, es decir, la reducción entre la latencia agregada a los flujos de datos y la mayor velocidad de conmutación.

3.5.3 COMPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Aquí hemos presentado dos soluciones que son muy buenas, y aplicables a una red domótica, que pueden proveer calidad de servicio para las clases de tráfico que se han especificado de manera eficiente; pero para aplicarse en el presente proyecto, necesitamos seleccionar una de estas, en este caso DiffServ. Esta selección se basa principalmente en la mayor difusión de esta arquitectura en el mercado, su fácil escalabilidad (aunque de poca importancia en la red domótica) y la posibilidad de proporcionar varios niveles de servicio con PHB AF, inclusive se podrían separar los flujos de datos en varias clases de servicios, unos más prioritarios que otros. Por ejemplo podríamos dar una mayor prioridad al tráfico HTTP que a SMTP o POP3. Otra ventaja de usar DiffServ es que Internet se maneja con esta arquitectura de calidad de servicio, lo que permitiría la compatibilidad de las redes interna y externa en la pasarela residencial.

3.5.4 SOLUCIONES CONJUNTAS

Las arquitecturas de calidad de servicio aquí mencionadas, no tienen por que ser excluyentes la una de la otra, y se podrían dar soluciones conjuntas entre ISA y

DiffServ, aunque debido a las dimensiones de la red no sería muy práctico en el caso de este proyecto, pero podría ser útil en otros escenarios. Sin embargo, también podríamos tener una solución conjunta de tecnologías basadas en el mismo principio, es decir usando DiffServ para la conexión a la red externa y el protocolo IEEE 802.1 p/Q para la red domiciliaria, el mismo que se halla muy difundido en redes LAN y que además se especifica en la arquitectura de la pasarela residencial en los bloques funcionales referentes a capa MAC.

En el bloque F10 de dicha arquitectura que se observa en la figura 2.2 de la página 44, se posibilita el activar los bits ToS en los paquetes IP, es decir, se puede utilizar DiffServ para proveer calidad de servicio en este tipo de red domótica basada en la pasarela residencial; y el bloque F6 es el que nos permite hacer la clasificación de QoS a nivel de capa 2 (enlace de datos). El software de administración de la pasarela residencial, que se encuentra fuera del alcance del presente proyecto, es el que debe hacer el mapeo según tablas que se almacenarán en memorias, entre las soluciones que proporcionan QoS en la red de acceso y la del hogar, para de esta manera poder utilizar DiffServ en el lado externo (red de acceso) y IEEE 802.1 p/Q en el interno (red domiciliaria); siempre y cuando la tecnología en la red del usuario sea basada en Ethernet, ya que de otra manera como ocurre generalmente en los buses de control, se puede considerar marcar los paquetes de estos flujos según DiffServ haciendo uso de todos los bloques de la arquitectura RGW para poder incorporar dispositivos no compatibles con IP. Esta es la solución que se considerará la adecuada en este proyecto, principalmente debido a las ventajas mencionadas en las secciones 3.5.2 y 3.5.3 de este mismo capítulo, tanto para la arquitectura DiffServ como para el estándar IEEE 802.1 p/Q.

El mapeo entre los p-bits de prioridad de IEEE 802.1 p/Q y los del campo DSCP de DiffServ, deben hacerse de acuerdo a una tabla de equivalencias, a la que podemos asignar ciertos valores de estos campos de acuerdo a las clases de servicio asignadas para cada uno de los flujos. En la siguiente tabla vemos estas equivalencias, partiendo de los valores que se han mencionado para estos bits tanto en la tabla 3.2, como en la sección 3.5.2.

TIPO DE TRÁFICO		IEEE 802.1 p/Q	DiffServ
Voz sobre IP		110	101110
Video streaming		100	010010
Datos	Ej. HTTP	011	001010
	Ej. SMTP POP3	010	010010

Tabla 3.5. Equivalencias entre campos DSCP (DiffServ) y p-bits (IEEE 802.1 p/Q).

Debemos también tomar en cuenta que se pueden marcar los flujos de las redes de control y seguridad con valores de DiffServ, estos flujos no consumen un ancho de banda importante, ya que solo transportan pocos datos y generan un tráfico a ráfagas; por lo que podemos considerarlos como tráfico de datos, y debido a que se puede realizar una administración vía Web de estos dispositivos de control, para facilitar la situación los podemos marcar con el mismo AF11='001010' del tráfico de datos HTTP.

CAPÍTULO IV. DIMENSIONADO EFICIENTE DE UNA RED DOMÓTICA TÍPICA

4.9 SITUACIÓN ACTUAL DEL INTERNET Y LAS TECNOLOGÍAS EN EL ECUADOR

Antes de introducirnos por completo en los aspectos técnicos del dimensionamiento de la red, el cual es el objetivo principal de este capítulo, vamos a referirnos a algunos datos importantes al momento de tratar de implantar un proyecto de instalación de redes domóticas a gran escala, puesto que se debe considerar como aspecto fundamental la penetración del Internet en el país, así como otros datos estadísticos referentes a la situación tecnológica presente del Ecuador. Históricamente nuestro país nunca ha sido un referente en cuanto al uso, y mucho menos al desarrollo de nuevas tecnologías, esto en parte por el limitado apoyo y desinterés de la empresa privada en este campo, y principalmente la casi inexistente inversión que realiza el estado en educación, ciencia y tecnología, ya que como en cualquier lugar del mundo, las universidades son las llamadas a realizar proyectos de investigación y desarrollo. En cuanto al uso de estas tecnologías, es decir al menos la compra de productos y servicios tecnológicos, la mayor dificultad para su difusión está en los altos costos de estas, y la baja capacidad adquisitiva de los ecuatorianos; ¿cómo puede un ecuatoriano promedio cuyo salario no alcanza ni siquiera para cubrir las necesidades básicas de su familia pensar en contratar servicios de Internet o siquiera adquirir un computador?, y mucho menos implementar una red domótica en su hogar.

Como estadísticas de la baja penetración de las tecnologías vamos a presentar la penetración del Internet en el país, que de los 12'090.804 habitantes llega apenas a 968.000 personas, es decir solamente un 8% de la población; esto se encuentra muy por debajo de la media sudamericana que es del 21%, y en donde nos

colocamos solamente arriba de Bolivia, Paraguay y Surinam.¹ Pero si nos enfocamos en el acceso a internet de banda ancha, el cual es necesario para muchos de los servicios que actualmente se ofrecen en la red de redes, y que es un requisito para interconectar los servicios que brinda la pasarela residencial con Internet, las estadísticas son aún más pesimistas, pues la penetración de este tipo de conexiones en el país llega apenas al 0.2 %.²

Pero la penetración del Internet no es el único parámetro que nos clarifica el panorama, y aquí hay más estadísticas: Ecuador está último en América Latina en el ranking de exportaciones de productos de media y alta tecnología como porcentaje del total de las exportaciones. La poca tecnología que se exporta tiene escaso contenido local y está totalmente supeditada al mercado andino.³ Además, según se mencionó en el III Encuentro Nacional de Informática y Comunicaciones, realizado en el mes de noviembre de 2007 en la Escuela Politécnica Nacional, en el país existen apenas 265 empresas dedicadas a la tecnología, las que generaron al país 99 millones de dólares en el 2006; y que decir del crecimiento, pues en el 2005 por ejemplo la industria del software generó solamente 10 millones de dólares y 19 millones en el 2006; mientras que Uruguay generó 400 millones; pero esto no es por escasez de personas emprendedoras o faltas de iniciativa, sino mas bien del poco apoyo, tanto en aspectos legales como económicos y desconfianza del mercado en cuanto a los productos nacionales, pues de cada 100 empresas dedicadas al desarrollo de tecnologías en el Ecuador, solamente 7 tienen éxito.⁴

Esta introducción no afecta al dimensionamiento de una red en específico, como es la que se desarrolla en el presente proyecto de titulación, pero como ya se dijo con anterioridad, debe ser tomada en cuenta en caso de tratar de emprender proyectos a mayor escala. Aunque también debemos ser optimistas al respecto, esperando que los costos de acceso a Internet bajen con la firma y explotación de la nueva conexión a Internet del Ecuador a través del cable submarino por

¹ Datos actualizados al 2007 y tomados de la página <http://www.internetworldstats.com/south.htm>

² Dato tomado del documento "Situación y Perspectivas del Internet en el Ecuador" de Etapa Telecom. 2006.

³ Tomado de www.onudi.org.

⁴ Información mencionada en las conferencias por los ingenieros: Alfonso Espinoza, Rector de la E.P.N.; Mauricio Bayas, representante de BAYTEQ y Giovanni Roldán de la AESOFT.

medio de Telefónica. Otra esperanza para que la situación actual mejore, con mayor apoyo a empresas de emprendedores y a la investigación científica y tecnológica, como a la educación en general es siempre la Asamblea Constituyente que se ha instalado con ese objetivo: mejores condiciones de vida para los ecuatorianos. El apoyo por parte del Estado al desarrollo de la ciencia y tecnología, así como sus actores, fines e importancia en el desarrollo social y económico del país se mencionan principalmente en los artículos 80, 81, 82, 83, 84 y 302 redactados en el Proyecto de Nueva Constitución Política del Ecuador, desarrollado por una comisión de juristas del CONESUP el 2007, y cuya función es servir de base para las discusiones de la Asamblea Constituyente reunida actualmente en Montecristi.

4.10 DETERMINACIÓN DEL ESTÁNDAR DOMÓTICO A UTILIZARSE

Para poder dimensionar el tráfico de nuestra red, y las tecnologías a aplicarse, es necesario conocer el estándar domótico con el que nos vamos a manejar, para esto debemos escoger entre los diferentes estándares mencionados ya en el capítulo 1. Al decidir esto se toman en cuenta factores como el costo y funcionalidad de los equipos, la difusión que tenga la tecnología al momento, la facilidad de interactuar con la red de datos basada en IP, es decir que sea compatible con el modelo de referencia OSI, y el tipo de vivienda en el que se la va a instalar.

4.10.1 TIPOS DE VIVIENDAS

Este es un factor crucial al momento de decidir que tipo de estándar se aplicará en la red domótica, debido a la facilidad que esta presente para cumplir con este objetivo. A las viviendas las vamos a clasificar según sea de nueva construcción o esta ya exista:

- Si una vivienda es de *nueva construcción*, o se está realizando una remodelación en la mayoría de esta, el realizar la instalación de algún tipo de cableado no es ningún problema, puesto que este se lo puede presupuestar desde un inicio, por lo que cualquier tecnología de transporte de datos es aceptable.
- En una *construcción existente* es en donde surge el problema, ya que de no haberse tomado la previsión de tener la instalación domótica previamente realizada, lo cual es muy común en nuestro medio por la poca difusión de esta tecnología en el país, se debe buscar una tecnología que se adapte de la mejor manera a las redes instaladas (como la red eléctrica o de datos), o en su defecto, su instalación posterior no presente mayores inconvenientes.

Para nuestro caso de estudio, vamos a considerar que la vivienda sobre la cual se dimensiona la red domótica se encuentra en construcción, por lo que podemos escoger cualquier estándar sin restricciones del tipo de medio físico que se utilice.

4.10.2 SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR

Como ya se mencionó antes, se deben tomar en cuenta varios parámetros antes de decidir cual es el estándar domótico con el que vamos a trabajar; el análisis es el siguiente:

- En cuanto al costo y funcionalidad de los equipos, podemos destacar que el estándar X10 proporciona equipos bastante sencillos y con limitaciones en las funcionalidades que ofrece; puesto que el ancho de banda ofrecido está en el orden de los 50 a 60 bps, aunque se están haciendo esfuerzos por mejorar estas prestaciones. Esto también implica dispositivos de bajo costo; pero su utilización es menos atractiva en una red domótica en la que se pretende tener diferentes servicios que requieren un mayor ancho de banda.

- Otro aspecto importante es la difusión de la tecnología, y en este punto es en donde se destacan tanto X10 como LonWorks, puesto que estas son las tecnologías o estándares con mayor penetración en el mercado de la domótica. Aunque es necesario destacar que X10 es una tecnología antigua con más años en el mercado y con menores posibilidades de desarrollo debido a su tecnología de baja velocidad de datos, mientras que LonWorks se encuentra mejorando cada día con productos de última tecnología.
- Para poder interactuar con la pasarela residencial descrita en el capítulo 2 del presente proyecto, la tecnología domótica debe ser compatible con la misma, es decir, en lo posible debe estar sustentada en el modelo de referencia OSI, lo que cumplen OSGi, UPnP y LonWorks. Para esto no es específicamente necesario que se base en la pila de protocolos de TCP/IP, puesto que una de las funcionalidades de la pasarela residencial aquí descrita es poder adaptar dispositivos no IP a la misma, siendo para esto necesario implementar todos los bloques funcionales del modelo de referencia RGW (Residential Gateway) mostrados en la figura 2.2.
- En este caso el tipo de vivienda a utilizarse es una de nueva construcción, por lo que el medio de transmisión a utilizarse en la red no es un factor decisivo al momento de seleccionar el estándar domótico, aunque nunca está demás el ahorro de recursos, por lo que una tecnología que se pueda manejar sobre las líneas eléctricas o un medio inalámbrico podría ser una solución, e incluso esta misma solución podría aplicarse a una construcción existente.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, y analizando un estándar que cumpla con todos estos requerimientos, se ha llegado a la conclusión de que LonWorks es la mejor solución para la una red domótica típica, en la que se quieren implementar variados servicios que sean controlables desde Internet. Esto debido a las buenas funcionalidades que brindas sus equipos, gran difusión de esta tecnología a nivel mundial en los últimos años; y que cumple con los 7

niveles del modelo de referencia OSI, lo que la hace compatible con la pasarela residencial aquí presentada. Pero no hay que olvidar que una desventaja es la relativa complejidad de la tecnología LonWorks.

4.10.3 CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL ESTÁNDAR LONWORKS



Ahora que hemos seleccionado el estándar domótico para aplicarse en nuestra red, vamos a mencionar algunas características adicionales, que nos permitirán comprender de mejor manera las funcionalidades que nos proporciona LonWorks. En primer lugar, es un protocolo estándar con uno de los mayores anchos de banda, ya que puede llegar hasta 1.25 Mbps; el lenguaje de programación de las aplicaciones está basado en ANSI C, el cual es muy extendido; y además LonWorks es compatible con infinidad de productos de otros fabricantes, ya que aparte de tener su propio estándar domótico dispone de su propia asociación (Lonmark International¹) que verifica, valida y certifica productos que trabajan bajo dicho estándar. Admite diversas topologías (anillo, estrella, etc.) donde cada nodo se encarga de gestionar los elementos que tiene conectados y, de intercambiar información con otros nodos. Trabaja a varias velocidades, comprendidas entre los 5 kbps y 1.25 Mbps con dos medios físicos principales que son la red eléctrica y el par trenzado. Estas redes pueden llegar a ser de gran tamaño, ya que debido al esquema de direccionamiento se pueden tener hasta 127 dispositivos por subred, y hasta 255 subredes por dominio, para un total de máximo 32385 dispositivos en una misma red; los que son más que suficientes para desarrollar una red domótica.²

4.10.4 VOLUMEN DE TRÁFICO ADICIONADO A LA RED

Para considerar el volumen de tráfico que la red LonWorks adiciona a la red hay que tener en cuenta si el tráfico se maneja en la red interna o en la red externa,

¹ www.lonmark.org

² Datos tomados del documento “Implementación de sistemas domóticos basado en el estándar de Lonworks” de Xavier Cano Palazón. Universidad Politécnica de Catalunya.

puesto que el tráfico interno se maneja muy a parte de la red de datos, esto es en la propia red LonWorks, y no afecta en nada al rendimiento del otro; pero en cambio si el tráfico es externo debemos tener en cuenta que aquí ya se acceden a las aplicaciones de la red domótica desde el Internet, siendo entonces un tráfico a tener en cuenta en el momento de seleccionar la red de acceso.

El ancho de banda depende de la red de control que se implemente y la cantidad de información que se transmita por el canal de la red de control LonWorks, teniendo posibilidad de tener redes de 5, 39, 78, 625 kbps y hasta 1.25 Mbps.¹

4.11 SOLUCIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO

Como ya se había mencionado en la parte final del capítulo anterior, la solución que se considera adecuada para proveer Calidad de Servicio (QoS) en nuestra red domótica es la utilización de DiffServ en el lado externo (red de acceso) e IEEE 802.1 p/Q en el interno (red domiciliaria); siempre y cuando la tecnología en la red del usuario sea basada en Ethernet, ya que de otra manera, como ocurre generalmente en los buses de control, se puede considerar marcar los paquetes de estos flujos según DiffServ haciendo uso de todos los bloques de la arquitectura RGW (Residential Gateway) para poder incorporar dispositivos no compatibles con IP. Las razones por las cuales se ha seleccionado esta solución conjunta, al igual que la manera de implementarla en la Pasarela Residencial y la marcación de paquetes a ambos lados (red domiciliaria y red de acceso) de este dispositivo se mencionaron ya en la sección 3.5.4 del capítulo previo, en las páginas 106 a 108.

También es necesario especificar cómo se aplicará esta solución de Calidad de Servicio a los diferentes tipos de tráfico de la red domótica; y ya que el bloque funcional F11 denominado *Punto de Finalización IP* de la arquitectura RGW nos permite reconocer las direcciones IP y números de puerto, estos últimos serán el

¹ Información proporcionada por el PhD. Héctor Chinchero Villacís, Jefe del Departamento de Domótica & Innómica de CINTELAM.

mecanismo para aplicar el etiquetado de tramas y paquetes que realizará la pasarela residencial al administrar el tráfico que circulará por la red domótica.

Los números de puerto de los servicios a los que se ha hecho mención a lo largo de este proyecto se resumen en la tabla 4.1 que se muestra a continuación:

SERVICIO	NÚMERO DE PUERTO
Video streaming	554
Voz sobre IP	5060
HTTP	80
SMTP	25
POP3	110

Tabla 4.1 Números de puerto de los servicios estudiados.

En los dos primeros casos son los puertos que se usa para establecer sesión de estos servicios (Real Time Streaming Protocol y Sesion Initiation Protocol respectivamente), y en los demás tenemos los puertos bien conocidos, definidos en el RFC 1700.

4.12 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DOMÓTICA

4.12.1 SELECCIÓN DE VIVIENDA Y EQUIPOS

Ya que hemos seleccionado una tecnología para ser aplicada a la red domótica, procederemos a escoger la vivienda modelo mencionada en el plan del proyecto, es decir, una vivienda para cuatro personas: dos padres y sus hijos con habitaciones independientes. Para el desarrollo de este trabajo hemos considerado tres tipos de viviendas (de una, dos y tres plantas), cuyos planos se observan en el anexo A, y de las cuales hemos preferido la que más se acomoda a nuestras necesidades, esta es la vivienda de dos plantas y tres dormitorios, esto porque cumple con las habitaciones independientes para los hijos. Además de seleccionar la vivienda, necesitamos escoger los equipos que se incluirán en

nuestra red domótica independientemente del medio que utilicen, puesto que el diseño del cableado no se enmarca en los objetivos de este trabajo. Para poder seleccionar los equipos, primero debemos especificar los servicios que queremos brindar en nuestra red domótica, tanto en la red de datos como en la red de control, y estos son:

4.12.1.1 Red de Datos

En la red de datos, necesitamos proveer los servicios mencionados en el plan del proyecto, es decir: voz, video y datos; para esto necesitamos teléfonos IP (voz) y computadores que nos permiten brindar servicios tanto de video streaming y transferencia de datos; pero como no todos estos equipos se conectarán directamente a la pasarela residencial, necesitamos un equipo adicional que se encargará de proporcionarnos los puertos suficientes para cumplir con este propósito: un conmutador o switch. Entonces, los equipos que vamos a utilizar serán los listados a continuación:

- Cuatro computadores provistos de al menos un interfaz ethernet, USB y otros estándares de ser posible, para que sean conectados a la red de datos; estos para dar los servicios de transferencia de datos (Internet) y video streaming a los usuarios en cada una de las habitaciones, y uno más para uso general. La tecnología para interconectar los equipos en la red de datos se seleccionará posteriormente, pero es necesario que los computadores posean al menos algunos de los interfaces para tecnologías de red consideradas en este proyecto. Estos equipos se ubicarán en las habitaciones de los padres y de ambos hijos, además de otro que se encontrará en el estudio.



Figura 4.1 HP (Hewlett-Packard) Pavilion Dv6426us

- Un teléfono IP; para proporcionar el servicio de voz sobre IP, el que se ubicará en algún lugar central de la vivienda, específicamente en la sala.



Figura 4.2 Teléfono IP BudgeTone 100 Series

- Un conmutador o switch que nos permita conectar los equipos de telefonía y computadores a la pasarela residencial, separando los diferentes flujos de tráfico.



Figura 4.3 Switch de 8 puertos Cisco Catalyst 2960 8TC

De esta manera, considerando los equipos anteriormente mencionados; la red de datos quedaría constituida de la siguiente forma:



Figura 4.4 Esquema de la red de datos

4.12.1.2 Red de Control

En cuanto a la red de control, no se han mencionado servicios en el temario de este proyecto, pero para dar un valor agregado al mismo, podemos seleccionar algunos dispositivos que brinden bienestar y seguridad a los usuarios, estos son:

Un actuador de corte de agua que se ubicará en el ingreso principal de agua potable a nuestra vivienda, el que se encuentra junto al estudio.



Figura 4.5 CA IVBL-1U Actuador de corte de agua de dos motores

Cuatro sondas de agua ubicadas una en la cocina y una en el baño, esto en la planta baja, y dos más en la planta alta, una en el baño de los padres y otra entre los cuartos de baño de los hijos.

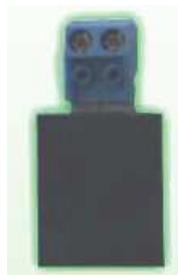


Figura 4.6 Sonda de Agua CSA-100

Un detector de humo entre la sala y el comedor para detectar posibles incendios en la planta baja de la vivienda, y otro en la salida a las escaleras de la segunda planta.



Figura 4.7 ISH-2600 Detector de humo

Un detector de gas en la cocina, para advertir de posibles fugas.



Figura 4.8 ISP-1X Detector de gas

Ubicaremos además tres sensores de presencia, dos en la planta baja, en las esquinas de la sala y el estudio; y uno más en la planta alta en el balcón, puesto que estos pueden ser los puntos más vulnerables para el ingreso de intrusos.



Figura 4.9 Detector de Presencia de Pared CSP-200

Hemos mencionado aquí varios sensores y actuadores que nos permitirán dar un cierto grado de automatización a la vivienda, pero para poder hacer esto posible, necesitamos otros dispositivos conocidos como “nodos”, los mismos que posibilitan el control de los equipos en las figuras 4.5 a 4.9; así como de otros sensores y actuadores como se muestran en los ejemplos del Anexo C. Los nodos que se utilizarán en nuestra red son los siguientes:



Figura 4.10 Nodo de Control estándar INS-231X/V3



Figura 4.11 Nodo de Control de habitación INS-451X/V3

Otros nodos muy útiles en nuestra red de control, los que sirven para administrar y para proporcionar un correcto funcionamiento de la red LonWorks son los siguientes:

Una fuente de alimentación con batería que brinda la correcta alimentación al bus de control, y un soporte en caso de fallo de energía.



Figura 4.12 Fuente de Alimentación IFA-200X/V3

Un servidor Web que posibilita el control de la red por medio de una página Web que puede ser accesible desde cualquier computador que se pueda conectar a la misma.



Figura 4.13 Servidor Web IWLON-100X/V3

Una pantalla táctil ubicada en un lugar de fácil accesibilidad, como en un rincón de la sala.



Figura 4.14 Pantalla Táctil en Color IPTM-200

Una gran variedad de estos equipos se muestran en el anexo B del presente trabajo, de los cuales hemos escogido los anteriores. Pero estos, junto con dispositivos como lámparas e interruptores nos permiten esquematizar una red de control como la que se muestra en la figura 4.15; en la misma que podemos ver al bus LonWorks interconectando a los nodos que serán repartidos por toda la vivienda, y conectados a estos tenemos sensores y actuadores que posibilitan el control de la red. Entonces, la red de control de nuestra vivienda quedaría de la siguiente manera:

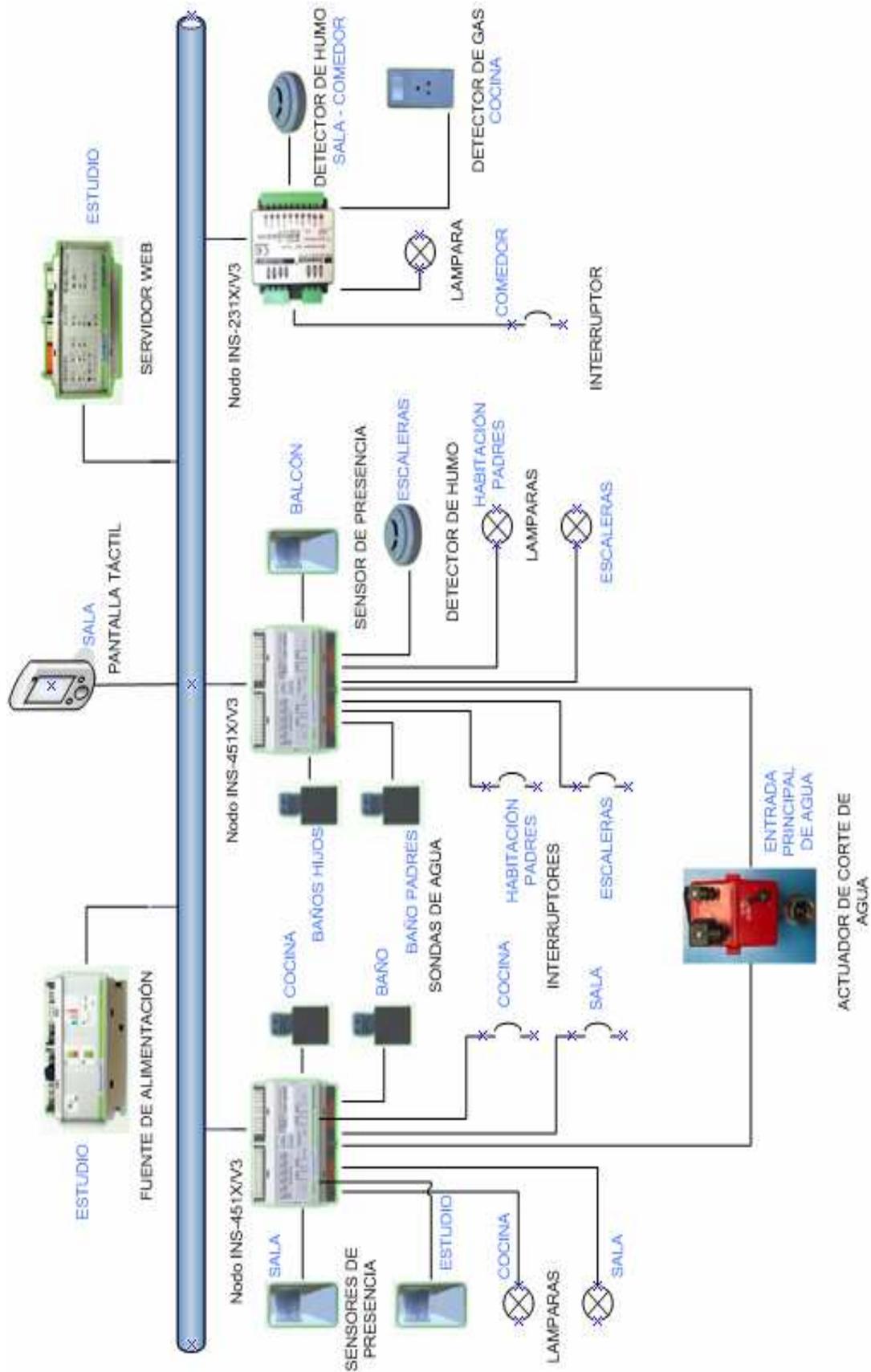


Figura 4.15 Esquema de la red de control

Además, como núcleo de nuestra red domiciliaria, tenemos que poseer una pasarela residencial que soporte la tecnología LonWorks, que se pueda conectar a la red de datos, y que soporte la arquitectura TCP/IP. Esta debe ser una pasarela multiservicios del tipo ruteador con funcionalidad de NAT, lo que ya se mencionó en los capítulos 1 y 2, para separar los diferentes flujos de tráfico en subredes diferentes y manejando direcciones privadas. Para escoger este dispositivo primero debemos seleccionar los tipos de interfaces, es decir las tecnologías en las redes de acceso y red interna; esto se hará en la parte final de este capítulo, por lo que por el momento sólo se referencia la necesidad de este equipo para la operación de nuestra red domótica.

Todos estos equipos han sido seleccionados en base a sus prestaciones, compatibilidad entre ellos y precio; en este caso nos hemos enfocado principalmente en las características de seguridad del hogar digital (seguridad del individuo, del patrimonio, y la relacionada con eventos de emergencia), bienestar del individuo (confort) y los servicios de transmisión de datos mencionados como objetivos de este proyecto (voz, video y datos). Más detalles de cada uno de estos y de otros equipos no considerados en el dimensionamiento de nuestra red, se pueden encontrar en el anexo B, en la parte final de este trabajo.

4.13 DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO

Para dimensionar nuestra red domótica debemos determinar el tráfico que circulará por la red, para lo cual debemos conocer el ancho de banda que ocupará cada una de las aplicaciones a las que accederán los usuarios y como afectarán estas a la red. Los anchos de banda de cada una de estas aplicaciones, dependen en gran medida de los equipos que hemos decidido utilizar; por lo que a continuación se hace un análisis de esta situación:

- *Telefonía IP*: Este valor depende de los códecs utilizados en los teléfonos IP; en este caso el *BudgeTone 100 Series*, que según sus hojas de especificaciones (anexo B) se vale de diferentes códecs, entre ellos el

G.723.1 que nos garantiza un buen uso del ancho de banda que disponemos en la red. Este códec opera a velocidades entre los 5.3 y 6.3 kbps, pero en nuestro caso asumiremos 6.3 kbps como el peor caso para este códec, para así garantizar la transmisión de voz en todo momento y a la vez con el uso de este códec, ahorrar el recurso ancho de banda, puesto que esto es crítico en la conexión hacia la red externa a la vivienda.

- *Video streaming:* Como ya se mencionó en el capítulo 1, el ancho de banda mínimo requerido para esta aplicación es de 25 kbps que nos proporciona una baja calidad, es decir un mayor tiempo de espera e incluso ligeras interrupciones en la visualización de los videos.
- *Transferencia de datos:* En estas aplicaciones tenemos que mencionar que son del tipo best effort, es decir, serán accesibles cuando tengan espacio disponible en el canal, por lo que no necesitamos especificar un ancho de banda mínimo en este caso. Con esto no se intenta decir que el ancho de banda será 0, sino que por la característica “a ráfagas” del tráfico de datos, y considerando la poca probabilidad que existe de tener todo el canal ocupado todo el tiempo, se puede asumir que el tráfico de datos se puede transmitir en esos intervalos; esto con el objetivo de no sobredimensionar la red. Aunque siempre deberíamos garantizar un cierto valor mínimo.
- *Red de control:* Nuestra red de control se maneja con el estándar LonWorks, el mismo que establece comunicaciones a diferentes velocidades, por lo que para saber cual es la que se debe considerar en el dimensionamiento de la red vamos a revisar las características de los equipos de control escogidos (anexo B). Las velocidades a las que operan estos dispositivos es de 78 kbps; por lo que este será el ancho de banda a considerarse.

El uso eficiente de los recursos ha sido tema de investigación por muchos años en las redes telefónicas tradicionales pero luego de la invención de las redes conmutadas por paquetes y el incremento de las aplicaciones de datos sobre

Internet, estos estudios han dado un giro. En consecuencia, es necesario o bien diseñar una red perfecta empleando modelos de tráfico apropiados o confiar en las técnicas de administración del tráfico, para proveer QoS en redes de datos. En el caso preciso de que los modelos de tráfico sean difíciles de implementar en cierta red de comunicaciones, las técnicas de administración de tráfico podrían ser la única elección para mantener la calidad en esa red. La administración de tráfico incluye diferentes técnicas desde el control de admisión hasta algoritmos de planificación o scheduling, administración de búfer, etc.¹ Entre estas técnicas de administración de tráfico se encuentran también las arquitecturas de calidad de servicio que son objeto de este proyecto (ISA y DiffServ); y es así que son estas las que se encargarán de proporcionar la QoS requerida por cada uno de los servicios ya mencionados, sin necesidad de recurrir a modelos de tráfico.

Para dimensionar la red eficientemente debemos hacer una separación, cada una con sus respectivas consideraciones, en una red interna y otra externa; esto debido a que los volúmenes de tráfico que se manejarán en cada una serán diferentes:

4.13.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO EN LA RED INTERNA

Al momento de dimensionar el tráfico en esta red, debemos tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: en primer lugar, el tráfico de video streaming se manejará entre las estaciones de los usuarios y la pasarela residencial, ya que es esta la que actúa como servidor de video streaming en la red domiciliaria; y por otro lado, la red de control y la red de datos se manejan a parte, por lo que el tráfico que circula en la una no afecta a la otra. En este sentido, tenemos que la red de control trabajará a 78 kbps con el estándar LonWorks, en su propia red; pero hay un flujo de datos para la administración vía Web de la red de control, aunque a este lo podemos incluir en el tráfico de datos.

¹ Tomado del libro "The Wireless Mobile Internet: Architectures, Protocols and Services" de Abbas Jamalipour. 2003. Pág. 149 y 177.

Para dimensionar la red de datos, debemos tratar de garantizar todo el tiempo los tres servicios estudiados en el proyecto; aquí debemos destacar el alto ancho de banda que ofrecen la mayoría de tecnologías en redes de corto alcance como la de nuestro estudio, como por ejemplo los 100 Mbps de fast ethernet que es la tecnología más ampliamente difundida en el mercado; por lo que este no es un factor tan crítico al momento de hacer nuestras consideraciones. De este modo, debemos garantizar en cualquier momento, el tráfico que se muestra en la siguiente tabla:

TIPO DE TRÁFICO	ANCHO DE BANDA	NÚMERO DE FLUJOS	TOTAL
Voz sobre IP	6.3 kbps	2	12.6 kbps
Video streaming	25 kbps	3	75 kbps

Tabla 4.2 Tráfico que se maneja en la red interna

En la tabla 4.2 no se ha considerado el tráfico de datos, puesto que este es del tipo best effort y se asume que se puede transmitir en los períodos en que el canal no está ocupado por los otros servicios, como ya se había explicado con anterioridad; y también porque sabemos que el alto ancho de banda que brindan las tecnologías para redes internas no restringirán el transporte de este tipo de tráfico aunque la red se encuentre ocupada por los demás flujos. Es así, que posteriormente asignaremos un cierto ancho de banda a este servicio.

Además en el dimensionamiento de la red, consideramos 3 flujos de video streaming, pues se considera que estos son unicast ya que cada usuario está accediendo a un archivo de video diferente y por lo tanto independiente; y 2 flujos de VoIP, puesto que habrá uno entrante y otro saliente. De la misma tabla, deducimos que el tráfico que debemos garantizar es de al menos 87.6 kbps, pero esto sin considerar que el rendimiento de una red no sobrepasa el 70% de su valor teórico¹, con lo que el mínimo requerido aumentaría a: $87.6 \times 1.3 = 113.9$ kbps. Este es un valor fácil de alcanzar y superar con cualquier tecnología de redes LAN, la misma que se escogerá posteriormente en este mismo capítulo.

¹ Apuntes del curso de “Comunicaciones Inalámbricas”. Ing. Patricio Ortega.

La figura 4.16 ayudará a entender de mejor manera la ocupación del canal a la que se ha hecho referencia aquí. Lo que se muestra en la figura es posible gracias a la clasificación de paquetes que utiliza la arquitectura DiffServ para administrar el tráfico de manera eficiente, proporcionando Calidad de Servicio en nuestra red doméstica. Vemos en azul el tráfico de VoIP que es el de mayor prioridad y ocupará el canal cuando el servicio así lo requiera; en amarillo se encuentra el tráfico de video streaming, el cual es el siguiente en el orden de prioridades; y finalmente en anaranjado el tráfico de datos (HTTP, SMTP, etc.) que como se observa es del tipo best effort, por lo que el porcentaje del canal que este dispone depende de los otros dos servicios marcados con prioridades más altas.

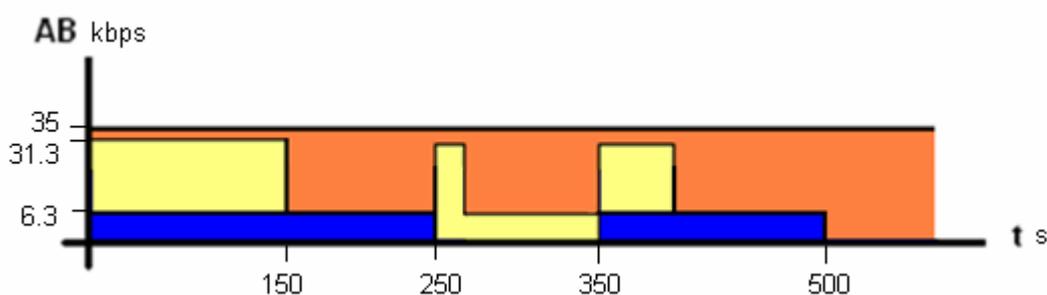


Figura 4.16 Ejemplo de ocupación del canal en DiffServ

4.13.2 DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO EN LA RED EXTERNA

En esta red, debemos considerar que el tráfico de video streaming ya no se maneja por cada uno de los usuarios, sino que por ejemplo podrá irse descargando un flujo a la vez hacia la pasarela residencial, que es donde se almacenará esta información. El tráfico de la red LonWorks tampoco se maneja hacia fuera de la red doméstica, solamente se necesita un flujo de datos para administrar los dispositivos remotamente; esta administración se la realiza vía Web, con lo que el tráfico generado es del tipo HTTP, ya considerado en el servicio de transferencia de datos. Ahora debemos hacer otra distinción, entre tráfico ascendente (sale de la red domiciliaria) y el tráfico descendente (ingresa a

la red domiciliaria); puesto que los volúmenes de tráfico serán distintos en estos casos.

4.13.2.1 Tráfico ascendente

En este punto solamente debemos considerar los tráficos generados por los servicios de voz sobre IP y transferencia de datos (Internet y red de control); ya que el video streaming solamente se refiere a la descarga de contenidos. De este modo, solamente debemos garantizar el servicio de VoIP, puesto que la transferencia de datos es del tipo best effort; aunque considerando que es necesario dar un cierto ancho de banda para los datos, ya que en este caso el ancho de banda que vamos a disponer es más restringido que en la red domiciliaria; consideraremos un flujo de datos que genera un tráfico igual al de VoIP. Como en el caso anterior, consideraremos un rendimiento de la red del 70%, con lo que el ancho de banda necesario es de $(6.3+6.3) \text{ kbps} \cdot 1.3 = 16.4 \text{ kbps}$ para el canal ascendente.

4.13.2.2 Tráfico descendente

Para este canal ya debemos tomar en cuenta el servicio de video streaming, el que aportará con al menos 25 kbps; pero debido a que el flujo de datos descendente es generalmente mayor al ascendente, ya que en una red doméstica las personas descargan mayor cantidad de contenidos del que suben a Internet, consideraremos un volumen de datos descendente igual al doble del caso anterior (ascendente), para garantizar cualquier tipo de aplicaciones vía Web o de correo electrónico. Con estas consideraciones el ancho de banda requerido para el canal descendente será de: $(6.3 + 12.6 + 25) \text{ kbps} \cdot 1.3 = 57.1 \text{ kbps}$.

De acuerdo a los cálculos realizados, necesitamos un ancho de banda de $57.1 \cdot 16.4 \text{ kbps}$ en la red de acceso; por ende necesitamos alguna de las tecnologías de “banda ancha” ya mencionadas en el segundo capítulo. Estos datos y los de la red interna, nos serán muy útiles para determinar que tipo de

tecnologías utilizaremos en las redes de acceso y domiciliaria, lo que se realiza a continuación.

4.14 SELECCIÓN DE LAS MEJORES TECNOLOGÍAS

En la parte final del dimensionamiento de nuestra red domótica mencionaremos las tecnologías en la red de acceso y la red del usuario más recomendables para nuestro escenario. Puesto que la pasarela residencial debe manejar cualquier medio físico, y cualquier tecnología en estas redes, es imposible mencionar las tecnologías más aconsejables para un escenario general, pues estas decisiones se harán de acuerdo a los requerimientos de cada red en particular. En el capítulo segundo se ha hecho una descripción de algunas de estas tecnologías, las más comunes, y basándonos en ese marco teórico seleccionaremos aquí las tecnologías más adecuadas para nuestro escenario. Al igual que en dicho capítulo, debemos hacer una distinción entre la red de acceso y la de la instalación domiciliaria.

4.14.1 EN LA INSTALACIÓN DOMICILIARIA

El requerimiento de ancho de banda que hemos calculado en la sección 4.4.1 no es una limitante en el momento de seleccionar nuestra tecnología, pues los algo más 100 kbps requeridos son fácilmente superados por cualquiera de nuestras tecnologías para redes locales. Así que nuestra decisión respecto a esta se basará en la difusión en el mercado, disponibilidad de equipos, seguridades y compatibilidad con los demás dispositivos.

Si nos enfocamos en los dos primeros puntos, tenemos que USB y Bluetooth son tecnologías que han entrado con mucha fuerza al mercado en los últimos años, con gran disponibilidad de equipos y bajos costos; pero la tecnología de interconexión de redes LAN por excelencia es Ethernet, tanto en equipos antiguos como modernos. En cuanto a compatibilidad, al ser tan difundida y por tanto tiempo, Ethernet es compatible casi con cualquier computador y teléfono IP en el

mercado, y por supuesto, al igual que las demás tecnologías, es compatible con la arquitectura RGW mencionada en el capítulo 2, e incluso dicha arquitectura considera como protocolo de capa enlace a ethernet. El aspecto de seguridades aquí se refiere a la accesibilidad que puede tener cualquier persona de una vivienda aledaña a dispositivos inalámbricos como en Bluetooth, que aunque el alcance sea corto, podría ser una probable amenaza a la seguridad de los datos que circulan por la red.

Con estas descripciones, podemos asegurar que Ethernet es la mejor solución para ser considerada en la implementación de la red domiciliaria. Entre otras ventajas tenemos que la instalación de esta red no es complicada y el medio físico que utiliza (cable UTP) es barato y además similar al usado en redes LonWorks.

4.14.2 EN LA RED DE ACCESO

En este caso la utilización del ancho de banda ya es un parámetro crítico, porque ya no podemos hacer uso de todo el ancho de banda que esta o aquella tecnología nos proveen, pues ahora la red ya no es de nuestra propiedad y debemos pagar por la utilización de la misma. Ahora los costos y la cobertura que poseen los proveedores de servicio o ISP's ¹ son el factor predominante en nuestra decisión a cerca de la mejor tecnología en la red de acceso.

Debido a que llegar con fibra óptica hasta el usuario es muy costoso, y que no existen redes de acceso público basadas en WiMax en el país como método de acceso a Internet, las mejores soluciones son xDSL y la red de televisión por cable. En este sentido, las redes con mayor difusión y costos menores son las que usan bucles de abonado, puesto que la red telefónica tiene una mayor cobertura que la red de televisión por cable o HFC, y entre xDSL las de menor costo son las soluciones ADSL que proporcionan un ancho de banda mínimo de 128*64 kbps (128 kbps en el flujo descendente y 64 kbps en el ascendente), los

¹ ISP = Internet Service Provider (Proveedor del Servicio de Internet).

que son mayores a los requerimientos mínimos para nuestra red. Pero al considerar esta tecnología se debe tomar en cuenta que estas al ser redes de uso público, comparten el ancho de banda del canal, y esto se debe considerar al momento de contratar el servicio de Internet; esta compartición del canal puede ser de 2:1; 4:1; 6:1; 8:1 o incluso más, dependiendo del ISP; lo que disminuirá en el respectivo número de veces la velocidad efectiva que se puede alcanzar en el enlace contratado. Por ejemplo, si contratamos un enlace con una compartición del canal de 4:1 solamente recibiremos la cuarta parte del ancho de banda contratado. Otro factor a favor de la utilización de ADSL en la red de acceso es que nos brinda la facilidad de acceder a otra línea telefónica para el hogar, pero ahora ya no basada en IP, sino de la red telefónica convencional o PSTN; este es un factor aparte de la convergencia de tecnologías que se realiza en la pasarela residencial, pero es un punto interesante de mencionarlo.

4.15 SELECCIÓN DE LA PASARELA RESIDENCIAL

En esta sección vamos a mencionar las características con las que debería cumplir nuestra pasarela residencial para cumplir con las funcionalidades que hemos especificado a lo largo de este trabajo, y luego tratar de encontrar una pasarela residencial comercial que se ajuste a estas necesidades; cabe resaltar que las funciones y servicios aquí mencionados, especialmente lo relacionado a la provisión de calidad de servicio, se encuentran actualmente en estudio y no hay implementaciones que cumplan con todos estos objetivos, por lo que muy difícilmente vamos a encontrar dispositivos que se ajusten a todas nuestras necesidades. En la actualidad la mayoría de dispositivos se enfocan solamente a interconexión de las redes de control o a hacer una función de adaptación entre diferentes tecnologías.

Necesitamos una pasarela residencial que soporte la tecnología LonWorks (protocolo LonTalk), y que se pueda conectar a la red de datos, es decir, que brinde posibilidades de conexión con interfaces ethernet, y que soporte la arquitectura TCP/IP. Esta debe ser una pasarela multiservicios del tipo ruteador

con funcionalidad de NAT para separar los diferentes flujos de tráfico en subredes diferentes y manejar direcciones IP privadas, lo que incluso brinda un nivel de seguridad a la red interna ya que a la vez esta pasarela residencial actúa como un firewall básico; debe ser capaz de manejar clases de servicio a niveles de capa enlace de datos y capa red, es decir DiffServ e IEEE 802.1p/Q. Además debe proporcionar un software para el mapeo entre los etiquetados de las tramas y paquetes que manejan estos procedimientos de QoS, y para la administración de la pasarela residencial de manera local y remota.

Como ya hemos mencionado, una pasarela residencial que cumpla con todas estas características es difícil de encontrar en el mercado, y aunque hay muchas disponibles, la que más se acerca a nuestros objetivos y que solamente citamos como referencia es la que se muestra en la figura 4.17; la que al menos proporciona interconexión entre dispositivos LonWorks y TCP/IP, y que con dispositivos adicionales como un módem ADSL, servidores de archivos y Web, y un conmutador o switch, nos podría brindar una buena funcionalidad acorde con los objetivos de este proyecto. Más detalles sobre este dispositivo se encuentran en las hojas de datos del mismo en el anexo B.



Figura 4.17 IETH-FTT Nodo Gateway LONWORKS - TCP/IP

4.16 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LA VIVIENDA

En el siguiente esquema se muestra la red domótica dimensionada para nuestra vivienda, en donde constan la red de datos y la red de control, ambas interconectadas mediante la pasarela residencial; y esta interconexión es también con el mundo exterior a través del Internet.

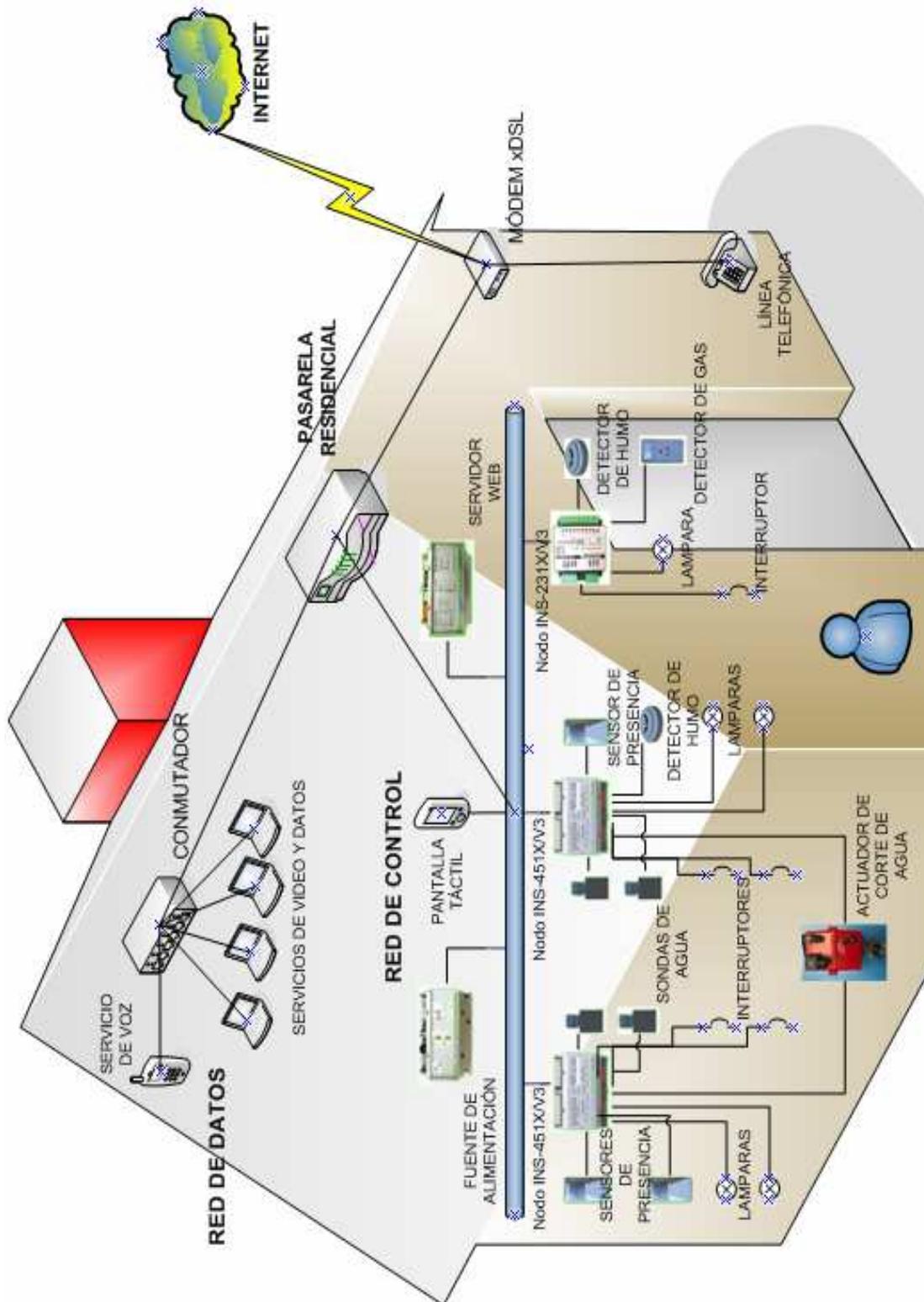


Figura 4.18 Esquema completo de la red doméstica.

En la figura 4.18 pudimos observar la interrelación de los equipos que hemos venido mencionando a lo largo del capítulo 4.

A pesar de que no se va a hacer una implementación o siquiera un diseño del cableado estructurado de la red domótica; sería interesante ubicar los equipos que vamos a utilizar y que ya se mencionaron con anterioridad, para poder tener una idea general de cómo se comportará la red. En el plano siguiente se muestra la distribución de la red del esquema anterior en la vivienda seleccionada.

Para facilitar la ubicación de los diferentes equipos en los planos de la vivienda se ha propuesto una simbología en la que constan los dispositivos escogidos para ser parte de nuestra red domótica; esta simbología se detalla a continuación:

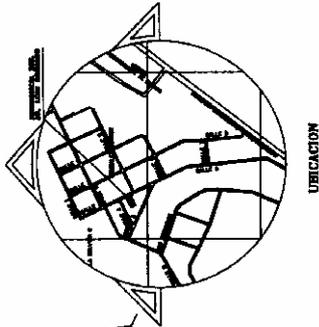
SIMBOLOGÍA	DISPOSITIVO
	Actuador de corte de agua de dos motores
	Detector de gas
	Detector de humo
	Detector de Presencia de Pared
	Fuente de Alimentación
	HP (Hewlett-Packard) Pavilion
	Módem ADSL
	Nodo de Control de habitación
	Nodo de Control estándar
	Pantalla Táctil en Color
	Pasarela Residencial
	Servidor Web

	Sonda de Agua
	Switch de 8 puertos Cisco Catalyst
	Teléfono convencional
	Teléfono IP BudgeTone

Tabla 4.3 Simbología usada para identificar los dispositivos de la red domótica en el plano de la vivienda seleccionada

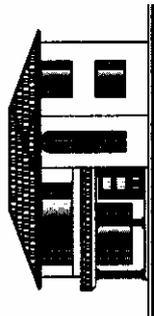
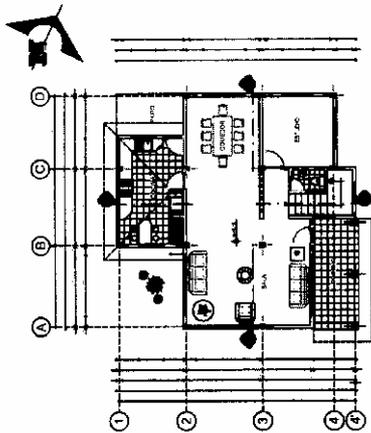
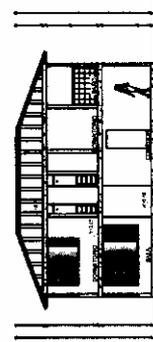
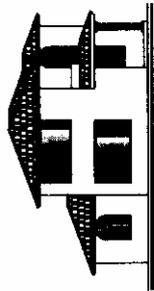
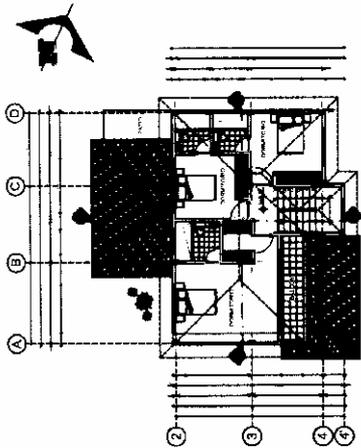
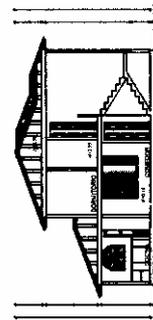
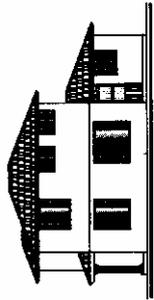
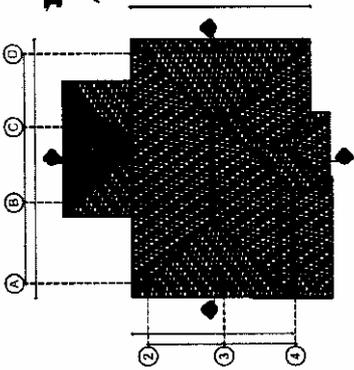
Tenemos que la red se centraliza en la habitación a la que llega la red de acceso, en este caso el cuarto de estudio; en donde se ubican la mayoría de equipos, es decir, el módem, la pasarela residencial, el servidor Web y el conmutador, además de la fuente de alimentación. Por lo demás, las ubicaciones del resto de equipos ya se ha mencionado con anterioridad en el transcurso de este capítulo.

De esta manera, nuestra vivienda se asemeja a la del ejemplo que se muestra en el primer capítulo cuando se hace una definición de domótica y se ve la concepción de una vivienda domótica típica en la figura 1.2; aunque con las consideraciones propias de nuestro caso particular.



CIUDADO DE SACAS		CANTON DE SACAS	
AREA TOTAL	10.000	AREA CONSTRUIDA	2.500
AREA DE CONSTRUCCION	2.500	AREA DE PAVIMENTO	2.500
AREA DE VERDE	5.000	AREA DE ESTACIONAMIENTO	500
AREA DE SERVICIOS	500	AREA DE ALBERGUE	500
AREA DE ALBERGUE	500	AREA DE ALBERGUE	500
AREA DE ALBERGUE	500	AREA DE ALBERGUE	500
AREA DE ALBERGUE	500	AREA DE ALBERGUE	500
AREA DE ALBERGUE	500	AREA DE ALBERGUE	500
AREA DE ALBERGUE	500	AREA DE ALBERGUE	500
AREA DE ALBERGUE	500	AREA DE ALBERGUE	500

PROYECTO: RESIDENCIA DEL SR. LUIS REINOSO VILLALBA		AUTORIZACION: No. 10000000000000000000	
DISEÑADOR: Ing. Oscar Pacheco		FECHA: 10/05/2012	
LOCALIDAD: PATATEMBA, PARROQUIA SAN JUAN DE LOS RIOS, CANTON EL VICTORIAL, PROV. EL ZAMORA CHONCHO		Escala: 1/50	
PROYECTANTE: Ing. Oscar Pacheco		Escala: 1/50	
PROYECTO: RESIDENCIA DEL SR. LUIS REINOSO VILLALBA		AUTORIZACION: No. 10000000000000000000	
DISEÑADOR: Ing. Oscar Pacheco		FECHA: 10/05/2012	
LOCALIDAD: PATATEMBA, PARROQUIA SAN JUAN DE LOS RIOS, CANTON EL VICTORIAL, PROV. EL ZAMORA CHONCHO		Escala: 1/50	
PROYECTANTE: Ing. Oscar Pacheco		Escala: 1/50	



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.3 CONCLUSIONES

En primer lugar, este trabajo pretende ser un aporte para las nuevas generaciones de estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional, tratando de introducir a estas en el estudio y comprensión de tecnologías como la domótica que son casi desconocidas en nuestro medio, y que raramente son tema de investigación por parte de los estudiantes, aunque es un campo con mucho futuro, ya que está en pleno desarrollo y se orienta a hacer de nuestras viviendas un lugar más confortable, entretenido y productivo.

A grandes rasgos, en este proyecto se realizó un estudio comparativo entre las arquitecturas ISA y Diffserv para garantizar Calidad de Servicio en el intercambio de información de voz, datos y video en una pasarela residencial, y de esta manera realizar el dimensionado de una red domótica típica de manera eficiente.

Al iniciar el estudio de la domótica pudimos hacer una descripción del hogar digital, la domótica, inmótica, urbótica, sus aplicaciones y servicios que ofrecen y hallar la relación que existe entre estos conceptos; analizamos cuales y que son las arquitecturas de las redes domóticas, y los estándares (abiertos e ínter operables) más conocidos en este campo; información que posteriormente fue útil para realizar el dimensionado de la red que se observó en el capítulo anterior.

Para poder llamar a nuestro sistema domótico, y no solamente automatizado, hemos debido integrar los sistemas de control, telecomunicaciones y gestión en uno solo, brindando los servicios especificados en el plan del proyecto y otros que brinden seguridad y confort al usuario, como se puede ver en el esquema de la red domótica de la figura 4.18.

Pudimos describir el significado de pasarela residencial (residential gateway), su clasificación, funciones, servicios principales y cual es su papel en una red domótica; además de estudiar la arquitectura en la que se basa, y las tecnologías (en la red del usuario y en la de de acceso) relacionadas a la misma; y de esta manera entender la importancia del estudio de este dispositivo como centro de la red domótica y como medio de interconexión del hogar digital hacia el mundo exterior.

Para realizar el control de sistemas sencillos, basta recurrir a un sistema de control electrónico de lógica combinatoria que contenga circuitos integrados; sin embargo en situaciones más complejas se deben controlar muchas más variables y la solución más sencilla en este caso no es construir un sistema basado en la interconexión de circuitos integrados, sino en el uso de un microprocesador para que el software realice las funciones correspondientes. Es así que se llega a recurrir a la pasarela residencial como “cerebro” de la red domótica, además de otros sistemas con capacidades de procesamiento que se encuentran distribuidos a lo largo de ciertas redes como los “nodos” en el caso de LonWorks.

Aunque la arquitectura RGW (Residential Gateway) estudiada en el capítulo 2, en la que se fundamenta la pasarela residencial, se encuentra basada en la pila de protocolos de TCP/IP y se enfoca al uso de tecnologías Ethernet a nivel de capa enlace de datos, este dispositivo puede ser compatible con otras tecnologías como ATM y las mencionadas en dicho capítulo, ya que existe una función de adaptación para dispositivos no basados en IP especificada en el bloque funcional F13 de dicha arquitectura; y el bloque NT1 permite adaptar otras tecnologías de capa enlace de datos como ATM.

La arquitectura RGW nos proporciona un modelo de referencia para implementaciones de pasarelas residenciales, las que dependen de cada fabricante y el enfoque que este prefiera; y coinciden con los objetivos de la mayoría de empresas de Telecomunicaciones en Europa y el mundo. Según la implementación u omisión de algunos de los bloques funcionales mencionados en la arquitectura RGW, la pasarela residencial se puede comportar como un puente,

un ruteador con o sin NAT, o un dispositivo híbrido que combine funciones de puente y ruteador.

Para poder manejar los servicios que nos hemos propuesto, necesitamos hacer uso de una pasarela multiservicios, pues estas, además de ser las más complejas y potentes proporcionan varios interfaces para redes de acceso, de datos y control, con diferentes tecnologías como las usadas en nuestra red. Son también capaces de ejecutar diferentes aplicaciones con requisitos de tiempo real (VoIP o video streaming). Asimismo puede ejecutar servicios orientados a las SOHO's como el acceso único a Internet para varias PC's. Es así, que como núcleo de nuestra red domiciliaria, tenemos que poseer una pasarela residencial que soporte la tecnología LonWorks y la arquitectura TCP/IP. Esta debe ser una pasarela del tipo ruteador con funcionalidad de NAT, para separar los diferentes flujos de tráfico en subredes diferentes y manejando direcciones IP privadas, lo que ya se mencionó en los capítulos 1 y 2.

El despliegue de aplicaciones multimedia y de aplicaciones con flujos isócronos, como video o audio en tiempo real han creado la necesidad de definir y establecer Calidad de Servicio, más allá del famoso Best Effort tradicionalmente usado en Internet, y es este el punto de partida de nuestro estudio de las arquitecturas ISA y DiffServ.

En este proyecto se realizó una definición y análisis del término calidad de servicio, sus principales parámetros a ser considerados y la manera de proveer QoS (Quality of Service) de acuerdo a los diferentes procedimientos para proporcionar diferenciación de QoS y a las arquitecturas ISA y Diffserv. Esto fue usado posteriormente para analizar los requerimientos de calidad de servicio de cada uno de los servicios descritos, y las alternativas para proporcionarla de acuerdo a las dos arquitecturas estudiadas, realizando una comparación entre estas soluciones.

En la tabla siguiente observamos un resumen de las principales características de las dos arquitecturas de Calidad de Servicio analizadas en este proyecto, y se

realiza una comparación de las mismas en sus aspectos más importantes; podemos ver como se realiza la diferenciación de los servicios y la validez de esta, la escalabilidad de las arquitecturas, etc. lo que determina que arquitectura es la mejor para nuestro escenario.

CARACTERÍSTICA	ISA	DIFFSERV
Granularidad de la diferenciación del servicio.	Flujos individuales.	Agregado de flujos.
Estado en los ruteadores.	Por flujo.	Por agregado.
Base de la clasificación de tráfico.	Algunos campos de cabecera.	El campo DSCP (6 bits) de la cabecera IP.
Control de admisión.	Requerido.	No requerido.
Protocolo de señalización.	Requerido (RSVP).	No requerido.
Coordinación para la diferenciación de servicio.	Extremo a extremo.	Local (por salto).
Escalabilidad.	Limitada por el número de flujos.	Limitada por el número de clases de servicio.
Manejo de red.	Similar a redes de circuitos conmutados.	Similar al existente en redes IP.

Tabla 5.1 Resumen comparativo entre las arquitecturas ISA y Diffserv.

La arquitectura de servicios integrados (ISA) se enfoca hacia una clasificación del tráfico “por flujos” realizando reserva de recursos por medio del protocolo RSVP; lo cual posibilita una buena garantía en cuanto a la calidad de los servicios puesto que se reservan previamente los recursos de la red y no se compite por ellos durante la transmisión de los flujos de información, pero presenta también desventajas sobre todo en redes de gran tamaño, como su relativa complejidad y limitada escalabilidad de las mismas.

La arquitectura de Servicios Diferenciados (DiffServ) puede proveer una mejor escalabilidad que ISA, sobre todo cuando se trabaja con redes de gran tamaño como Internet, gracias a que realiza una diferenciación de tráfico “por clase”, es decir que puede distinguir clases de servicio de acuerdo a la información que transportan los paquetes, independientemente del número de usuarios en la red.

De estudios anteriores se concluye que al realizar cálculos sobre la eficiencia de las redes que trabajan con estas arquitecturas se ha llegado a determinar que un

sistema operando con IntServ no puede garantizar más allá del 40% de la utilización del ancho de banda; pero sorprendentemente, DiffServ EF provee incluso menos que eso. Sin embargo, estos cálculos son bastante pesimistas, puesto que se desarrollan para el peor caso, y es por eso que después de realizar las correspondientes simulaciones se encuentra que la eficiencia de ambas arquitecturas es similar entre ellas, pero muy superior a los límites impuestos por los cálculos matemáticos.

A pesar de ser dos soluciones diferentes, las arquitecturas ISA y DiffServ pueden trabajar de manera conjunta, lo que no es práctico en el caso de este proyecto debido a que para poder aplicar la arquitectura ISA necesitamos tener un mayor número de dispositivos de enrutamiento, como por ejemplo en una red MAN; pero la solución conjunta entre DiffServ e IEEE 802.1 p/Q es un caso que se puede aplicar, especialmente por las facilidades que brinda la arquitectura RGW para la marcación de tramas y paquetes con valores de QoS que pueden ser mapeados para asignarles una correspondencia; la correspondencia entre campos DSCP (DiffServ) y p-bits (IEEE 802.1 p/Q) se muestra en la tabla 5.2, tomando en cuenta los distintos tipos de tráfico. Estos valores han sido obtenidos de recomendaciones realizadas en ciertos libros y artículos mencionados en las referencias bibliográficas, en donde se da mayor prioridad a los servicios más críticos como es el caso de VoIP, y menor prioridad a los tradicionales servicios del tipo best effort, como la transferencia de datos.

TIPO DE TRÁFICO		IEEE 802.1 p/Q	DiffServ
Voz sobre IP		110	101110
Video streaming		100	010010
Datos	Ej. HTTP	011	001010
	Ej. SMTP POP3	010	010010

Tabla 5.2 Valores de los campos DSCP (DiffServ) y p-bits (IEEE 802.1 p/Q) para los servicios estudiados.

Se puede utilizar DiffServ en el lado externo (red de acceso) e IEEE 802.1 p/Q en el interno (red domiciliaria); siempre y cuando la tecnología en la red del usuario sea basada en Ethernet, de otra manera, se puede considerar marcar los paquetes de estos flujos según DiffServ haciendo uso de todos los bloques de la arquitectura RGW para poder incorporar dispositivos no compatibles con IP o con ethernet, pero en este caso se utilizaría DiffServ como única solución a ser considerada.

Todo el estudio previo de domótica, la pasarela residencial y calidad de servicio nos permitió dimensionar eficientemente una red domótica típica de acuerdo a la mejor solución hallada entre las arquitecturas ISA y Diffserv, la cual como ya se ha mencionado, no fue ninguna de las dos en solitario sino una combinación de DiffServ y el estándar IEEE 802.1 p/Q; y además nos permitió señalar las tecnologías en la red de acceso y del hogar más recomendables para este escenario

Después de hacer algunas comparaciones entre los estándares domóticos mencionados en este trabajo y, debido a las buenas funcionalidades que brindan sus equipos, interoperabilidad, estandarización, gran difusión de esta tecnología a nivel mundial en los últimos años (actualmente más de 400 empresas miembros); y que cumple con los 7 niveles del modelo de referencia OSI, lo que la hace compatible con la pasarela residencial aquí presentada; hemos seleccionado a LonWorks como el estándar domótico a aplicarse en el diseño de nuestra red.

Los volúmenes de tráfico que circulan en las redes de acceso y del hogar no son los mismos, por lo que para el dimensionado eficiente de la red domótica hay que tener en cuenta los flujos de información que circulan por cada una de estas y, la cantidad de ancho de banda del que podemos disponer en dichas redes. De esta manera, los requerimientos mínimos en la red de acceso para garantizar los servicios objeto de estudio en este proyecto de titulación en cuanto al ancho de banda son de 57.1 kbps en el canal descendente y 16.4 kbps en el ascendente, por lo que necesitamos una conexión a Internet del tipo “banda ancha”, y hemos seleccionado ADSL como la mejor tecnología, por su cobertura y prestaciones. En

cuanto a la red del hogar, el requerimiento de ancho de banda que hemos calculado en la sección 4.5.1 no es una limitante en el momento de seleccionar nuestra tecnología, pues los algo más 100 kbps requeridos son fácilmente superados por cualquiera de nuestras tecnologías para redes locales. Así que nuestra decisión respecto a esta se basa en la difusión en el mercado, disponibilidad de equipos, seguridades y compatibilidad con los demás dispositivos que nos brinda Ethernet.

En la actualidad es difícil encontrar un dispositivo que cumpla con todas las funcionalidades que aquí hemos especificado para la pasarela residencial, puesto que este es aún tema de estudio; por lo que los dispositivos que más se acercan a nuestros requerimientos son nodos que se encargan del control de diferentes dispositivos en las redes de control, o que realizan funciones de adaptación entre tecnologías distintas; pero en la actualidad podríamos suplir diferentes tipos de requerimientos con una combinación de equipos como módems, ruteadores, servidores Web, servidores de streaming, conmutadores, dispositivos de almacenamiento, y las pasarelas residenciales ya disponibles en el mercado.

En el capítulo 4 se muestran algunas estadísticas interesantes sobre el desarrollo tecnológico de nuestro país; entre estas: en 2007 la penetración del Internet en el país, que de los 12'090.804 habitantes llega apenas a 968.000 personas, es decir es solamente de un 8%; esto se encuentra muy por debajo de la media sudamericana que es del 21%. Ecuador está último en América Latina en el ranking de exportaciones de productos de media y alta tecnología como porcentaje del total de las exportaciones. Además, en el país existen apenas 265 empresas dedicadas a la tecnología, las que generaron al país 99 millones de dólares en el 2006; pero esto no es por escasez de personas emprendedoras o faltas de iniciativa, sino mas bien del poco apoyo, tanto en aspectos legales como económicos y desconfianza del mercado en cuanto a los productos nacionales, pues de cada 100 empresas dedicadas al desarrollo de tecnologías en el Ecuador, solamente 7 tienen éxito.

Como conclusión final dejaría la idea de que la manera en que se conciben las redes y su diseño en la actualidad podría cambiar en los próximos años para poder integrar estas nuevas tecnologías en una sola red funcionando con diferentes estándares y sobre diferentes tipos de medios físicos, por lo que tal vez el cableado de las redes dejará de ser el cableado estructurado como lo conocemos hoy en día, para adaptarse a las necesidades crecientes de los usuarios modernos.

5.4 RECOMENDACIONES

La domótica es un área de estudio no muy difundida en nuestro medio, prueba de esto son los pocos libros y proyectos de investigación que se ha realizado al respecto, por lo que el tratamiento de este tema y su profundización son un campo bastante interesante y se lo recomienda para futuros proyectos de titulación.

Se recomienda continuar y ahondar en el estudio de la arquitectura RGW (Residential Gateway) en la que se basa la pasarela residencial aquí estudiada, puesto que es todavía tema de discusión en muchos lugares del mundo, por lo que se puede realizar cambios, modificaciones y aportes a la misma de acuerdo a las necesidades que se tenga en la implementación de redes domóticas.

Otra área de estudio muy recomendable es la de Calidad de Servicio, puesto que cada día aumenta la necesidad de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles en las redes de datos y control, pero a la vez aumentando o al menos sin disminuir la disponibilidad y calidad que el usuario percibe en los recursos y aplicaciones que él maneja.

Se recomienda no dejar a un lado el tratamiento del protocolo de reserva de recursos RSVP que aunque ya no tiene mucha vigencia debido a la decreciente popularidad de la arquitectura ISA, al haber hallado un nuevo campo de aplicación en MPLS puede ser un interesante tema de estudio, esto debido a la robustez y

permanencia que ha presentado y a la introducción relativamente reciente de la tecnología MPLS en las redes de comunicaciones de datos.

A pesar de que en este proyecto una solución conjunta que involucre las arquitecturas ISA y DiffServ no es factible, puede ser un tema de análisis bastante interesante en futuros proyectos en redes de mayor tamaño que consten de un mayor número de dispositivos de conmutación y enrutamiento.

En viviendas de nueva construcción o en las que se realiza una remodelación de gran parte de esta, se debería incluir soportes para redes de datos y control (preinstalaciones), ya que de esta manera se facilita la instalación de las mismas, tal vez no en un futuro inmediato pero si con el tiempo; y aunque esto no es una norma en nuestro país si es una práctica común que se viene realizando desde hace algún tiempo en otros países como por ejemplo en España, en donde se tiene una legislación y normativas que demandan la instalación de soporte para futuras redes domóticas en viviendas nuevas; y es recomendable que en el Ecuador prestemos atención a estos cambios que se dan en otros lugares del mundo y tratemos de adentrarnos e involucrarnos en ellos siguiendo su ejemplo de desarrollo.

Otro tema de estudio que tiene mucho futuro en lo referente a pasarelas residenciales es el desarrollo de software para la administración de las mismas, ya que con nuevas funcionalidades que se añaden cada día y la expansión del mercado de las tecnologías domóticas, se hace imperativo contar con interfaces de administración eficientes y amigables para el usuario final; por lo que se recomienda realizar proyectos de titulación en este sentido.

En el capítulo 4 se hace la pregunta siguiente: ¿cómo puede un ecuatoriano promedio cuyo salario no alcanza ni siquiera para cubrir las necesidades básicas de su familia pensar en contratar servicios de Internet o siquiera adquirir un computador? Y esta misma pregunta es parte de la explicación de la baja penetración tecnológica en nuestro país, puesto que si una persona no puede suplir sus necesidades básicas, mucho menos se preocupará de suplir

necesidades suntuarias; por lo que en primer lugar debemos buscar desarrollarnos en el campo social, para luego poder crecer en el ámbito tecnológico.

La recomendación final sería a la Escuela Politécnica Nacional para que no deje de estar al día en las innovaciones y nuevas tecnologías que surgen al rededor del mundo, y a sus profesores para que traten de modernizar sus planes de estudio e introducir a los estudiantes en temas tan interesantes y con un futuro tan prometedor como la domótica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS:

1. BLACK, Uyles. **“Residential Broadband Networks xDSL, HFC, & Fixed Wireless Access”**. Prentice-Hall. Estados Unidos de América. 1998.
2. BOLTON, William. **“Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico e Ingeniería Mecánica y Eléctrica”**. Segunda ed. Alfaomega. México. 2001.
3. CONESUP. **“Proyecto de Nueva Constitución Política del Ecuador”**. Comisión de Juristas. 2007.
4. GARCÍA, Jesús; RAYA, José Luis; RAYA, Víctor. **“Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP”**. Alfaomega. México. 2002.
5. HIDALGO, Pablo. **“Comunicación Digital”**. Folleto EPN. Ecuador. 2005.
6. HIDALGO, Pablo. **“Telemática”**. Folleto EPN. Ecuador. 2006.
7. HUIDOBRO, José Manuel; MILLÁN, Ramón; ROLDÁN, David. **“Tecnologías de Telecomunicaciones”**. Alfaomega. Primera edición. España. 2006.
8. HUIDOBRO, José Manuel; ROLDÁN, David. **“Redes y servicios de Banda Ancha. Tecnología y Aplicaciones”**. Primera Edición. McGraw-Hill. España. 2004.
9. HUIDOBRO, José; ROLDÁN, David. **“Integración de voz y datos”**. España. 2003.
10. JAMALIPOUR, Abbas. **“The wireless mobile Internet: Architectures, Protocols and Services”**. Jhon Wiley and Sons, Ltd. 2003.
11. KEAGY, Scott. **“Integración de redes de voz y datos”**. Cisco Systems – Pearson educación S.A. España. 2001.
12. KERSHENBAUM, Aaron. **“Telecommunications Network Design Algorithms”** McGraw-Hill. Estados Unidos de América. 1993.
13. MOLINA, Francisco. **“Instalación y mantenimiento de servicios de redes locales”**. Alfaomega. Colombia. 2006.
14. NUNEMACHER, Greg. **“Introducción a las redes de área local”**. Paraninfo. Segunda edición. Estados Unidos de América. 1999.

TESIS:

14. ARCE, José Luis. **“Análisis de la provisión de calidad de servicio para redes móviles utilizando INTSERV y DIFFSERV”** Tesis EPN. Quito – Ecuador. 2005.
15. ARIAS, Ana; CAIZA, María. **“Comparación entre los sistemas de señalización H.323 y SIP para voz sobre IP, mediante la implementación de circuitos prácticos de redes”** Tesis EPN. Quito – Ecuador. 2005.
16. DÍAZ, Juan Carlos; MAYA, Carlos. **“Reingeniería de la red de campus de la Escuela Politécnica Nacional considerando los criterios de Calidad de Servicio”** Tesis EPN. Quito – Ecuador. 2005.
17. GRANJA, Eduardo; VEGA, Pablo. **“Diseño e implementación de un sistema de transmisión de audio y video por Internet para la ex-facultad de ingeniería eléctrica”**. Tesis EPN. Quito – Ecuador. 2004.
18. HENAO, Oscar. **“Hardware y Software doméstico”** Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia. 2006.
19. HERRERA, Myriam; HIDALGO, Wendy. **“Ingeniería de detalle para el diseño de una intranet con conexión a Internet para aplicaciones de voz, datos y video utilizando la arquitectura TCP/IP”**. Tesis EPN. Quito – Ecuador. 2004.
20. NAVARRETE, Jorge Luis. **“Análisis de los sistemas de comunicación utilizados para la implementación de las aplicaciones de la domótica”** Tesis EPN. Quito – Ecuador. 2005.

ARTÍCULOS Y REVISTAS:

21. ABASCAL y otros. **“Integración de redes heterogéneas para el soporte de la Inteligencia Ambiental”**. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea; Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores; ETSI Informática; Universidad de Sevilla; Universidad de Zaragoza. Europa.
22. ADSLNET; ADSLZONE. **“II Estudio de Velocidad ADSL”** España. 2007.
23. ALCATEL. **“Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks”**. Fundación AUNA.
24. ARAQUE; Raúl. **“Redes de control para edificios inteligentes”**. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
25. ARIZA; CASILARI; SANDOVAL Y FABREGAT. **“Encaminamiento en redes con DiffServ”**. Universidad de Girona. España.

26. BAKER, Fred; CANNON, Loose. **“Preferential Elastic Services”**. IETF Internet Emergency Preparedness. 2004.
27. BANSAL, Deepak; BAO, Jeffrey y LEE, Whay. **“QoS-Enabled Residential Gateway Architecture”**. Motorola Labs. 2003.
28. BARENCO, Claudia. **“Modelo IntServ/Protocolo RSVP”**. 2003.
29. BARRIUSO, Rafael. **“Desarrollo de un Sistema de Detección de Intrusos para Pasarelas Domésticas”**. Colegio Oficial y Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación. España. 2005.
30. CANO, Xavier. **“Implementación de sistemas domóticos basado en el estándar de Lonworks”**. Universitat Politècnica de Catalunya. España.
31. CELAYA, Eloy; **“Ciudad Vertical Torre Biónica”**. 2007.
32. COMISIÓN HOGAR DIGITAL. **“Pasarelas Residenciales. Definición del Servicio”**. España. 2006.
33. CÓRDOBA, Francisco. **“Problemática y Soluciones para Mejorar el Internet en el Ecuador”**. Ecuador. 2006.
34. CRUZ, Jorge. **“Domótica en la cocina”**. Electromarket.
35. DE LA ROSA, Javier y otros. **“Domótica. Hacia el hogar digital”**.
36. DSL FORUM. **“CPE WAN Management Protocol”**. DSLHome-Technical Working Group. Technical Report TR-069 Amendment 1. 2006.
37. DSL FORUM. **“Functional Requirements for Broadband Residential Gateway Devices”**. DSLHome-Technical Working Group. Technical Report TR-124 Amendment 1. 2006.
38. DSL FORUM. **“Internet Gateway Device Data Model for TR-069”**. DSLHome-Technical Working Group. Technical Report TR-098 Amendment 1. 2006.
39. DSL FORUM. **“Multi-Service Architecture & Framework Requirements”**. Architecture & Transport Working Group. Technical Report TR-058. 2003.
40. DSL FORUM. **“Multi-Service Delivery Framework for Home Networks”**. The Architecture and Transport Working Group & DSL Home Technical Working Group. Technical Report TR-094. 2004.
41. ECHELON CORPORATION. **“Introduction to the LONWORKS® System”** Version 1.0.

42. ECHELON CORPORATION. **“Product Catalog”**. 2006 – 2007.
43. EK, Niclas. **“IEEE 802.1 P,Q - QoS on the MAC level”**. Helsinki University of Technology. Finlandia. 1999.
44. ESCRIBANO, Jorge y otros. **“Diffserv como solución a la provisión de QoS en Internet”**. Universidad Carlos III de Madrid. España.
45. FELICI, Santiago. **“Evaluación de mecanismos de calidad de servicio en los routers para servicios multimedia”**. 2001.
46. FUJITSU. **“UN PASEO POR IEEE-1394 (FireWire)”** España. 2000.
47. GARCÍA y otros. **“Dimensionado Eficiente de la Red de Acceso UMTS en Presencia de Múltiples Clases de Tráfico”**. Universidad Politécnica de Madrid. España.
48. GARCÍA, Jaime y otros. **“Estudio de un Router Software para la implementación de una Pasarela Residencial”**. Universidad Carlos III de Madrid. España.
49. GUERRERO; GARCÍA; VALERA; AZCORRA. **“Soporte IMS para Pasarelas Residenciales en Redes de Acceso de Banda Ancha”**. Universidad Carlos III de Madrid. España.
50. GUERRERO; GARCÍA; VALERA; AZCORRA. **“Soporte IMS para Pasarelas Residenciales en Redes de Acceso de Banda Ancha”**. Universidad Carlos III de Madrid. España.
51. HAYA, Pablo; ALEMÁN, Xavier y MONTERO, Germán. **“El proyecto Interact: El rol de la información contextual”**. Universidad Autónoma de Madrid. España.
52. HERZBERG, Amir. **“Router-Assisted Congestion Control: RED & ECN”**. Bar Ilan University. 2007.
53. HUIDOBRO, José. **“Ventajas y desventajas de las tecnologías de banda ancha”**. España. 2006.
54. IEEE. **“Communications Magazine”**. Vol. 43 N° 8. Agosto 2005.
55. IMPSAT. **“Calidad y Costos de los servicios de Internet, Reflexiones y Propuestas”**. Ecuador. 2006.
56. INFODESARROLLO.EC. **“Reporte trimestral de conectividad”**. N° 3. Ecuador. Enero – Abril 2007.
57. INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA. **“Calidad de servicio en redes IP”**. Universidad de la República. 2005.

58. KOLEHMAINEN, Mikko. **“DiffServ Per Hop Behaviors (PHBs)”**. University of Helsinki. Finlandia. 2000.
59. LIMA, Servio. **“Tecnologías de Internet de banda ancha en la subregión andina: situación actual y tendencias”**. IEEE - Telconet. 2007.
60. LIZCANO, Pedro. **“Redes del Hogar y Pasarela Residencial”**. Telefónica Investigación y Desarrollo S.A. España. 2002.
61. LÓPEZ; Agustín. **“OSGI: Estado del arte y mercado actual”**.
62. LORENTE, Santiago. **“¿Qué es la domótica? Pasado, Presente y previsible Futuro”**. Universidad Politécnica de Madrid. 1999.
63. MONTAÑANA, Rogelio. **“Calidad de Servicio (QoS)”**. Universidad de Valencia. España.
64. MONTEJANO, Julio. **“Sistemas avanzados de teleasistencia en el hogar”**. Telefónica. 2004.
65. MOSQUERA, Álvaro. **“Situación y perspectivas del Internet en el Ecuador”**. Etapa Telecom. Ecuador. 2007.
66. ORTEGA, Patricio. **Apuntes del curso de “Comunicaciones Inalámbricas”**. EPN. 2006.
67. PAYER, Udo. **“DiffServ, IntServ, MPLS”**. Technische Universität Graz. 2005.
68. PROYECTO MUSE. **“Detailed description of residential gateway and advanced features”**. Europa. 2005.
69. PROYECTO MUSE. **“Detailed description of residential gateway and advanced features”**. Europa. 2005.
70. PROYECTO MUSE. **“Gateway Solutions”**. Europa. 2005.
71. PROYECTO MUSE. **“Gateway Trials”**. Europa. 2005.
72. PROYECTO MUSE. **“Network Requirements for multi-service access”**. Europa. 2004.
73. ROMERO, Alfredo. **“¿Hacia un entorno inteligente?”**. Diariored. 2004.
74. TELEFÓNICA I+D. **“El hogar digital. La visión de las operadoras de telecomunicación”** España. 2006.

75. TERRASA; SÁEZ; VILA; HERNÁNDEZ. **“Comparing the utilization bounds of IntServ and DiffServ”**. Universidad Politécnica de Valencia. España.
76. VALERA, Francisco y otros. **“Pasarela residencial multiservicio con soporte de calidad garantizada para acceso de banda ancha”**. Universidad Carlos III de Madrid - Portugal Telecom Inovação.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS:

77. CASADOMO. <http://www.casadomo.com>
78. CINTELAM. <http://www.cintelam.com>
79. DOMÓTICA VIVA. <http://www.domoticaviva.com>
80. ENGTEL. <http://www.engtel.net>
81. HOME PNA. <http://www.homepna.org>
82. INEC. <http://www.inec.gov.ec>
83. INTERNET WORLD STATS. <http://www.internetworldstats.com>
84. LINUCA. <http://www.linuca.org>
85. LONMARK. <http://www.lonmark.org>
86. MICROSOFT TECHNET. <http://www.microsoft.com/latam/technet>
87. MONOGRAFIAS. <http://www.monografias.com>
88. ONUDI. <http://www.unido.org>
89. OSGI. <http://www.osgi.org>
90. PROYECTO MUSE. <http://www.ist-muse.org>
91. SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES.
<http://www.supertel.gov.ec>
92. WIKIPEDIA. <http://en.wikipedia.org>
93. <http://www.fortunecity.com/campus/spanish/184/domotica/domotexto.htm>
94. <http://www.itresa.com/imagenes/fotos/inmotica.jpg>