

**xDSL COMO SOLUCIÓN DE ULTIMO KILÓMETRO PARA REDES  
CORPORATIVAS Y RESIDENCIALES**

**RONALD FABIAN OLIVO CASTILLA  
IVÁN DARÍO ROMERO LÓPEZ**

**TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. y C.**

**2003**

**xDSL COMO SOLUCIÓN DE ULTIMO KILÓMETRO PARA REDES  
CORPORATIVAS Y RESIDENCIALES**

**RONALD FABIAN OLIVO CASTILLA  
IVÁN DARÍO ROMERO LÓPEZ**

**Monografía presentada como requisito de aprobación del Minor en  
Comunicaciones y Redes**

**Director**

**GONZALO LÓPEZ VERGARA**

**Ingeniero Electrónico**

**TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

**2003**

**xDSL COMO SOLUCIÓN DE ULTIMO KILÓMETRO  
PARA REDES CORPORATIVAS Y RESIDENCIALES**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena, (día mes año )

*A Dios y a su hijo Jesús  
por bendecir mi vida y siempre iluminar mi camino.  
A mis padres por su amor, dedicación y esfuerzo  
para ayudarme a alcanzar este logro en mi  
vida profesional.  
A mi familia que tanto quiero, por su apoyo e  
incondicionalidad.  
A Ángela María por ser tan especial, por su  
amor, por ser una mujer genial y maravillosa.  
A Iván por el apoyo mutuo y el trabajo en equipo.*

*Ronald Fabian.*

*A Dios por morar en mi vida y por su  
fidelidad incomparable.  
A mis padres, Cesar y Maryluz, por su confianza  
e incondicionalidad a lo largo de estos años.  
A mis hermanos por haber sido buenos  
ejemplos para mi.  
A mi familia por haberme apoyado en los  
momentos mas difíciles.  
A todas las personas que en todos estos años  
me han ayudado a seguir adelante.*

*Iván Darío*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a todas las personas que de manera incondicional colaboraron para hacer posible la culminación de este trabajo.

A nuestro Director Gonzalo López por su apoyo, dedicación y por poner a nuestra disposición sus conocimientos.

Al Ingeniero Rafael Fong por su colaboración la cual hizo posible que nuestro trabajo se enriqueciera con sus conocimientos y aportes, debido a su dominio de este campo.

A la familia de cada uno de los autores de esta monografía por su dedicación y esfuerzo para que lográramos nuestro sueño de ser profesionales.

# CONTENIDO

	pag.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. LA TECNOLOGÍA xDSL</b>	<b>2</b>
<b>1.1 HISTORIA</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1 Crecimiento Del Mercado</b>	<b>5</b>
<b>1.2 REDES DE ACCESO Y REDES DE BANDA ANCHA</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1 Niveles de las redes de telecomunicaciones</b>	<b>9</b>
<b>1.2.1.1 Proveedores de servicio</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1.2 Sistema de transporte</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1.3 Red troncal de transporte</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1.4 Red de distribución</b>	<b>10</b>
<b>1.2.2 Clasificación de las redes de acceso</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2.1 Redes de acceso vía cobre</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2.2 Redes de acceso vía radio</b>	<b>12</b>

<b>1.2.2.3</b>	<b>Redes de acceso vía fibra óptica</b>	<b>13</b>
<b>1.2.3</b>	<b>Red completa de telecomunicaciones</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>EL MEDIO DE TRANSMISIÓN DSL</b>	<b>17</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Descripción y longitud del lazo</b>	<b>18</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Balance</b>	<b>20</b>
<b>1.3.3</b>	<b>Calibre del alambre y cambios en el calibre</b>	<b>20</b>
<b>1.3.4</b>	<b>Crosstalk (Diafonía)</b>	<b>20</b>
<b>1.3.4.1</b>	<b>NEXT</b>	<b>22</b>
<b>1.3.4.2</b>	<b>FEXT</b>	<b>22</b>
<b>1.3.5</b>	<b>Bridge Taps</b>	<b>23</b>
<b>1.3.5.1</b>	<b>Líneas compartidas</b>	<b>23</b>
<b>1.3.5.2</b>	<b>Reparaciones</b>	<b>24</b>
<b>1.3.5.3</b>	<b>Capacidad extra</b>	<b>24</b>
<b>1.3.5.4</b>	<b>Múltiples teléfonos dentro del lugar del abonado</b>	<b>25</b>
<b>1.4</b>	<b>LIMITACIONES EN LOS SISTEMAS DSL</b>	<b>25</b>
<b>1.4.1</b>	<b>Ruido de fondo</b>	<b>26</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Ruido impulsivo</b>	<b>26</b>
<b>1.4.3</b>	<b>Interferencias de emisiones de radio</b>	<b>26</b>
<b>1.4.4</b>	<b>Coexistencia con el servicio telefónico</b>	<b>27</b>
<b>1.4.5</b>	<b>Problemas prácticos del despliegue de DSL</b>	<b>28</b>

<b>1.4.5.1</b>	<b>Interoperabilidad</b>	<b>28</b>
<b>1.4.5.2</b>	<b>Caracterización de los lazos</b>	<b>28</b>
<b>1.4.5.3</b>	<b>Segmentación de la oferta comercial</b>	<b>29</b>
<b>1.4.5.4</b>	<b>Los problemas de la instalación</b>	<b>29</b>
<b>1.4.5.5</b>	<b>Abonados en unidades remotas, sub-lazos</b>	<b>30</b>
<b>1.5</b>	<b>PRUEBAS EN xDSL</b>	<b>30</b>
<b>1.6</b>	<b>TIPOS DE MODULACIÓN EN DSL</b>	<b>34</b>
<b>1.6.1</b>	<b>2B1Q</b>	<b>35</b>
<b>1.6.2</b>	<b>CAP</b>	<b>36</b>
<b>1.6.3</b>	<b>DMT</b>	<b>38</b>
<b>1.6.4</b>	<b>DWMT</b>	<b>40</b>
<b>1.7</b>	<b>FAMILIA xDSL</b>	<b>42</b>
<b>1.7.1</b>	<b>HDSL</b>	<b>43</b>
<b>1.7.1.1</b>	<b>Ancho de banda</b>	<b>44</b>
<b>1.7.2</b>	<b>HDSL2 O SHDSL</b>	<b>45</b>
<b>1.7.3</b>	<b>SDSL</b>	<b>46</b>
<b>1.7.4</b>	<b>M/SDSL O MSDSL</b>	<b>47</b>
<b>1.7.5</b>	<b>ADSL</b>	<b>48</b>
<b>1.7.6</b>	<b>RADSL</b>	<b>49</b>
<b>1.7.7</b>	<b>CDSL</b>	<b>49</b>

<b>1.7.8 IDSL</b>	<b>50</b>
<b>1.7.8.1 Diferencias entre IDSL y RDS</b>	<b>51</b>
<b>1.7.9 VDSL</b>	<b>52</b>
<b>1.7.10 Etherloop</b>	<b>53</b>
<b>1.7.11 G. SHDSL</b>	<b>54</b>
<b>2 ADSL</b>	<b>55</b>
<b>2.1 LA TECNOLOGÍA ADSL</b>	<b>56</b>
<b>2.2 VENTAJAS DE UN ENLACE ADSL</b>	<b>58</b>
<b>2.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED</b>	<b>60</b>
<b>2.3.1 Splitter</b>	<b>64</b>
<b>2.3.2 DSLAM</b>	<b>66</b>
<b>2.4 MODOS DE TRANSPORTE</b>	<b>67</b>
<b>2.4.1 ATM Sobre Enlaces ADSL</b>	<b>68</b>
<b>2.4.2 Ventajas Del Uso De ATM Sobre ADSL</b>	<b>71</b>
<b>2.5 MODULACIÓN ADSL</b>	<b>72</b>
<b>2.5.1 Códigos De Línea Propuestos</b>	<b>72</b>
<b>2.5.2 La Solución Final: DMT</b>	<b>74</b>
<b>2.6 EL MEDIO DE TRANSMISIÓN EN ADSL</b>	<b>79</b>

<b>2.6.1 Atenuación</b>	<b>79</b>
<b>2.6.2 Ruido</b>	<b>81</b>
<b>2.7 UNA VERSIÓN MAS ECONÓMICA: G.LITE O DSL LITE</b>	<b>83</b>
<b>2.7.1 Características</b>	<b>84</b>
<b>2.7.2 Ventajas y desventajas</b>	<b>86</b>
<b>2.8 COMPARACIÓN DE ADSL CON OTRAS TECNOLOGÍAS</b>	<b>87</b>
<b>2.8.1 ADSL vs. Cable-Modem</b>	<b>87</b>
<b>2.8.2 ADSL vs. ISDN</b>	<b>90</b>
<b>2.8.3 ADSL vs. Modem Analógico</b>	<b>93</b>
<b>2.8.4 ADSL vs. Línea Dedicada</b>	<b>94</b>
<b>2.8.5 ADSL vs. Líneas Frame Relay</b>	<b>95</b>
<b>2.8.6 ADSL vs. Acceso a Través de satélite</b>	<b>96</b>
<b>2.8.7 ADSL vs. LMDS/ MMDS</b>	<b>96</b>
<b>2.8.8 ADSL vs. T1/E1</b>	<b>97</b>
<b>2.9 ESTADO DEL ARTE DE ESTA TECNOLOGÍA</b>	
<b>EN CARTAGENA</b>	<b>98</b>
<b>2.9.1 Descripción De La Red</b>	<b>98</b>
<b>2.9.2 Características De La Red</b>	<b>101</b>
<b>2.9.3 Servicios Actuales</b>	<b>101</b>

<b>2.9.4 Estructura Del Servicio</b>	<b>105</b>
<b>2.9.5 Red Actual - Acuerdos Con Carriers</b>	<b>106</b>
<b>2.9.6 Servicios Agregados</b>	<b>107</b>
<b>3 VDSL</b>	<b>109</b>
<b>3.1 VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN</b>	<b>111</b>
<b>3.2 SELECCIÓN DEL ANCHO DE BANDA</b>	<b>113</b>
<b>3.3 ARQUITECTURA DE LA RED</b>	<b>114</b>
<b>3.4 SEPARACIÓN DEL CANAL</b>	<b>117</b>
<b>3.5 FORWARD ERROR CORRECTION</b>	<b>118</b>
<b>3.6 MULTIPLEXAJE EN LA DIRECCIÓN DEL CLIENTE-RED</b>	<b>118</b>
<b>3.7 CODIFICACIÓN VDSL</b>	<b>120</b>
<b>3.7.1 CAP</b>	<b>120</b>
<b>3.7.2 DMT</b>	<b>120</b>
<b>3.7.3 DWMT</b>	<b>122</b>
<b>3.7.4 SLC</b>	<b>123</b>
<b>3.8 ASPECTOS PENDIENTES PARA VDSL</b>	<b>123</b>
<b>3.8.1 TDD vs. FDD</b>	<b>123</b>
<b>3.8.2 Modelo de Referencia</b>	<b>124</b>

<b>3.8.3 Interferencia del Sistema de Radio de Onda Corta</b>	<b>124</b>
<b>3.8.4 Radiación Producida por Cables Aéreos</b>	<b>124</b>
<b>3.8.5 Operación Simétrica o Asimétrica</b>	<b>125</b>
<b>3.9 RELACIÓN CON ADSL</b>	<b>125</b>
<b>3.10 CONSIDERACIONES SOBRE EL SERVICIO PARA VDSL</b>	<b>127</b>
<b>4 SERVICIOS Xdsl</b>	<b>129</b>
<b>4.1 VoDSL</b>	<b>129</b>
<b>4.1.1 Segmentos de Mercado</b>	<b>130</b>
<b>4.1.2 Usando Circuitos virtuales ATM</b>	<b>132</b>
<b>4.1.3 Arquitectura De La Red</b>	<b>133</b>
<b>4.1.4 Aplicaciones</b>	<b>136</b>
<b>4.2 GigADSL</b>	<b>138</b>
<b>4.2.1 Modalidades</b>	<b>138</b>
<b>4.3 ReachDSL</b>	<b>140</b>
<b>4.3.1 Beneficios de ReachDSL</b>	<b>141</b>
<b>5 ESTÁNDARES EN xDSL</b>	<b>143</b>

**CONCLUSIONES**

**147**

**GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Comparación de ADSL con la tecnología Cable-Modem</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 2. Comparación entre ADSL e ISDN</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 3. Velocidades de VDSL en función de la distancia</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 4. Modalidades del servicio GigADSL</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 5. Sumario de los Estándares ITU para xDSL</b>	<b>146</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Sistema de Acceso vía radio</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2. Redes de acceso vía fibra óptica</b>	<b>14</b>
<b>Figura 3. Integración de tecnologías de banda ancha.</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4. Posicionamiento de los sistemas de banda ancha.</b>	<b>17</b>
<b>Figura 6. Niveles del FEXT y NEXT en las líneas del abonado.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7. NEXT.</b>	<b>22</b>
<b>Figura 8. FEXT.</b>	<b>23</b>
<b>Figura 9. Diferentes modelos de Bridge Taps</b>	<b>24</b>
<b>Figura 10. Reparaciones en la línea.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 11. Ejemplo de modulación 2B1Q.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12. División del espectro en 256 subportadoras.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 13. Mejoramiento del espectro con DWMT.</b>	<b>41</b>
<b>Figura 14. Arquitectura de la red SHDSL.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 15. Concepto básico de ISDN-BA (DSL).</b>	<b>51</b>
<b>Figura 16. Enlace ADSL</b>	<b>61</b>
<b>Figura 17. Configuración de un sistema ADSL</b>	<b>63</b>
<b>Figura 18. Ubicación del Splitter</b>	<b>64</b>
<b>Figura 19. Funcionamiento del Splitter</b>	<b>65</b>
<b>Figura 20. DSLAM</b>	<b>67</b>

<b>Figura 21. DSLAM ATM</b>	<b>70</b>
<b>Figura 22. Torre de protocolos con ATM sobre ADSL</b>	<b>71</b>
<b>Figura 23. FDM vs. Cancelación de Eco</b>	<b>76</b>
<b>Figura 24. Modulación ADSL DMT con FDM</b>	<b>77</b>
<b>Figura 25. Modulación ADSL DMT con cancelación de ecos.</b>	<b>78</b>
<b>Figura 26. Caudal máximo de los módems ADSL en función de la longitud del lazo de abonado.</b>	<b>80</b>
<b>Figura 27. Instalación de ADSL G.Lite</b>	<b>84</b>
<b>Figura 28 Red ADSL de Colombiatel</b>	<b>99</b>
<b>Figura 29. Cobertura de la Red</b>	<b>100</b>
<b>Figura 30. Metropersonal</b>	<b>102</b>
<b>Figura 31. Metrocomercial</b>	<b>103</b>
<b>Figura 32. Metroempresarial</b>	<b>103</b>
<b>Figura 33. Soluciones de Ultimo Kilómetro</b>	<b>104</b>
<b>Figura 34. Red privada virtual</b>	<b>104</b>
<b>Figura 35. Integración de servicios</b>	<b>105</b>
<b>Figura 36. Acuerdos con Carriers</b>	<b>107</b>
<b>Figura 37. Diagrama de datos</b>	<b>108</b>
<b>Figura 38. Conexión VDSL</b>	<b>110</b>
<b>Figura 39. Comparación de la transmisión con CAP y PAM</b>	<b>114</b>
<b>Figura 40. Topología FTTCab con VDSL</b>	<b>115</b>
<b>Figura 41. Separación de los canales.</b>	<b>117</b>
<b>Figura 42. Configuraciones de las NT para VDSL.</b>	<b>119</b>

<b>Figura 43. Espectro de frecuencia en VDSL con DMT.</b>	<b>121</b>
<b>Figura 44. Espectro de frecuencia en VDSL con DWMT</b>	<b>122</b>
<b>Figura 45. Comparación de velocidad y alcance entre ADSL y VDSL</b>	<b>126</b>
<b>Figura 46. Red completa para brindar servicios de VoDSL.</b>	<b>132</b>
<b>Figura 47. Modelo de red VoDSL para un CLEC</b>	<b>133</b>
<b>Figura 48. Modelo de red VoDSL para un ILEC</b>	<b>135</b>

## RESUMEN

La creciente demanda de aplicaciones de mayor ancho de banda por usuarios residenciales y corporativos, ha hecho que aparezcan cada vez mas tecnologías para eliminar los cuellos de botella en las redes de acceso (ultimo kilómetro), siendo algunas de estas soluciones a largo plazo, debido a la infraestructura necesaria para que puedan funcionar, como es el caso de la fibra óptica hasta el abonado. Es por esto que se han desarrollado técnicas que permitan utilizar la infraestructura existente y al mismo tiempo ofrecer una mayor velocidad en las redes de acceso, como es el caso de la tecnología DSL que utiliza la existente red telefónica conmutada.

Como no todos los usuarios finales poseen las mismas necesidades, se han desarrollado diferentes tipos de DSL. Por lo tanto, la tecnología ADSL surgió para usuarios que demandan mas información de la que son capaces de brindar, lo cual la hace idónea para proveer servicios de televisión interactiva. Sus características hacen que esta sea la mas utilizada en la actualidad. Los equipos utilizados para esta tecnología, hace que esta pueda ser implementada junto con el modo de transporte ATM, permitiendo mayor velocidad en el ambiente WAN.

VDSL esta prevista para ser la tecnología de acceso del futuro, brindando mayor velocidad, aunque aun no se ha desarrollado por completo. Esta permitirá que se provean mas servicios de gran ancho de banda.

Los organismos internacionales de estándares como son ANSI, ITU entre otras, han desarrollado las normas para las diferentes versiones de DSL, en donde se especifica la velocidad de transmisión de cada una.

# INTRODUCCIÓN

Las tecnologías denominadas xDSL han surgido con el fin de utilizar la red local telefónica existente para transmitir información, audio y video en forma digital y proporcionar una tasa de bits mayor que otras tecnologías. xDSL convierte las líneas analógicas convencionales (cable de cobre) en digitales de alta velocidad, con las que es posible ofrecer servicios de banda ancha. El grupo de tecnologías xDSL incluye: DSL, HDSL, SDSL, ADSL, VDSL, entre otras.

En esta monografía no solo analizaremos las diferentes tecnologías que hacen parte de DSL, sus ventajas y desventajas, como solución para redes corporativas y domiciliarias, sino que aclararemos las diferentes dudas que se presentan sobre esta tecnología así como que realizaremos una comparación con otras tecnologías y determinaremos el avance que tiene esta tecnología en nuestra ciudad.

También describiremos los elementos funcionales dentro de una red DSL y nos centraremos en dos tecnologías: ADSL por ser la mas popular entro de los proveedores de servicio y VDSL por ser la de mayor capacidad y por ende la tecnología de futuros servicios.

# 1. LA TECNOLOGÍA xDSL

## 1.1 HISTORIA

La tecnología DSL que apareció alrededor de 1989, fue inicialmente diseñada para cubrir las necesidades de video en demanda y servicios de televisión interactiva para el mundo de los negocios por el alto ancho de banda que estas aplicaciones necesitan. Las compañías telefónicas entendieron que DSL era la respuesta para competir con la tecnología cable-módem y buscaron no repetir los errores que los proveedores de este servicio experimentaron al incorporar *switches* de costos elevados que encarecían el producto. Como la demanda por acceder a Internet a altas velocidades crecía, las telecomunicaciones respondieron con DSL.

En comunicaciones, la velocidad es una de esas cosas en las que nunca se tiene suficiente. Hace unos años, 2.400 bps era considerada una velocidad bastante respetable. Luego aparecieron aplicaciones interactivas y las primeras conexiones de redes LAN remotas, que llevaron dicho nivel de aceptabilidad a velocidades de 9.600 y 14.400 bps. Luego aparecieron Internet y la World Wide Web, con sus

transferencias de imágenes y sonidos, y la velocidad debió subir a 28.800 y 33.600 bps. Pero estas velocidades no son suficientes para aplicaciones multimedia interactivas o para transmitir vídeo con una buena resolución. Esta necesidad de velocidad ha llevado al nacimiento, o resurgimiento en algunos casos como el ISDN, de varias tecnologías, como son los módem de 56 Kbps, los módem de cable y satélites, y el conjunto de tecnologías DSL.

A pesar de los aumentos de velocidad a 64 y 128 Kbps, por medio de ISDN, éstas son vistas como soluciones intermedias, ya que no poseen el ancho de banda necesario como para transmitir vídeo con una buena calidad así como que las compañías telefónicas encarecen los estos nuevos servicio por los costos que este implica. Se calcula que, para un vídeo comprimido en MPEG-2, el estándar de transmisión de vídeo digital del momento y que es utilizado por los DVD y por la televisión digital son necesarios entre 2 y 6 Mbps de ancho de banda. Es en este rango de velocidades donde se está librando la batalla tecnológica del futuro por la conquista de millones de usuarios hogareños ávidos de información y entretenimiento.

La primera especificación de la tecnología xDSL fue definida en 1987 por *Bell Communications Research* (Bellcore), la misma compañía que inventó ISDN, que forma parte de un consorcio formado por las compañías telefónicas regionales denominadas RBOC, *Regional Bell Operating Company*, y creadas a partir de la sentencia del caso de monopolio de AT&T de la Corte Federal de los EE.UU., en

1983. En ese momento, xDSL estaba diseñada para suministrar vídeo bajo demanda y aplicaciones de televisión interactiva sobre el par de cobre.

En el año 1989 se desarrolló la tecnología conocida como ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*, Línea de Abonado Digital Asimétrica). Este tipo de tecnología se encuentra dentro de la familia DSL de la también hacen parte SDSL (*Symmetric DSL*), R-ADSL (*Rate Adaptive DSL*), VDSL (*Very-High-Bit-Rate DSL*) y HDSL (*Hight Bit-Rate DSL*).

Cuando se realizó en Estados Unidos la reforma de la regulación del sector de las telecomunicaciones (*Telecommunications Reform Act*), en 1996, las compañías telefónicas, los ISP (*Internet Service Provider*), las compañías de satélites y cable y las multimedia de radio y televisión quedaron habilitadas para competir cada una en el mercado del otro. Fue entonces que las telefónicas y los ISP's comenzaron a ofrecer ADSL como una alternativa de rápido acceso que compita con el cable modem y otras tecnologías de acceso.

La historia de DSL realmente empezó a tener éxito en 1999, como resultado de la convergencia de varios eventos, así como que las compañías del teléfono han visto la competencia creciente del cable módem representa los ha empujado a proporcionar los servicios debido a que se encontraban en posición ideal para ofrecer los servicios DSL porque ellos poseían el alambre de cobre sobre el que DSL opera.

Hasta ahora, DSL se ha limitado a los clientes potenciales que viven dentro de una distancia relativamente corta de las centrales telefónicas y especialmente a redes corporativas. De igual forma las compañías telefónicas no conocen ampliamente los servicios que pueden ofrecer con DSL, por estar en desarrollo de nuevos productos con lo cual no hacen las suficientes estrategias de marketing, y los consumidores prefieren escoger el servicio de cable-módem por encima de DSL simplemente porque ellos no comprenden que tienen una nueva y mejor opción.

**1.1.1 Crecimiento del mercado.** Los servicios basados en xDSL se están posicionando como una solución para el acceso de banda amplia a datos tanto en los mercados comerciales como residenciales. Aunque la capacidad para acomodar simultáneamente voz y datos es uno de los principales beneficios de xDSL, también resulta atractiva porque aprovecha la infraestructura actual de telecomunicaciones. Con más de 700 millones de líneas telefónicas en el mundo, xDSL puede ofrecer a los proveedores de servicio una oportunidad de suministrar paquetes que incluyan ambos, voz y datos, sin necesidad de enfrentarse a un proceso costoso y largo de actualización de infraestructura.

Otro impulso para la integración de las redes de alta velocidad para voz y datos se manifiesta en muchas de las aplicaciones y tendencias del mercado. Es obvio que la Internet por sí misma es un impulso para el consumo de amplitud de banda en

los sectores comercial y residencial, pero también es importante examinar los tipos de aplicaciones soportadas por la Internet.

Las compras en línea y el comercio electrónico por sí mismos son un mercado en crecimiento que requiere mayor rendimiento de datos que el que pueden proporcionar los sistemas tradicionales.

Un mercado asociado está en el área del esparcimiento. Los juegos interactivos, el video por demanda y el alquiler de CD-ROM, son todos mercados potenciales habilitados por las velocidades de megabits múltiples de xDSL.

Un cambio importante de paradigma que permite xDSL es la conectividad en tiempo completo. Aunque la mayoría de los clientes y empresas han experimentado acceso temporal por marcado telefónico a estas redes de datos, xDSL permite conexiones permanentes todo el día. La computadora puede estar siempre disponible para aplicaciones productivas en tiempo real, tal como la recepción nocturna automática de noticias, actualización automática de nuevas versiones de software, o bien, utilizar la computadora como teléfono / videófono para llamadas telefónicas vía Internet. Ya que la computadora está "siempre allí", estos escenarios son posibles.

Es más probable que el mercado inicial de servicios de xDSL serán los clientes comerciales y no residenciales. Hoy, la conectividad de datos es imprescindible e

incluso las oficinas más remotas deben tener acceso a instalaciones centrales a velocidades similares a las de una red LAN, si es posible. xDSL combina la conectividad de voz y datos en un paquete que es ideal para el mercado emergente de oficinas pequeñas y oficinas en el hogar.

Un estudio reciente de Strategy Analytics predice que el crecimiento de DSL en Europa pasará del 3.3% actual al 24.2% en el año 2005. Mientras, la popularidad de ISDN, la tecnología preferida durante largo tiempo para los servicios de banda ancha, está declinando en toda Europa.

"El drástico crecimiento de DSL en toda Europa subraya la necesidad de ofrecer y activar rápidamente los servicios, porque serán muchos los clientes que no quieran esperar" <sup>1</sup>.

Un reciente estudio de la consultora estadounidense *Yankee Group* revela que la penetración del acceso a Internet de banda ancha mediante DSL crecerá un 60% en América Latina durante el año 2003. Según *Yankee Group*, a finales de 2003 se contabilizarán cerca de 1,2 millones de abonados en la región, los cuales generarán ganancias a los operadores de telecomunicaciones por \$500 millones.

---

<sup>1</sup> John Goehrke, director general de Acterna para redes de acceso.

Brasil, líder actual en suscripciones DSL, disminuiría para este año su ritmo de crecimiento debido, precisamente, a su alta cobertura y se espera que llegue a un 61% de los abonados a final de año.

## **1.2 REDES DE ACCESO Y REDES DE BANDA ANCHA**

El par de cobre, que ha sido desplegado desde finales del siglo XIX para el transporte de la voz, ha incrementado su valor como recurso para transmitir los nuevos servicios de banda ancha, gracias a los desarrollos en el procesamiento digital de la señal y la integración de circuitos.

Desde el comienzo de la telefonía se ha utilizado la capacidad de transmisión del par de cobre al máximo permitido por la tecnología disponible, comenzando con los sistemas de multiplexación por división de frecuencia y, a partir de los 60, con técnicas de multiplexación digital (Modulación por Impulsos Codificados, MIC), que permitieron el despliegue de sistemas de multiplicación de pares, es decir, transportar varias conversaciones telefónicas sobre el mismo par físico simultáneamente. Todos estos sistemas utilizaban básicamente recursos de explotación eficiente de la planta de telecomunicaciones, pero el usuario final seguía disfrutando del servicio básico de telefonía.

Hoy en día con el desarrollo de la tecnología se constituyen las denominadas redes de banda ancha, cuyo embrión lo constituyeron las redes cable pero que, actualmente, coexisten con otras tecnologías que permiten un gran ancho de banda, tal como lo hace con DSL.

Viendo que una red es un conjunto de recursos interconectados entre sí que, gestionados de algún modo, interaccionan para satisfacer las necesidades de los usuarios que la utilizan; indicamos que el concepto de banda ancha es mucho más extenso que el de todo aquel medio físico que soporta más de un canal de voz. Los tiempos actuales exigen un concepto de banda ancha mucho más amplio, en el cual se ponga de manifiesto la importancia de ser transparente al usuario, pues éste debe poder acceder a los servicios que tiene asignados sin problemas a través de esa red de banda ancha. La integración debe ser entendida bajo varios puntos de vista: Integración como la variedad de servicios soportados sobre un medio de transporte digital común de las subredes en una infraestructura de información global que podemos denominar red universal, siendo Internet una buena aproximación a este concepto.

**1.2.1 Niveles de las redes de telecomunicaciones.** En una red de telecomunicaciones se pueden distinguir cuatro niveles funcionales:

1.2.1.1 **Proveedores de servicios:** involucra a los encargados de generar los contenidos multimedia, que pueden ser transmitidos en tiempo real (servicios de distribución) o almacenados en grandes bases de datos multimedia, y entregarlos al sistema de transporte, siendo esta la distinción entre los proveedores de contenido y los proveedores de servicio.

1.2.1.2 **Sistema de transporte:** dentro del sistema de transporte de la red, se pueden englobar todos los elementos encargados de llevar los contenidos multimedia hasta el usuario y atender las peticiones de éste por el canal de retorno. Sin embargo, es conveniente estructurar más la red.

1.2.1.3 **Red troncal de transporte:** se encarga de hacer posible que la red alcance cualquier extensión geográfica. Las redes de transporte (*backbone*) constituyen el sistema nervioso central de una red de telecomunicaciones. Su capacidad dependerá de la capacidad de comunicaciones que se quiera ofrecer mediante el sistema de acceso que se elija. Por otra parte, una misma red de transporte puede terminar en diferentes redes de acceso dependiendo de los servicios y los tipos de usuario.

1.2.1.4 **Red de distribución:** a través de la red de distribución deben llevarse a cabo las tareas de transmisión de datos y conmutación, teniendo como misión principal multiplexar la información proveniente de diferentes proveedores de

servicios o distintos usuarios y adaptar el sistema de transporte a las características específicas del lazo de abonado.

**1.2.2 Clasificación de las redes de acceso.** A la Red de Acceso también se le llama último kilómetro, la infraestructura de acceso representa la última parte de la red de comunicación; distancias de entre 100 metros y unos pocos kilómetros entre el último nodo de conexión o de distribución y el abonado. Para bajas velocidades la solución más difundida es mediante módems y líneas telefónicas. También se utilizan diferentes tecnologías inalámbricas, sea redes ad-hoc o basadas en telefonía celular.

Al momento de estudiar las diferentes redes de acceso, estas se clasifican en tres grupos:

- ✓ Las redes de acceso vía cobre: entre las que destacan las tecnologías xDSL.
- ✓ Las redes de acceso vía radio: tales como MMDS y LMDS.
- ✓ Las redes de acceso vía fibra óptica: las redes HFC, las redes PON, las redes SDV y las redes HFR.

1.2.2.1 **Redes de acceso vía cobre.** Durante años se ha especulado sobre las limitaciones de las redes telefónicas y, en particular, si se podría superar los 14,4 kbit/s primero, y los 28,8 kbit/s después, utilizando pares de cobre. ISDN dio un

importante paso al proporcionar 192 kbit/s en su acceso básico. Y es que potenciales alternativas al lazo de abonado como las redes de cable o los sistemas inalámbricos de tercera generación, pasan por la instalación de nuevos medios de transmisión de fibra en el primer caso y de notables infraestructuras de antenas y estaciones base en el segundo, ambas empresas muy costosas y nunca exentas de dificultades.

Dos acontecimientos importantes han impulsado a las tradicionales compañías operadoras telefónicas a investigar una tecnología que permitiera el acceso al servicio de banda ancha sobre sus tradicionales pares trenzados de cobre: las nuevas aplicaciones multimedia y el acceso rápido a contenidos de Internet, siguiendo básicamente los siguientes delineamientos generales:

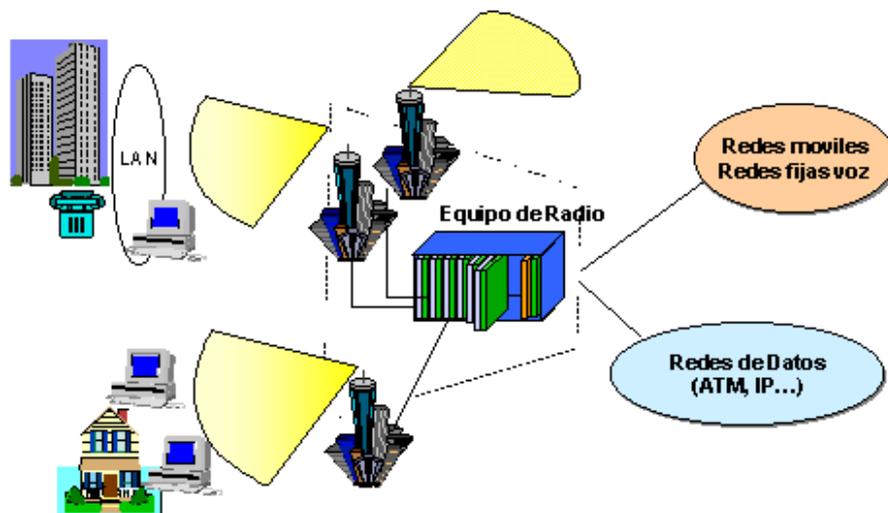
- ✓ Conseguir el máximo aprovechamiento de los lazos locales analógicos, diseñado para comunicaciones vocales de hasta 4KHz de ancho de banda. (300 a 3400 Hz)
- ✓ Incluir algún tipo de compatibilidad con los equipos vocales existentes (teléfonos analógicos). Con la ayuda de equipos de acceso tipo módem o terminal RDSI se pueden alcanzar los 56Kbps (V.90) ó 128Kbps (2B).

1.2.2.2 **Redes de acceso vía radio.** Los sistemas vía radio presentan una alternativa clara a las redes de cable para la difusión de múltiples canales de televisión y otros servicios multimedia, ya que soportan interactividad a través de los canales de retorno.

La ventaja clara de este tipo de sistemas es la reducción de los costes de infraestructura, además del pequeño margen de tiempo necesario para su funcionamiento, puesto que en el momento en que se dispone de la antena, se llega inmediatamente a miles de usuarios.

La figura 1 muestra los sistemas que se presentan y desarrollan en la actualidad para el acceso a los servicios de banda ancha vía radio. Fundamentalmente son el MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution System*) y el LMDS (*Local Multipoint Distribution System*).

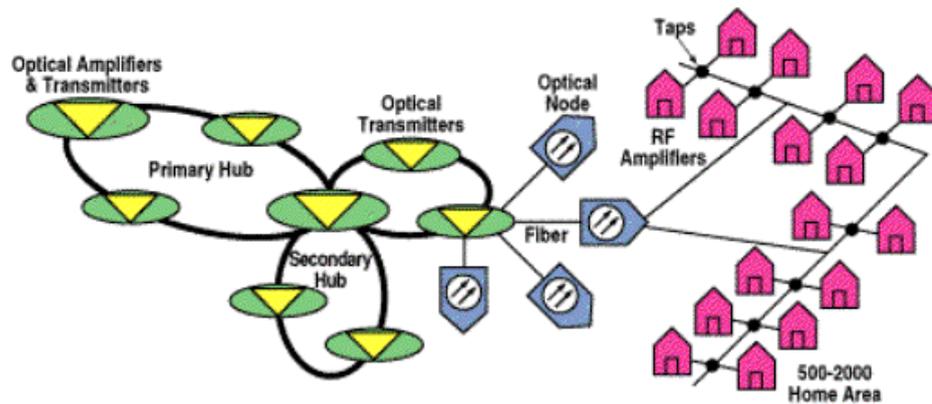
**Figura 1. Sistema de Acceso vía radio**



**1.2.2.3 Redes de acceso vía fibra óptica.** La introducción de la fibra óptica en el nodo de acceso tal y como se muestra en la figura 2 va a permitir el disponer de

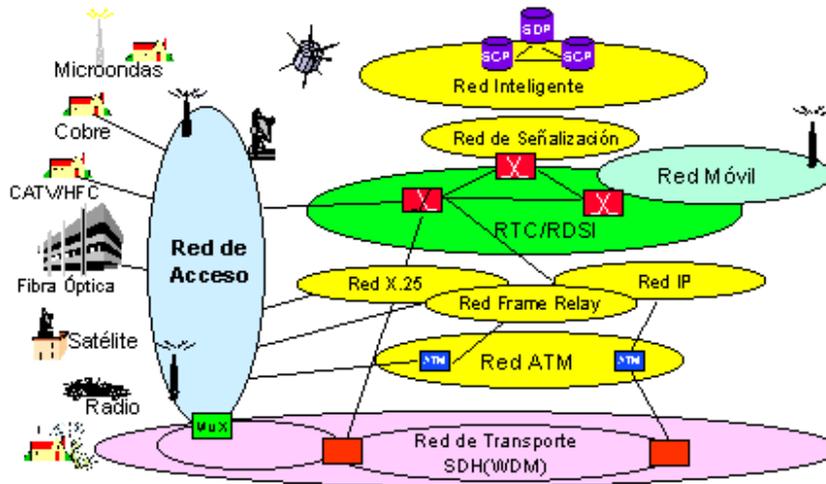
un medio de transmisión de gran ancho de banda para el soporte de servicios de banda ancha, tanto actual como futuro.

**Figura 2. Redes de acceso vía fibra óptica**



**1.2.3 Red completa de telecomunicaciones.** En particular, la red debe ser capaz de gestionar el establecimiento y liberación de las conexiones de banda ancha con los lazos de abonado, además de transportar la información con diferentes tipos de requerimientos en cuestiones de ancho de banda.

Figura 3. Integración de tecnologías de banda ancha.



El transporte digital es bidireccional y se realiza mediante tecnologías de alta velocidad síncronas, como SDH (*Synchronous Digital Hierachy*) tal como se muestra en la figura 3. Las interfaces de usuario son los elementos finales de la red en el entorno de abonado que adaptan las señales a interfaces normalizadas de uso extendido. Se puede decir que la interfaz de usuario es la encargada de codificar y decodificar la información proveniente de usuario (PC, línea telefónica, ISDN,...) o de la parte de la red o lazo de abonado, como son los distintos contenidos multimedia. También realiza funciones de gestión, mantenimiento, señalización y tasación.

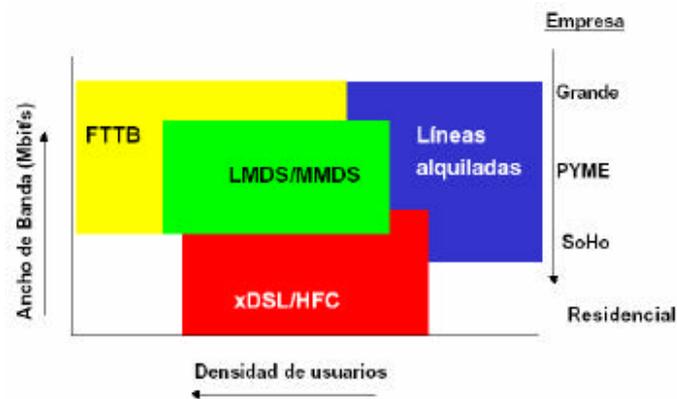
Las diferencias entre las redes de acceso existirán, al menos, durante un largo período en el que las tecnologías y las estrategias de negocio irán siendo

probadas por el propio mercado. De esta forma, los dispositivos de interfaz jugarán un papel fundamental en el permitir que una gran variedad de equipos terminales se conecten a diferentes tipos de redes de acceso.

Además, los servicios que demanda cada tipo de cliente son bastante diferentes, como lo son también los requisitos que imponen a las redes de soporte. Fundamentalmente, los usuarios residenciales van a enfocarse más a servicios relacionados con el ocio (televisión y juegos de todo tipo) y la gestión doméstica (teléfono, telecompra, etc.), que no van a requerir de la red cantidades de información en el sentido usuario / red. En cambio, las empresas y organizaciones de todo tipo precisarán de servicios multimedia para la transmisión bidireccional de toda clase de información. Las exigencias que estas necesidades impondrán a las redes van a ser muy superiores a las que planteen los usuarios residenciales. En la figura 4 se muestra como los sistemas de banda ancha se posicionan dependiendo del tipo de usuario.

Conviene dejar claramente sentado que lo que el usuario quiere es utilizar los servicios de telecomunicaciones que satisfagan sus necesidades de comunicación, ocio, etc. El usuario es quien, al final, va pagar todas las facturas con las que se van a nutrir las cuentas de resultados de las empresas que operen en el sector. No hay que olvidar que los usuarios son, en la totalidad de los casos, absolutamente indiferentes a la tecnología o la infraestructura que se está empleando para facilitarle el servicio.

**Figura 4. Posicionamiento de los sistemas de banda ancha.**



### 1.3 EL MEDIO DE TRANSMISIÓN DSL

El factor común de todas las tecnologías DSL es que funcionan sobre par trenzado y usan la modulación para alcanzar elevadas velocidades de transmisión, aunque cada una de ellas con sus propias características de distancia operativa y configuración. A pesar que entre ellas pueden existir solapamientos funcionales, todo parece indicar que su coexistencia está asegurada, lo cual obligará a los proveedores de estos servicios a decantarse por una u otra según el tipo de aplicación que se decidan a ofrecer.

Los lazos de abonado, que conectan al cliente con la oficina central (CO), fueron desarrollados e implementados para la transmisión de voz, y han sido descritos

por muchos autores <sup>2</sup>. Tal vez estas referencias son un poco antiguas, pero los lazos de abonados también lo son y no ha cambiado mucho en los últimos veinte años.

Las velocidades de datos en los pares de cobre, dependen de diversos factores, tales como:

- Longitud de la línea de Cobre.
- El calibre/diámetro del hilo (especificación AWG/mms).
- *Crosstalk* (Diafonía)
- La presencia de *Bridge taps* (derivaciones sin terminar).

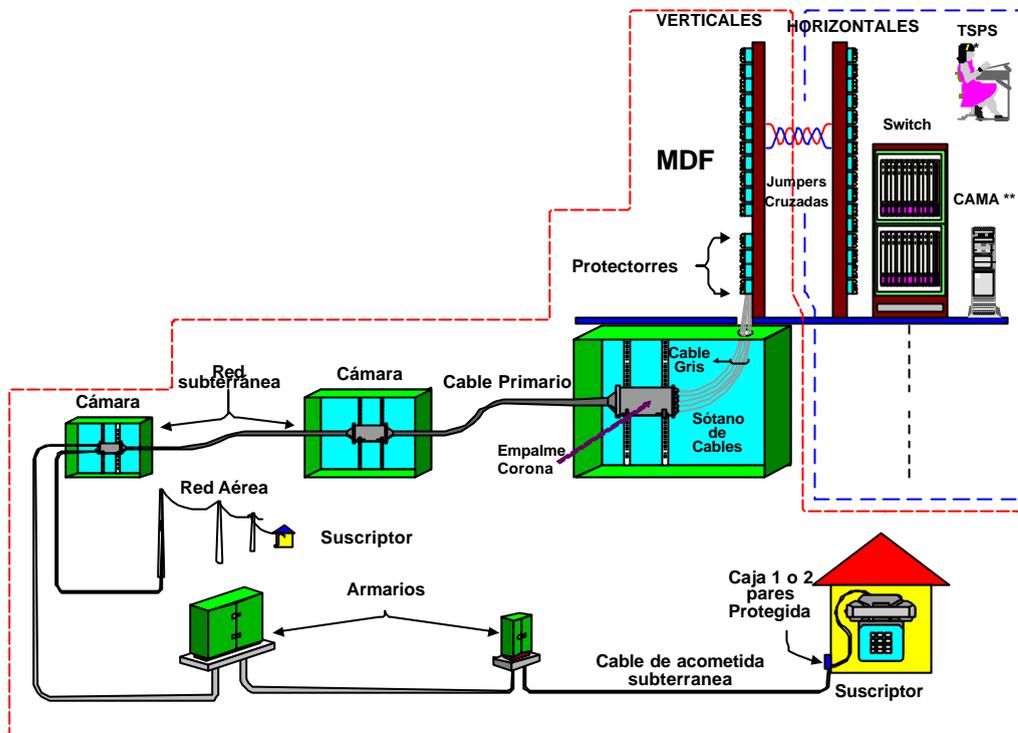
**1.3.1 Descripción y longitud del lazo.** Cada lazo de abonado consiste en un par de cables de cobre aislados con un diámetro desde 26 AWG hasta 19 AWG (aproximadamente 0.4 a 0.91 mm). El dieléctrico aislante es en su mayoría de propileno, pero aun existen algunos pares con papel aislante. Una arquitectura típica del lazo se muestra en la figura 5,

Los pares de cobre se despliegan desde la oficina central a través de un distribuidor principal o MDF. Por medio de un bastidor de muflas se agrupan los pares para formar un cable el cual puede contener desde 10 hasta 2.400 pares

---

<sup>2</sup> [Gresh, 1969; Manhire, 1978; Freeman, 1981; AT&T, 1982]

Figura 5. Arquitectura de la red telefónica.



Cuando los abonados se encuentran ubicados a una distancia menor de 500 metros de la central telefónica, se les da servicio a los abonados con cables que salen directamente de la central; a esta red se le denomina **red directa**.

Para darle servicio a los abonados que se encuentran ubicados a una distancia mayor de 500 metros de la Central Telefónica, se utilizan otros elementos de distribución, llamados Armarios De Distribución.

A las redes telefónicas del área de influencia de un armario, se le denomina Distrito

**1.3.2 Balance.** Todas las señales en el lazo del abonado son transportadas en modo diferencial <sup>3</sup>, con el cual, la corriente en un alambre es balanceado con otra corriente igual pero opuesta en el otro alambre. Cada esfuerzo se hace (tanto en la elaboración del cable como en el diseño del equipo terminal) para minimizar los componentes del modo común<sup>4</sup>. Los transmisores deben ser capaces de lograr una razón de modo diferencial / modo común de por lo menos 55dB a través de la banda usada, pero debido al no balanceo de dos alambres de ningún par a tierra (representado principalmente por los otros pares), existe algo de conversión de modo diferencial a modo común en el cable. Para Cat-3, la razón de salida es cerca de 50dB por debajo de 100 kHz y cae a 35dB a 100 MHz.

**1.3.3 Resistencia del Lazo.** El primer parámetro que controla la capacidad del equipo del CO, para llevar a cabo la señalización y diagnosticar mantenimiento, es la resistencia dc del lazo medida entre los dos alambre en el CO, con los alambre en corto en el lugar del abonado. En Colombia, la resistencia del lazo esta limitada a 1200  $\Omega$ .

**1.3.4 Crosstalk (Diafonía).** El crosstalk entre pares en un cable multipar es el principal limitador de la capacidad en las comunicaciones DSL. La causa del

---

<sup>3</sup> Originalmente, la corriente en modo diferencial fue llamada *corriente de circuito metálico* para distinguirla de la corriente en modo común, la cual usaba retorno a tierra.

<sup>4</sup> Originalmente llamado modo longitudinal.

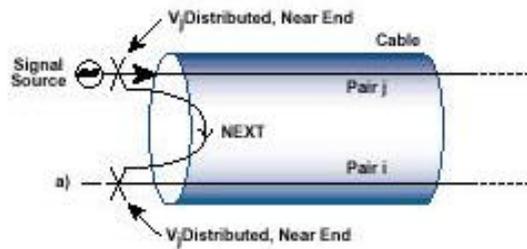
crosstalk es el acople capacitivo e inductivo entre los hilos dentro de un mismo cable multipar. Aunque este efecto es conocido a frecuencias vocales y de ahí el que los pares del lazo de abonado sean trenzados en la mayor parte de su recorrido, a las altas frecuencias de los sistemas DSL adquiere nueva relevancia (el paso del trenzado para audio no es el idóneo para estas frecuencias). Si un par es considerado el que interfiere en otro, los voltajes y corrientes inducidas en los otros pares viajan en ambas direcciones; aquellas que continúan en la misma dirección de la señal interferida se suman para formar far-end crosstalk (FEXT); aquellas que regresan hacia la fuente de la señal que interfiere se suman para formar near-end crosstalk (NEXT). Lo anterior se muestra en la figura 6, donde el grosor de las líneas que muestran el crosstalk es una clara indicación de los niveles relativos de las señales involucradas. Si tanto NEXT como FEXT ocurren en una línea DSL, el NEXT será en general mucho mas severo. NEXT se incrementa con la frecuencia, y a frecuencias VDSL (hasta 15 MHz) se volverá intolerable; por los tanto, los sistemas VDSL son diseñados para evitarlo totalmente.

**Figura 6. Niveles del FEXT y NEXT en las líneas del abonado.**



1.3.4.1 **NEXT (Near-End-Crosstalk)**: Es la interferencia que aparece en otro par al mismo extremo que la fuente de interferencia.

Figura 7. **NEXT**

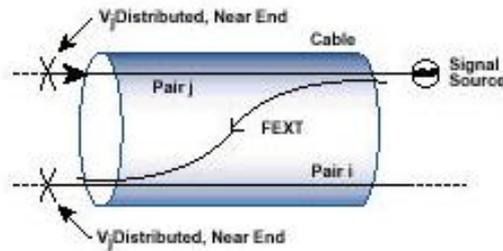


El nivel de interferencia es bastante independiente de la longitud del cable. Afecta a aquellos sistemas que transmiten a la vez en los dos sentidos (sistemas con cancelación de eco).

La solución es separar los dos sentidos de transmisión en tiempo o en frecuencia.

1.3.4.2 **FEXT (Far-end crosstalk)** Es la interferencia que aparece en otro par al extremo opuesto del cable de donde esta la fuente de interferencia. Esta señal está, como mínimo, tanto como la señal útil y las dos han viajado la misma distancia.

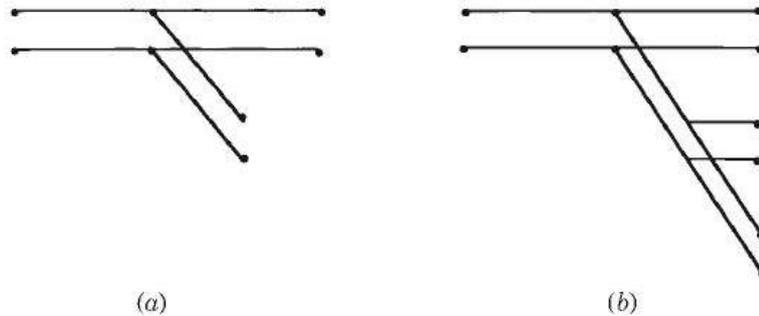
**Figura 8. FEXT**



**1.3.5 Bridge Taps.** Son tramos de circuito abierto de UTP que están conectados a través del par en consideración. Pueden ser el resultado de diferentes instalaciones, mantenimiento, y usos de cableado casero.

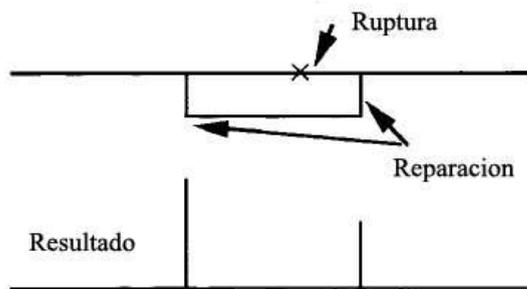
1.3.5.1 **Líneas compartidas.** En los comienzos de la telefonía, era común para varios abonados compartir el mismo par. Entonces cuando se instalaron mas cables y la privacidad se convirtió mas económica, las ramificaciones a otros lugares fueron simplemente desconectados, dejando una gran cantidad de pares (terminaciones en circuito abierto) conectados al lazo usado. Una configuración simple (a) se muestra en la figura 9, al igual que una mas complicada pero menos común (b).

**Figura 9. Diferentes modelos de *Bridge Taps***



1.3.5.2 **Reparaciones.** Si un par se parte dentro del cable, el reparador (técnico) puede unir otro par sin desconectar las secciones partidas. Esto se puede observar en la figura 10, donde se muestra que se dejan dos bridge taps conectados al lazo en uso.

**Figura 10. Reparaciones en la línea.**



1.3.5.3 **Capacidad extra.** Para permitir brindar servicios futuros a cualquiera de los muchos abonados potenciales, es común unir un par en un alimentador de cables a un par en cada uno de varios cables de distribución. El par o los pares sin usar forman un (unos) *bridge tap(s)*.

1.3.5.4 **Múltiples teléfonos dentro del lugar del abonado.** La configuración más común de cableado dentro de las casas es de árbol, con su base en la entrada de servicio. Todas las ramificaciones que están, ya sea que terminen o no en un teléfono de horquilla, constituyen pequeños *bridge taps* que pueden ser insignificantes a frecuencias de VDSL.

El problema básico es que la línea con *Bridge Taps*, queda sin adaptar y que se pueden producir reflexiones que interfieran el correcto funcionamiento de la red, problema que debe solucionarse adaptando correctamente todas las terminaciones.

## 1.4 LIMITACIONES EN LOS SISTEMAS DSL

Dentro del medio de transmisión de DSL, existen factores que impiden que la transmisión de datos se realice correctamente. Se hace necesario estudiar dichos factores con el fin de tenerlos en cuenta al momento de poner a funcionar el sistema DSL.

**1.4.1 Ruido de fondo.** Estudios realizados por diferentes compañías durante el proceso de estandarización concluyeron que el ruido de fondo, en el caso peor, puede modelarse como un ruido blanco gaussiano aditivo, que tenga un nivel de potencia de  $-140$  dBm/Hz.

**1.4.2 Ruido impulsivo.** Son ráfagas de gran amplitud de ruido, con duración variable desde unos pocos a cientos de microsegundos y procedentes de diversas fuentes, como son los impulsos de disco, corriente de llamada, cambios de polaridad en la línea, rayos, etc.

**1.4.3 Interferencias de emisiones de radio.** Aunque el par trenzado telefónico es teóricamente un sistema de transmisión equilibrado, este equilibrio decrece con la frecuencia. Además, la planta externa tiene recorridos en el espacio abierto (fachadas, interior de las casas, zonas rurales en postes), incluso partes de este recorrido se realizan con pares paralelos en vez de trenzados. Todo esto hace que estas partes de la planta se conviertan en antenas captadoras de las emisiones de radio, tanto en onda larga, como media o corta, especialmente las emisiones de radioaficionados.

**1.4.4 Coexistencia con el servicio telefónico.** Además de los efectos antes mencionados anteriormente, una línea telefónica presenta cambios de impedancia dependiendo del estado de colgado o descolgado del aparato telefónico.

Para dar respuesta a estos retos impuestos por el ambiente hostil que supone el par de cobre del lazo de abonado, se han conjugado una serie de técnicas que intervienen en el diseño de un módem DSL. Mas adelante, durante el desarrollo de esta monografía nos centraremos en las técnicas empleadas en los sistemas ADSL y VDSL, ya que éstas son las más utilizadas por el mayor ancho de banda disponible y su coexistencia espectral con el servicio de telefonía básica (POTS).

El principal reto consiste en superar las condiciones de atenuación y altos niveles de ruidos e interferencias existentes en el lazo. El límite teórico viene dado por la fórmula de *Shannon-Hartley* de la capacidad de un canal, sin considerar la interferencia entre símbolos:

$$\text{Capacidad( bps)} = W \cdot \log_2(1 + \text{SNR}) \approx \frac{W}{3} \cdot \text{SNR}_{dB} \quad (1)$$

Siendo  $W$  el ancho de banda del canal y  $\text{SNR}$  la relación señal/ruido en decibeles.

Esta fórmula se convierte para un canal dependiente de la frecuencia:

$$\text{Capacidad(bps)} = \frac{1}{3} \cdot \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \text{SNR}_{dB}(f) \cdot df \quad (2)$$

**1.4.5 Problemas prácticos del despliegue de DSL.** Los principales problemas que encontramos al tratar de implementar DSL son

1.4.5.1 **Interoperabilidad** Un problema previo a cualquier despliegue es el de asegurar la compatibilidad entre los módems a ambos lados de la conexión DSL. Aunque los esfuerzos de estandarización han sido y siguen siendo ingentes, los sistemas son lo suficientemente complejos para que la compatibilidad siga siendo un tema de preocupación. En la actualidad, existen laboratorios independientes que prueban y certifican la compatibilidad entre equipos de distintos proveedores y que publican las listas de proveedores compatibles.

1.4.5.2 **Caracterización de los lazos.** Aunque, según hemos visto, las técnicas DSL han sido diseñadas para cubrir el mayor porcentaje posible de los lazos existentes, antes de incurrir en los costos de la instalación propiamente dicho, es necesario conocer las características del lazo del abonado solicitante del servicio, para determinar el grado de prestaciones que este lazo puede soportar. Idealmente, esta caracterización debe hacerse sin requerir desplazamientos de técnicos a los locales del abonado.

1.4.5.3 **Segmentación de la oferta comercial.** Particularmente en los sistemas ADSL y VDSL, que ofrecen velocidades variables de transmisión en función de las condiciones del lazo, existe el problema crucial de tarificar. Las posibles limitaciones en las garantías de velocidades, no sólo provienen del lazo en sí, sino del grado de saturación en el multiplexador, la red ATM, el Proveedor de Servicio, etc. Por todo ello, los operadores ofrecen un número limitado de categorías, con servicios a distintas velocidades, límites garantizados muy por debajo de los límites teóricos de las tecnologías y tarifas planas.

1.4.5.4 **Los problemas de la instalación.** La instalación ideal de los sistemas DSL es “*plug-and-play*”; el usuario va a su tienda preferida, compra el módem y, mediante una llamada a su operador, se suscribe al servicio del que dispone prácticamente de forma inmediata, ya que el operador puede suministrarlo de forma automática. La instalación de una línea ADSL/VDSL puede resultar problemática si el fabricante no proporciona un sistema con filtros distribuidos. Si el filtro necesario para dividir las frecuencias, de voz por un lado y de datos por otro es centralizado, debe situarse en la entrada del hilo de cobre a la vivienda, siendo necesario el tendido de una nueva línea dentro de la casa para la conexión del módem ADSL. Por el contrario, los filtros distribuidos como los que suministran algunas empresas se insertan directamente entre la roseta de conexión y cada teléfono o fax, filtrando las frecuencias de datos, por lo que se puede decir que respetan la estructura de cableado que tenga el usuario, evitando tendidos adicionales y permitiendo movilidad del punto de conexión ADSL dentro de la red

de telefonía del abonado, pues el propio módem ADSL filtra las frecuencias de telefonía.

1.4.5.5 **Abonados en unidades remotas, sub-lazos.** En la actualidad, dependiendo de la zona geográfica, podemos afirmar que un 20% de los abonados se conectan directamente a concentradores de abonados remotos. Estos concentradores están desatendidos y, en ocasiones, en armarios a la intemperie. La ubicación de equipos de multiplexación de banda ancha en estas localizaciones suele ser extremadamente problemática; falta de espacio, insuficiente suministro de energía, disipación, etc. Esto hace que hoy día los abonados que son atendidos desde estos concentradores normalmente no puedan disponer del servicio DSL. Las plataformas de acceso multiservicio son una solución muy efectiva en costo para este tipo de situaciones, al mismo tiempo que preparan la red de acceso para evoluciones futuras.

## 1.5 PRUEBAS EN xDSL

Las pruebas que en el momento se están haciendo para caracterizar un par de cobre y evaluar su aplicabilidad a xDSL son muy pobres, no solo en los países de

América Latina. Un test común es prueba y error, es decir, se conecta el modem y se verifica si funciona o no. Si no, entonces hay que seleccionar otro par de cobre. Algunos van más allá y utilizan un multímetro para medir la resistencia de la línea, continuidad y el voltaje inducido, antes de conectar el modem. Pero, en muy pocos lugares están siendo realizadas las pruebas necesarias para calificar el par, debido a los elevados costos de los instrumentos necesarios y la falta de personal calificado para la operación de estos instrumentos. Un problema con los sistemas de prueba y error, es que la mayoría de los sistemas xDSL tienen la capacidad de ajustarse a las condiciones de la línea, para transmitir a la mayor velocidad posible. Es decir, en la mayoría de los casos van a funcionar, pero no sabríamos a qué velocidad, cuál es la confiabilidad del sistema y si será esa una línea marginal que presentará problemas en tiempos de lluvia. La calidad del servicio que se le presta al cliente depende, en gran parte, de la velocidad efectiva del enlace instalado.

Con el fin de maximizar la calidad del enlace xDSL, es necesario que se midan las características físicas del par de cobre y evaluar su aplicabilidad al xDSL específico. Algunos de los parámetros importantes se mencionan a continuación:

- ✓ Continuidad, Impedancia (resistencia del lazo, aislamiento y capacitancia).
- ✓ Balance longitudinal de impedancias. Desequilibrio resistivo (normalmente 2% de resistencia del lazo)
- ✓ Pérdida de retorno, pérdidas por inserción.

- ✓ NEXT (Near End CrossTalk).
- ✓ Longitud del cable, detección de empalmes, bobinas de carga y presencia de agua.
- ✓ Atenuación a 40, 120 ó 150 kHz@135 Ohms, dependiendo de la aplicación.
- ✓ Voltaje AC y DC inducido en la línea.
- ✓ Corriente AC y DC en la línea.
- ✓ Ruido de fondo, ruido impulsivo, relación señal a ruido, según la aplicación.
- ✓ Medición de la velocidad máxima de transmisión del xDSL.
- ✓ Medición de la tasa de error (*BERT*) del xDSL.

Hay que conocer cual es el impacto que cada uno de estos parámetros tiene en el desempeño del xDSL. Es importante que al momento de seleccionar las herramientas para pruebas de xDSL, se consideren aquellas que cubran la mayor cantidad de parámetros importantes. Se debe tener en cuenta que en la medida en que aumente la velocidad de transmisión de los sistemas DSL, más crítica será la influencia de parámetros como la capacitancia y el *NEXT*.

Es difícil entender el porque es tan común el hacer mediciones de parámetro físicos en cables de planta interna y no en las instalaciones de planta externa. Por ejemplo, el caso de las instalaciones de cable Categoría 5 para LAN. Estas son instalaciones nuevas, en el interior de una edificación, bien protegidas, de corta distancia y no expuestas a los agentes externos; como agua, ácidos, corrosivos, altas temperaturas, etc... Hoy en día, nadie recibe una instalación de Categoría 5,

sin un test de certificación basado en la EIA/TIA 568. En planta externa sucede exactamente lo contrario, son instalaciones viejas, expuestas a los agentes externos y normalmente no se hacen las pruebas de caracterización necesarias para seleccionar el mejor par, para transmisión de datos. Con el agravante de que estas líneas no fueron diseñadas y/o instaladas para transmitir Megabits por segundo, sino la simple voz de 4 kHz.

El sentido común indica que las instalaciones de planta externa, utilizadas en transmisión de datos, deberían ser probadas más rigurosamente, con el fin de asegurar la calidad del servicio. El problema es que, para este tipo de pruebas, se necesitan muchos instrumentos diferentes y aun no existe una herramienta integrada, de bajo costo, para esta aplicación.

Es importante que los proveedores de servicio se sienten a estudiar, analizar y seleccionar los parámetros físicos que son relevantes y que afectan la calidad del servicio. Seleccionar las herramientas necesarias para realizar las pruebas de aceptación. Definir los procedimientos y márgenes aceptables para la medición de cada uno de los parámetros, dependiendo de la aplicación, velocidad de transmisión y modulación. Consultar con los fabricantes de instrumentos para conocer que nuevos instrumentos están disponibles en el mercado y cuales son sus beneficios.

La meta final es garantizar la calidad del servicio que se le ofrece al cliente, sin importar si hace frío o calor; si es tiempo seco, época de lluvias, de nieve o si se adiciona un nuevo DSL al grupo de cables.

## 1.6 TIPOS DE MODULACIÓN EN DSL

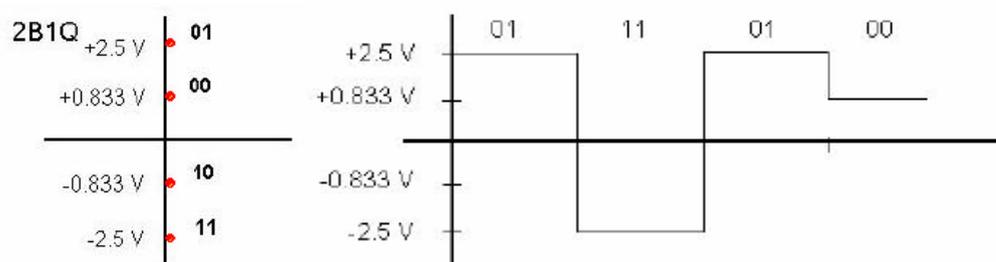
Al igual que ocurre con los módems tradicionales, es necesario realizar una transformación de la señal que se quiere enviar (y el proceso contrario en la que se recibe) para que pueda ser transmitida por medio de las líneas telefónicas convencionales. Este proceso, que se conoce como *modulación* de la señal, consiste en modificar una señal "tipo" que se genera dentro del dispositivo en función de la señal a enviar. La señal que se genera con el fin de ser modificada teniendo en cuenta la que se transmite se denomina *portadora*. Estas modificaciones se pueden hacer alterando alguna de sus propiedades.

Las tecnologías DSL usan varios tipos de modulación aunque están regularizándose por la Unión de la Telecomunicación Internacional. Los fabricantes de módem DSL, actualmente, usan la tecnología de *Discret Multitone* (DMT) o bien *Carrierless Amplitude and Phase* (CAP), aunque las primeras versiones usaron códigos de línea tales como 2B1Q. También se están

desarrollando variantes de los códigos existentes con el fin de aumentar el rendimiento.

**1.6.1 2B1Q.** Es una secuencia de dos bits que se transmite como un pulso de señal de cuatro niveles. 2B1Q es un tipo de codificación de línea, en la cual, pares de bits binarios son codificados de 1 a 4 niveles para la transmisión (por tanto 2 binarios/1 cuaternario). Cada nivel representa dos bits de datos. Si se quiere transmitir la secuencia 01110100 (“J” en ASCII) entonces obtendremos la señal como sigue en la figura 11. Es utilizada, exclusivamente, en la tecnología HDSL.

**Figura 11. Ejemplo de codificación 2B1Q.**



Una de las mayores ventajas de utilizar 2B1Q para codificación es que resulta fácil de entender e implementar y no se ve afectada por el NEXT. Sin embargo, este código no hace un uso tan eficiente del ancho de banda disponible como otras técnicas de codificación.

**1.6.2 CAP.** La modulación Carrierless Amplitude and Phase o modulación en fase y amplitud sin portadora (CAP) es un estándar de implementación propiedad de Globespan Semiconductor. Mientras el nombre especifica que la modulación es "carrierless" una portadora actual es impuesta por la banda trasmisora formando un filtro a través del cual los símbolos fuera de los límites son filtrados. Por eso CAP es algorítmicamente idéntico a QAM, Modulación por Cuadratura, (ver anexo A).

El receptor de QAM necesita una señal de entrada que tenga la misma relación entre espectro y fase que la señal transmitida. Las líneas telefónicas instaladas no garantizan esta calidad en la recepción, así pues, una implementación QAM para el uso de xDSL tiene que incluir ecualizadores adaptativos que puedan medir las características de la línea y compensar la distorsión introducida por el par trenzado.

CAP divide la señal modulada en segmentos que después almacena en memoria. La señal portadora se suprime, puesto que no aporta ninguna información, de allí la denominación de *carrierless*. La onda transmitida es la generada al pasar cada uno de estos segmentos por dos filtros digitales transversales con igual amplitud, pero con una diferencia de fase de  $\pi/2$  (cuadratura). En recepción se reensamblan los segmentos y la portadora, volviendo a obtener la señal modulada. De este

modo, obtenemos la misma forma del espectro que con QAM, siendo CAP más eficiente que QAM en implementaciones digitales.

La tasa ascendente es de 136 Kilo baudios sobre una portadora de 113.2 KHz, mientras que la tasa descendente es de 340 Kilo baudios sobre una portadora de 435.5 KHz, 680 Kilo baudios sobre una portadora de 631 KHz, o 952 Kilo baudios sobre una portadora de 787.5 KHz. Esto permite al modem adaptar la tasa de símbolos variando las condiciones de la línea (ver RADSL). La modulación QAM también adapta las tasas variando el número de bits por símbolos.

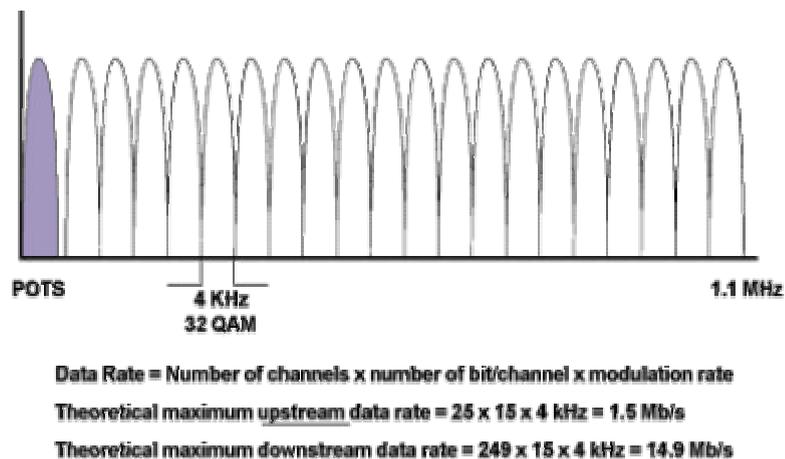
Una ventaja de CAP que afirma tener es unos picos de voltaje relativos por término medio más bajos que DMT (*Discrete Multitone*). Esto quiere decir que los emisores y receptores pueden operar a más bajo voltaje que DMT porque no requieren tener la capacidad de la señal de pico que es requerida en un circuito DMT.

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

**1.6.3 DMT.** Discrete MultiTone es una técnica de modulación que fue patentada (pero no implementada) por AT&T Bell Labs hace 20 años.

La modulación DMT es un método por medio del cual el rango de frecuencias usadas es separado en 256 bandas de frecuencias (canales o portadoras) de 4.3125 KHz cada uno.

**Figura 12. División del espectro en 256 subportadoras.**



Esto está relacionado con el algoritmo FFT (*Fast Fourier Transform*, Transformada rápida de Fourier) el cual usa DMT como modulador y demodulador. La Transformada Rápida de Fourier no es perfecta en la separación de frecuencias en bandas individuales, pero es suficiente, y esto genera un espectro suficientemente separable en el receptor. Dividiendo el espectro de frecuencias en múltiples canales DMT se considera que funciona mejor con la presencia de una fuente de interferencias tales como transmisores de radio AM. Con esto también

es capaz de transmitir voltajes sobre las porciones de los espectros, lo que es aprovechado para enviar datos.

La asignación de canales es menos flexible, pero los valores típicos están entre 6 a 31 canales ascendentes (*upstream*) (24KHz-136KHz) y de 32 a 250 descendentes (*downstream*) (136KHz-1.1MHz). La modulación usada sobre algunos canales de frecuencias dados es QAM. Los canales 16 y 64 son reservados para tonos guía los cuales son usados para restablecer la medida del tiempo. El número de bits por símbolo de cada canal debe ser independientemente seleccionado mediante el modem para adaptar la tasa.

Por medio de DMT, la línea se comprueba para determinar qué banda de frecuencias es posible y cuántos bits pueden ser transmitidos por unidad de ancho de banda. Los bits se codifican en el transmisor mediante la transformada rápida de Fourier inversa y después pasan a un conversor analógico/digital. Al recibirse la señal, ésta se procesa mediante una transformada rápida de Fourier para decodificar la trama de bits recibida. DMT puede operar con una velocidad fijada o en modo adaptativo; es decir, puede usar un valor constante de velocidad, o puede modificar dicho valor durante la operación, como respuesta a las características de la línea.

El uso de FFT es considerado como un tanto subestandarizado para otras transformaciones ortogonales tales como transformaciones de onda discretas para

mejorar el trabajo de aislar los espectros de frecuencias individuales. La FFT es elegida por su eficiencia computacional.

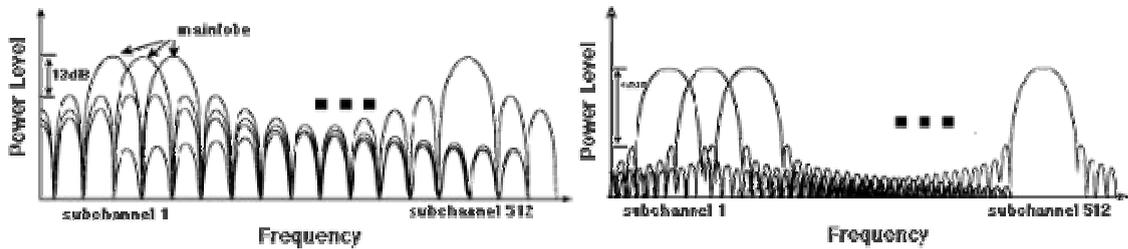
Los principales inconvenientes de esta modulación son:

- ✓ El uso de la transformada de Fourier que, al introducir armónicos adicionales que no transportan información, consumen potencia y ancho de banda innecesarios
- ✓ Su elevado costo
- ✓ Su gran complejidad

Tiene como ventaja el estar estandarizada por ANSI, ETSI e ITU. Mientras DMT marcha lentamente a iniciarse en el mercado, se espera que domine por dos razones: es mejor por razones técnicas y hay un estándar ANSI detrás de ella (sin mencionar el soporte de Intel/Microsoft).

**1.6.4 DWMT.** Existe una variante de DMT, denominada *DWMT (Discrete Wavelet Multi-Tone)* que es algo más compleja pero a cambio ofrece aún mayor rendimiento al crear mayor aislamiento entre los 256 subcanales.

Figura 13. Mejoramiento del espectro con DWMT.



Esta tecnología es similar al estándar basado en DMT. DWMT usa un avanzada transformación de onda digital en vez de la transformada de Fourier usada en OFDM y DMT.

Los subcanales de DWMT tienen lóbulos laterales (*sidelobes*) significativamente más bajos que los de DMT y más fielmente aproximados al ideal. La ideal subcanalización debería ser usada en los lóbulos principales (*mainlobes*) los cuales contienen el 100 % del voltaje del subcanal.

Los lóbulos laterales de DWMT son de 45 dB inferior al lóbulo principal, mientras que los lóbulos laterales de OFDM y DMT son sólo de 13 dB por encima, así pues el 99.997 % del voltaje de los subcanales de DWMT reside en el lóbulo principal mientras que en OFDM y DMT es el 91 %.

El espectro superior de DWMT da lugar a las siguientes ventajas:

- ✓ DWMT tiene menos solapamientos de transmisión que OFDM o DMT. No hay tiempos de seguridad entre los símbolos ni una costosa sincronización de tiempo
- ✓ DWMT es capaz de mantener niveles superiores de ruido a ADSL
- ✓ En arquitecturas HFC multipunto a punto DWMT activa el ancho de banda repartiéndolo a usuarios de forma independiente con un único canal de seguridad.

## **1.7 FAMILIA xDSL**

Existe un conjunto de tecnologías que hacen a la familia xDSL, cada una con una serie de características que la diferencia de las otras.

Las diferentes tecnologías se caracterizan por la relación entre la distancia alcanzada entre módems, velocidad y simetrías entre el tráfico de descendente (el que va desde la central hasta el usuario) y el ascendente (en sentido contrario).

Como consecuencia de estas características, cada tipo de módem DSL se adapta preferentemente a algún tipo de aplicaciones y el carácter asimétrico de algunas tecnologías xDSL se adapta perfectamente a Internet, ya que los usuarios de la

Red suelen recibir (velocidad descendente) más datos de los que envían (velocidad ascendente).

Algunas formas de xDSL son propiedad, otras son simplemente modelos teóricos y otras son usadas como estándar.

**1.7.1 HDSL (*High bit rate Digital Subscriber Line*).** La tecnología HDSL es simétrica y bidireccional, por lo que la velocidad desde la central al usuario y viceversa será la misma. Se implementa principalmente en las PBX. Esta es la tecnología más avanzada de todas, ya que se encuentra implementada en grandes fábricas donde existen grandes redes de datos y es necesario transportar información a muy alta velocidad de un punto a otro.

Puede utilizar dos opciones para codificación de línea; la modulación por amplitud de pulso 2B1Q y modulación *Carrierless Amplitude/Phase* (CAP). CAP es aplicable para 2.048 Mbits/s, mientras que para 2B1Q están definidas dos tramas diferentes.

Los primeros en aparecer fueron los módems HDSL, diseñados para ofrecer servicios a velocidades de hasta de 2,048 Mbit/s sobre 2 o 3 pares de cables en anchos de banda que varían entre 8 kHz y 240 kHz, según la técnica de

modulación utilizada de forma simétrica. HDSL original a 1,544 Mbps utilizaba 2 pares de cobre y se extendía hasta 4,5 Kilómetros. HDSL a 2,048 Mbps necesitaba 3 pares para la misma distancia (pero no más). Las últimas versiones del HDSL, conocidas como HDSL2, emplean sólo un par de hilos y se espera que se conviertan en un estándar para garantizar la compatibilidad entre equipos. Aplicaciones típicas para HDSL serían para la conexión de centrales PBX, las antenas situadas en las estaciones base de las redes telefónicas celulares, servidores de Internet, interconexión de LANs y redes privadas de datos.

**1.7.1.1 Ancho De Banda.** HDSL parte de una técnica de transmisión que amplía un ancho de banda estrecho como el del cobre para trabajar en el rango de los multimegabits. Esta tecnología implica en principio, transmitir en full dúplex por dos pares telefónicos una cantidad igual de tráfico de bits por medio de líneas privadas no condicionadas entre las cuales existen empresas como *Tellabs Inc* y *Pair Gain Technologies Inc.* que han desarrollado tecnologías, que en el caso de esta última han nombrado como *Cooper-Optics* que dan como resultado igualar calidad y confiabilidad de transmisión en el cobre, alcanzando valores de BER  $10E-10$ , tal y como con la Fibra óptica.

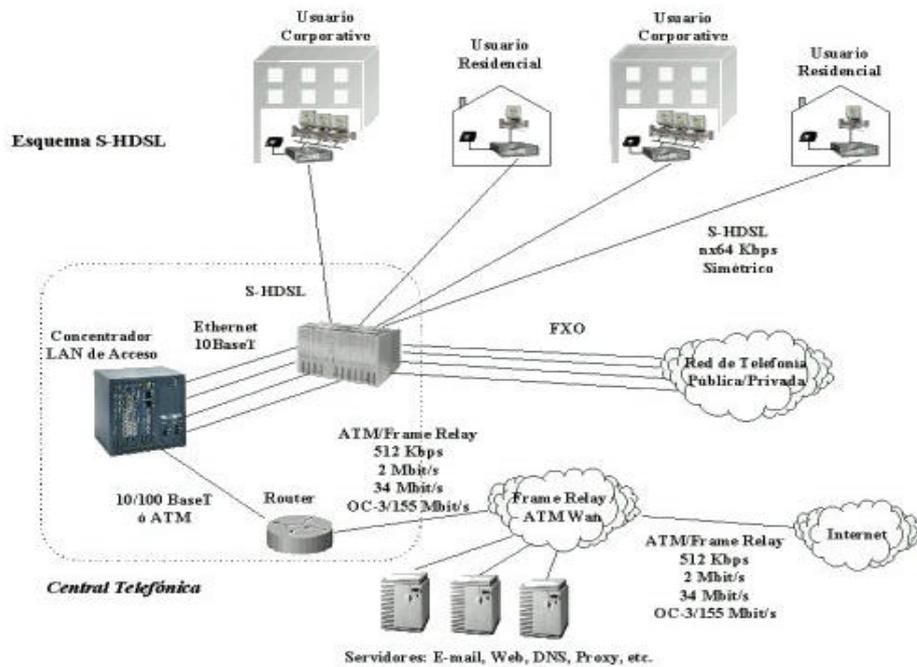
HDSL, plantea la solución de la ingeniería de comunicaciones: la compensación continua de la señal, a través de considerar las condiciones existentes en el cable por donde se transmite la información. Así la técnica crea un modelo matemático

del cable de cobre que permite al sistema de transmisión compensar las distorsiones originadas en el medio, La técnica hace que los 2.048 Mbps lleguen al cliente a través del dispositivo HDSL, y de ahí que la trama se divida en dos, una por cada par de cobre. Al llegar la señal al otro extremo se reensamblan las 2 señales, y se restituyen los 2.048 Mbps con la estructura de trama completa. Esto pudiera hacer a la técnica menos tolerante al ruido, sin embargo en el uso de la ecualización adaptativa se tienen resueltos dos aspectos: reducir el ancho de banda en el cobre por una parte, y compensar las señales por defectos en la transmisión.

**1.7.2 HDSL2 o SHDSL(*Single-Pair High-bit-rate DSL*).** *High Bit-rate Digital Subscriber Line 2* está diseñada para transportar señales T1 a 1.544 Mb/s sobre un simple par de cobre. HDSL2 usa *overlapped phase Trellis-code interlocked spectrum* (OPTIS); espectro de interbloqueo de código Trellis de fases solapada. HDSL2 ofrece los mismos 1.544 Mbps de ancho de banda como solución a los tradicionales 4 cables de HDSL, con la ventaja de requerir solamente un simple par de cobre.

HDSL2 espera aplicarse en Norte América solamente, ya que algunos vendedores han optado por construir una especificación universal de G.shdsl.

Figura 14. Arquitectura de la red SHDSL.



**1.7.3 SDSL (Single line Digital Subscriber Line).** Es prácticamente la misma tecnología que HDSL pero utiliza únicamente un par, por lo que se sitúa estratégicamente en el segmento de los usuarios residenciales que sólo disponen de una línea telefónica. Pero tiene su tope en los 3 kilómetros (3.048 metros), al menos en sus especificaciones de diseño. No obstante, las velocidades son las mismas que en HDSL.

Esta tecnología provee el mismo ancho de banda en ambas direcciones, tanto para subir y bajar datos; es decir que independientemente de que estés cargando o descargando información de la Web, se tiene el mismo rendimiento de excelente

calidad. SDSL brinda velocidades de transmisión entre un rango de T1/E1, de hasta 1,5 Mbps, y a una distancia máxima de 3.700 m a 5.500 desde la oficina central, a través de un único par de cables. Este tipo de conexión es ideal para las empresas pequeñas y medianas que necesitan un medio eficaz para subir y bajar archivos a la Web.

**1.7.4 M/SDSL o MSDSL (*Multirate Symmetric DSL*).** Para una aplicación simétrica, Multirate SDSL (M/SDSL) ha surgido como una tecnología valorada en los servicios TDM (Multiplexación por División de Tiempo) sobre una base ubicua.

Construida sobre un par simple de la tecnología SDSL, M/SDSL soporta cambios operacionales en la tasa del *transceiver* y distancias con respecto el mismo.

La versión CAP soporta ocho tasas distintas de 64 Kbps/128 Kbps y da servicios a una distancia de 8.9 Km sobre cables de 24 AWG (0.5 mm) y 4.5 Km, para una tasa completa de 2 Mbps.

Con una habilidad de auto-tasa (similar a RADSL), las aplicaciones simétricas pueden ser universalmente desarrolladas.

**1.7.5 ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*).** Esta tecnología va suplantando a las anteriores, ofreciendo velocidades de acceso mayores y una configuración de canales que se adapta mejor a los requerimientos de las aplicaciones dirigidas a los usuarios privados como vídeo simplex (o TV en modo distribución), vídeo bajo demanda o acceso a Internet. Son estas las típicas aplicaciones donde se necesitan unos anchos de banda elevados para recibir la información multimedia y solo unos pocos kilobits por segundo para seleccionarla. SDSL utiliza sólo un par de hilos, pero la necesidad de soportar velocidades simétricas, limita la distancia. ADSL aprovecha la naturaleza asimétrica de muchos servicios de banda ancha y a la vez amplía la distancia a la que puede operar hasta los 5,5 kilómetros. El ADSL utiliza frecuencias que no utiliza el teléfono normal, por lo que es posible conectar con Internet y hablar por teléfono a la vez. Esto se consigue mediante la instalación de un splitter o filtro separador que, por otra parte, es fundamental para el funcionamiento del ADSL. ADSL establece tres canales de conexión:

- El de envío de datos (que puede llegar a 1Mb/s)
- El de recepción de datos (hasta 8Mb/s)
- El de servicio telefónico normal

**1.7.6 RADSL (*Rate Adaptive Digital Subscriber Line*).** Rate Adaptive simplemente significa que la velocidad de la conexión se ajusta a las condiciones de la línea que cada unidad transmisora y receptora observa. RADSL generalmente se refiere a una tasa adaptativa de servicios ADSL, pero se considera otro tipo de DSL. Los servicios de RADSL son generalmente usados para extender el alcance de los sistemas a áreas que se encuentran mas lejos de la oficina central. Por medio del aumento o la disminución dinámica de la tasa de bits, RADSL usa la velocidad óptima para la línea.

Normalmente, cuando se instala un equipo se asume que se cumplen algunos criterios mínimos para operar a una velocidad dada. Esto ha sido así con tecnologías anteriores, tales como la portadora-T o RDSI.

RADSL, al utilizar la modulación DMT (característica también de ADSL) puede adaptarse a cambios en las condiciones de la línea y ajustar las velocidades por separado para maximizar el rendimiento de cada línea individual.

**1.7.7 CDSL (*Consumer Digital Subscriber Line*).** Aunque está relacionada de manera cercana con ADSL y RADSL, CDSL mantiene algunas diferencias. CDSL es generalmente más modesto en términos de velocidad y distancia comparado con ADSL y RADSL, pero tiene una clara ventaja: con CDSL

no hay que preocuparse por los dispositivos conocidos como splitters filtros). La función de estos filtros en la casa del usuario es la de permitir la utilización de teléfonos y faxes de la misma manera que se utilizaban con anterioridad. La ventaja de CDSL es que no necesita este filtro y su cableado asociado.

**1.7.8 IDSL (*ISDN Digital Subscriber Line*).** Esta técnica toma el acceso básico (BRI) de la RDSI, compuesto por los canales 2B+D, que opera a 144 Kbps (dos canales B a 64 Kbps cada uno y un canal D a 16 Kbps), y lo desvía del conmutador de voz de la RTC para dirigirlo a los equipos xDSL. IDSL también funciona sobre un par de hilos y alcanza 5,5 kilómetros.

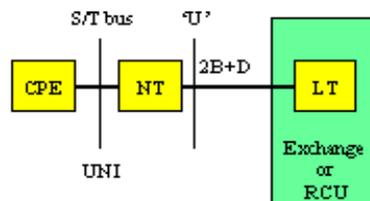
El acrónimo DSL era originalmente usado para referirse a una banda estrecha o transmisiones de acceso básico para Redes de servicios integrados digitales - *Integrated Services Digital Network* (ISDN-BA).

Los módems ISDN-BA emplean técnicas de cancelación de eco (EC) capaces de transmitir full duplex a 160 kbit/s sobre un simple par de cables telefónicos. Los *transceivers* ISDN-BA basados en cancelación de eco permiten utilizar anchos de banda de ~10 kHz hasta 100 kHz, y esto es instructivo para notar que la densidad espectral más alta de capacidad de los sistemas DSL basados en 2B1Q esta cerca de los 40 kHz con el primer espectro nulo a los 80 kHz.

Los estándares internacionales sobre ISDN-BA especifican los aspectos físicos de transmisión en el ISDN.

La carga útil de DSL está integrada usualmente por 2 canales B o canales *Bearer* de 64 kbit/s cada uno mas un 'D' (delta) o canal de señalización de 16 kbit/s, el cual puede a veces ser utilizado para transmitir datos. Esto da al usuario un acceso de 128 kbit/s mas la señalización (144kbit/s). Un canal extra de 16 kbit/s esta preparado para un *Embedded Operations Channel* (EOC), intentando intercambiar información entre el LT (*Line Terminal*) y el NT (*Network Terminal*). El EOC normalmente no es accesible para el usuario.

**Figura 15. Concepto básico de ISDN-BA (DSL).**



Varios millones de líneas ISDN-BA han sido instaladas por todo el mundo y la demanda de líneas ISDN empieza a ser significativa especialmente para la alta demanda en conexiones de Internet con velocidades muy elevadas.

**1.7.8.1 Diferencias entre IDSL y RDSI:** Las diferencias que podemos destacar entre estas dos tecnologías serian:

- ❖ RDSI se tarificaba antiguamente por tiempo de uso, mientras que IDSL ofrece tarifa plana (costo único independientemente del tiempo de conexión).
- ❖ IDSL permite estar siempre conectado mientras el computador está encendido, mientras que para RDSI es necesario establecer conexión telefónica mediante marcación.
- ❖ IDSL es un servicio dedicado para cada usuario, al contrario que RDSI.

**1.7.9 VDSL (*Very High Digital Subscriber Line*).** El miembro más reciente de la familia, VDSL. es considerado el último objetivo de la tecnología DSL. Las velocidades son las más altas posibles, pero con un alcance de sólo entre 300 y 1 .300 metros sobre un par de cobre trenzado.

Esto no es un problema para VDSL. El VDSL espera encontrar una red de fibra en ese punto, y también tiene proyectado transportar celdas ATM (*Asynchronous Transfer Mode- Modo de Transferencia Asíncrono*), no como una opción, pero sí como una recomendación. Esta tecnología, coincide básicamente con ADSL y permite velocidades de hasta 52 Mbps aunque sobre distancias menores. Proporcionalmente, VDSL tendrá menor cantidad de velocidad en sentido ascendente que ADSL. (Menor proporción, pero mayor cantidad). Otra diferencia es que habrá dos versiones: simétrica y asimétrica. Simétrica quiere decir que la velocidad de ascendente y descendente es igual (por lo tanto es mas cara) y

asimétrica, que es más lento hacia la central que en sentido contrario. A más distancia de la central, menos velocidad se puede alcanzar. De hecho, esto pasa también con el ADSL, pero de una forma menor. Para conseguir el máximo rendimiento, no se puede estar a más de 300 metros de la central.

**1.7.10 EtherLoop.** *EtherLoop* es actualmente una tecnología propiedad de Nortel Networks, pequeña para una red Ethernet Local. Utiliza la avanzada técnica de modulación de la señal de DSL y combina esto con las ráfagas half-duplex de los paquetes naturales de Ethernet.

Los módems EtherLoop solo generan señales de alta frecuencia cuando hay algo que enviar. El resto del tiempo, son usadas solo bajas frecuencias para el control de la señal (velocidad ISDN). EtherLoop puede medir el ambiente de ruido entre paquetes. Esto permite detectar las interferencias basadas en los cambios de frecuencias de paquete a paquete. Desde que EtherLoop fue half-duplex es capaz de generar el mismo ancho de banda tanto para descargas como para subidas, pero no simultáneamente.

Nortel esta trabajando en rangos de velocidad entre 1.5 Mbps y 10 Mbps dependiendo de la calidad de la línea y las limitaciones de distancia.

**1.7.11 G. SHDSL.** *G.shdsl* es un estándar de la ITU el cual ofrece un conjunto de características muy ricas (por ejemplo, tasas adaptables) y ofrece mayores distancias que cualquier estándar actual y que en el futuro sustituirá a SDSL.

Este método ofrece anchos de bandas simétricos comprendidos entre 192 Kbps y 2.3 Mbps, con un 30% más de longitud del cable que SDSL y presenta cierta compatibilidad con otras variantes DSL.

*G.shdsl* se espera aplicarse en todo el mundo, también puede negociar el número de tramas del protocolo incluyendo ATM, T1, E1, ISDN e IP.

*G.shdsl* está solicitado para empezar a reemplazar las tecnologías T1, E1, HDSL, SDSL HDSL2, ISDN y IDSL.

## 2. ADSL

La tecnología ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) se ha estado desarrollando desde 1992. Las tasas de transmisión que brinda ADSL expanden la capacidad del acceso existente en un factor de 50 o mas sin un nuevo cableado. Literalmente ADSL transforma la red publica de información existente, que esta limitada a voz, texto y graficas de baja resolución, en un poderoso sistema capaz de brindar multimedia, incluyendo videos de alta resolución.

ADSL facilita el acceso a Internet de alta velocidad así como el acceso a redes corporativas para aplicaciones como el teletrabajo y aplicaciones multimedia como juegos on-line, vídeo en demanda, videoconferencia, voz sobre IP, etc

ADSL jugara un papel crucial en los próximos diez o mas años, en la forma como las compañías telefónicas y otros proveedores de servicios, introduzcan nuevos servicios que exigen gran ancho de banda. Con un nuevo cableado de banda-base se tardarían décadas para llegar a todos los posibles abonados. Pero el éxito de estos nuevos servicios dependerá del acercamiento a tantos abonados sea posible durante estos primeros años.

## 2.1 LA TECNOLOGÍA ADSL

Un circuito ADSL conecta un modem ADSL a cada lado de la línea telefónica de pares trenzados, creando tres canales de información: un canal de alta velocidad descendente, un canal duplex de velocidad media dependiendo de la implementación de la arquitectura de ADSL, y un canal para POTS (*Plain Old Telephone Service*) o para ISDN. El canal POTS / ISDN es separado del módem digital por filtros, de esta manera se garantiza la continuidad del canal POTS / ISDN, aun si ADSL falla.

ADSL depende de un avanzado procesamiento digital de señales y algoritmos creativos para comprimir tanta información a través del par trenzado de las líneas telefónicas. Además, se han requerido muchos avances en transformadores, filtros análogos y convertidores A/D. Las largas líneas telefónicas pueden atenuar las señales a un megahertz (la barrera de la banda usada por ADSL) como mucho 90 dB, forzando a las partes análogas de los módems ADSL a esforzarse para alcanzar amplios rangos dinámicos, separar canales y mantener bajos valores de ruido.

Los módems ADSL proveen tasas de datos consistentes con las Jerarquías Digitales Norte Americanas y Europeas, y se pueden adquirir con varios rangos de

velocidades. Los módems ADSL se ajustan al transporte ATM con tasas variables y compensación para cabeceras ATM, al igual para protocolos IP.

Las distintas velocidades que ofrece ADSL son en función de la longitud del cable telefónico y del estado del mismo. Según las características de esta tecnología, para alcanzar las velocidades de 1,5 a 2 Mbps, es necesario que la distancia máxima no sea más de 5,5 Km entre un módem ADSL y otro, es decir desde donde se encuentra el computador del usuario hasta donde está la central telefónica más próxima. En muchos casos esta circunstancia no será ningún inconveniente, ya que en centros urbanos o periferias de grandes ciudades, es probable que exista una central telefónica con ADSL en una distancia inferior.

Solo debemos tener en cuenta, que a medida que la distancia entre los módems ADSL sea mayor, la velocidad de transferencia será menor.

Un factor clave en este tipo de tecnología es el estado del cable. Si una comunicación ADSL trata de sacar el máximo partido al par de cobre, utilizando como elemento clave el bajo nivel de ruido de la línea, es necesario que éste se encuentre en perfectas condiciones, ya que de lo contrario puede darse el caso de no llegar a alcanzar las velocidades estándar.

## 2.2 VENTAJAS DE UN ENLACE ADSL

ADSL es atractivo, tanto para los usuarios como para el proveedor del servicio porque resuelve dos problemas simultáneamente.

- Provee un mecanismo simple y económico para brindar un mayor ancho de banda al usuario final ( tanto residenciales como pequeñas y medianas empresas). Esta es cada vez mas importante para el acceso a Internet, el acceso remoto a servidores corporativos, el acceso a voz y datos integrados y una interconexión transparente de varias LANs.
- Permite ofrecer a las compañías valor agregado, servicios de redes de alta velocidad sin grandes gastos de capital. Algunos ejemplos incluyen acceso a redes Frame Relay o ATM, redes virtuales privadas, distribución de video, streaming, servicios de video por demanda.

Como ventajas tenemos:

- ✓ Ahorro de costos, ya que elimina la necesidad de instalar fibra óptica en el lazo de abonado para suministrar servicios de alta velocidad, por lo tanto, no se requiere trabajos de la ingeniería civiles para colocar nuevos cables.
- ✓ ADSL puede introducirse en base a la demanda por usuario individual; esto es importante a los operadores de la red porque significa que su inversión en

ADSL es proporcional a la aceptación del usuario de servicios multimedia de altas velocidades.

- ✓ Para los nuevos operadores, especialmente los más pequeños, suponen una interesante oportunidad competitiva, ya que carecen de infraestructuras instaladas.
- ✓ Para los usuarios, los servicios ADSL aportan nuevas posibilidades de acceso de alta capacidad para soportar una gran variedad de aplicaciones, desde multimedia a interconexión de LAN y acceso a Internet.
- ✓ Una de las mayores ventajas de ADSL sobre los módem analógicos, RDSI y HDSL reside en su capacidad para proporcionar soporte de servicio telefónico sin impacto alguno en la capacidad de procesamiento de datos. La razón es que ADSL utiliza tecnología de división de frecuencia, permitiendo separar los canales telefónicos de los otros dos canales. Esto garantiza el suministro de un servicio telefónico ininterrumpido incluso cuando falla el suministro de energía del módem ADSL, una posibilidad que no ofrece la mayoría de las soluciones competidoras, incluidas RDSI y HDSL, que, aunque pueden efectuar conexiones telefónicas, lo hacen consumiendo 64 Kbps de ancho de banda.

La tecnología ADSL también posee pequeños inconvenientes, los cuales pueden ser superados en forma gradual, a medida que se masifique el uso de esta tecnología. Los principales inconvenientes son:

- ✓ La distancia desde la central telefónica hasta nuestra casa debe tener un máximo, cuanto mayor sea la distancia menor será la velocidad o incluso no se podrá montar ADSL en nuestra casa o empresa.
- ✓ Aun a pesar de que las condiciones anteriores se cumplan, quizás no se pueda instalar ADSL en la casa o empresa debido a un exceso de interferencias en la línea telefónica.
- ✓ Debe contratarse el servicio a la operadora telefónica correspondiente. Esto no sucede con los módem habituales, puesto que basta con conectarlos a la red, sin tener que dar aviso a la operadora.
- ✓ Otro inconveniente importante es la saturación de los servidores al conectarse muchos usuarios con ADSL.

## **2.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED ADSL**

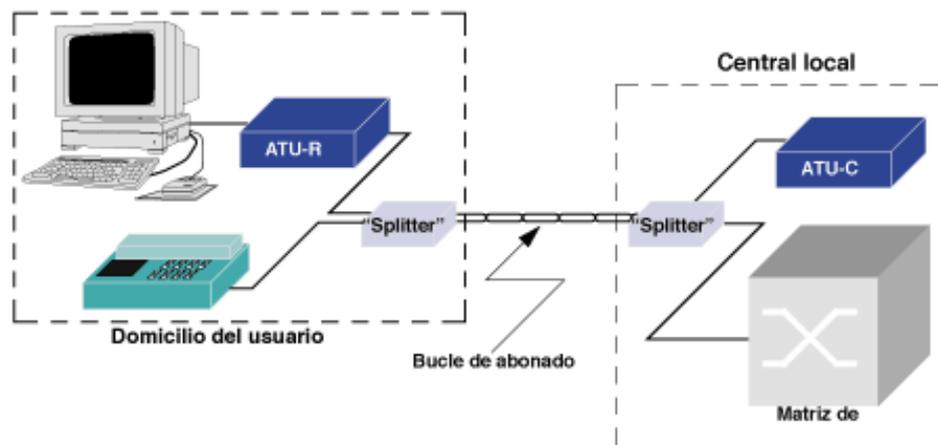
Dentro de la instalación de un servicio ADSL se ven involucrados ciertos equipos que van a derivar en la buena entrega del servicio. Entre estos tenemos:

- ATU-C: Es la unidad transceiver (módem) para ADSL del lado de la central. Este dispositivo se encarga de conectarse con el módem del cliente y dar el servicio para datos.

- ATU-R: Es la unidad transceiver (modem) para ADSL del lado remoto. Este dispositivo es el encargado de hacer la emulación del modem del lado del cliente.
- CO: Esta ubicado en la central y almacena los Switches de PSTN.
- DSLAM: Es el multiplexor de acceso a DSL, reside en la central y es el *gateway* entre el servicio DSL y ATM hacia Internet.

Al tratarse de una tecnología en la que se transmiten diferentes caudales en los sentidos Usuario - Red y Red - Usuario, el módem ADSL situado en el extremo del usuario es distinto del ubicado al otro lado del lazo, en la central local. En la figura 16 se muestra un enlace ADSL entre un usuario y la central local de la que depende.

**Figura 16. Enlace ADSL**

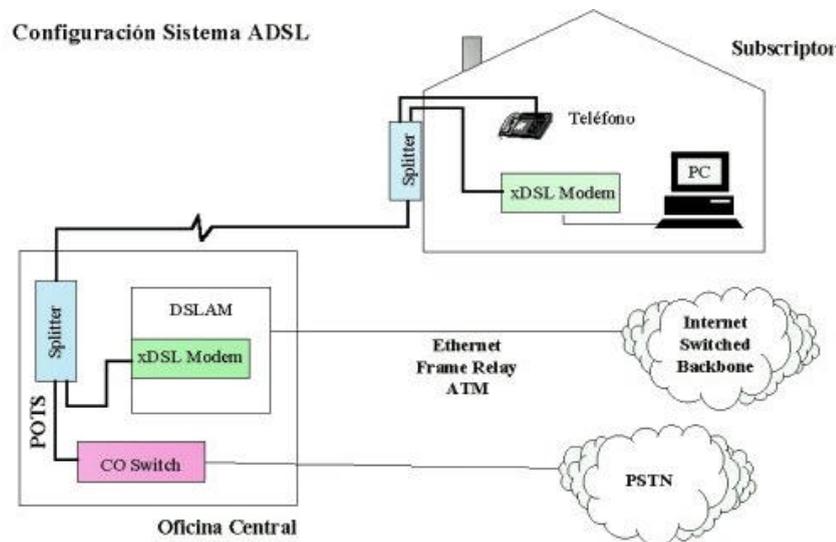


En la figura 16 se observa que además de los módems situados en casa del usuario (ATU-R o "ADSL *Terminal Unit-Remote*") y en la central (ATU-C o "ADSL *Terminal Unit-Central*"), delante de cada uno de ellos se ha de colocar un dispositivo denominado Splitter, sobre el cual entraremos en detalles mas adelante.

El ATU-R, como se menciona anteriormente, es el quipo que se encuentra en la parte del usuario para la conexión al lazo de DSL. La conexión típicamente es 10BaseT, ATM-25 o USB. Los ATU-R están disponibles en un gran numero de configuraciones dependiendo del servicio específico que se va a brindar. Algunos ATU-R contienen funciones como puenteo, ruteo, y multiplexación TDM o ATM. Algunas de las funciones del ATU-R incluyen la habilidad para proveer a la capa 1 y 2 del modelo OSI el manejo de estadísticas tales como relaciones señal a ruido, además de la habilidad de proveer a la capa 3 estadísticas MIB (*Management Information Base*) tales como conteo de paquetes.

El DSLAM es uno de los elementos mas importantes dentro del enlace ADSL. Se encuentra en el ambiente de la oficina central. El DSLAM concentra el trafico de datos para múltiples lazos DSL en una red de *backbone* para la conexión al resto de la red.

**Figura 17. Configuración de un sistema ADSL**



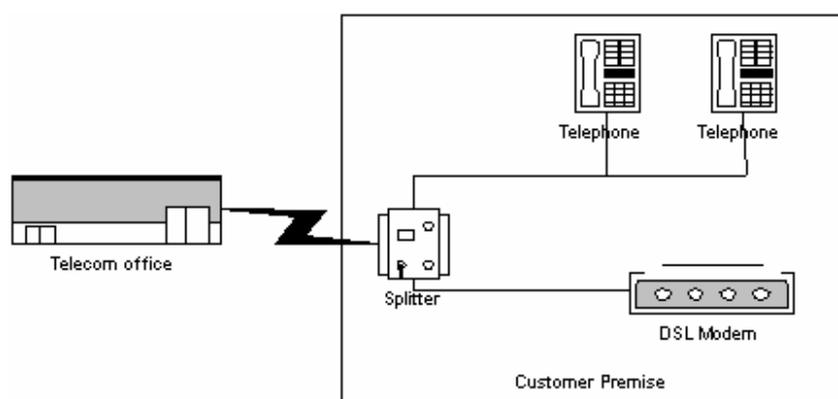
El sistema de transporte también hace parte de un enlace ADSL. Este componente provee el *backbone* para la transmisión siendo la interface del sistema para el DSLAM. Este dispositivo puede proveer servicios específicos tales como T1/E1, OC1, OC3, STM-1, STM-4.

ADSL utiliza el carrier local (Red de Acceso Local) para proveer conectividad entre proveedores de servicios múltiples aunque se pueden llegar a requerir equipos extras tales como Switches Frame Relay o ATM, además de Routers. También debe considerarse el AN (*Acces Node*) que es el lugar donde equipos como Switches y Routers se localizan físicamente. En algunos casos el AN viene integrado a DSLAM.

2.3.1 **Splitter.** Como la tecnología DSL usa un amplio rango de frecuencias, es posible tener uso de voz y datos simultáneamente en una conexión. Una llamada de voz usa el espectro de 0 a 4KHz y el modem ADSL usara las frecuencias altas para pasar el trafico de datos. Por supuesto, el compartir la misma línea, puede presentar algunos problemas. En particular, una gran cantidad teléfonos puede generar en la línea frecuencias mas altas de 4KHz, interfiriendo con el flujo ADSL. Además, las altas frecuencias usadas por ADSL pueden ser recogidas por el teléfono causando estática en el auricular.

La solución para el problema de interferencia de 4KHz fue la de usar Splitters, el cual se coloca a la línea telefónica cerca donde entra al abonado. El Splitter divide la línea telefónica: una parte va hacia el cableado telefónico del edificio y la otra parte va al modem ADSL.

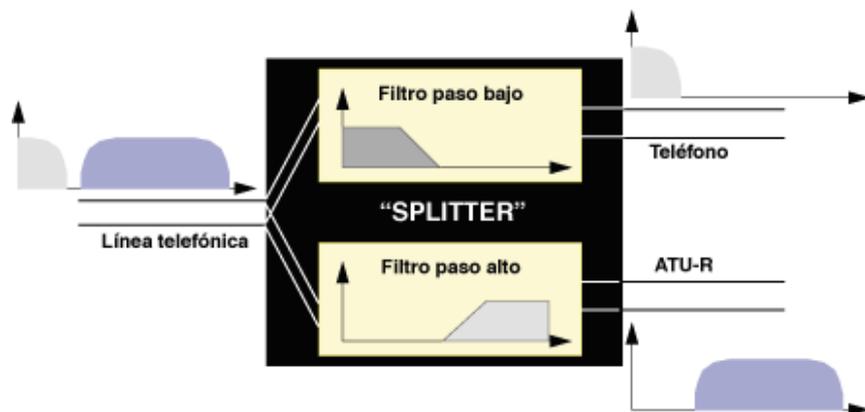
**Figura 18. Ubicación del Splitter**



Este dispositivo no es más que un conjunto de dos filtros: uno paso alto y otro paso bajo. La finalidad de estos filtros es la de separar las señales transmitidas por el lazo de modo que las señales de baja frecuencia (telefonía) de las de alta frecuencia (ADSL).

Este dispositivo actúa simplemente como un filtro de frecuencias que considera como voz todo aquello que esté por debajo de los 4 KHz. En el enlace, se consideran independientes dos líneas de comunicación, una para voz y otra para datos; al hacer esta separación se evita el mayor problema actual en los accesos, que es la saturación de las centrales de voz con tráfico de datos.

**Figura 19. Funcionamiento del Splitter**



El splitter divide la conexión en tres: una de recepción de datos, una de emisión de datos, y una de voz. Las de datos están conectados 24 horas al día; se trata de un servicio permanente.

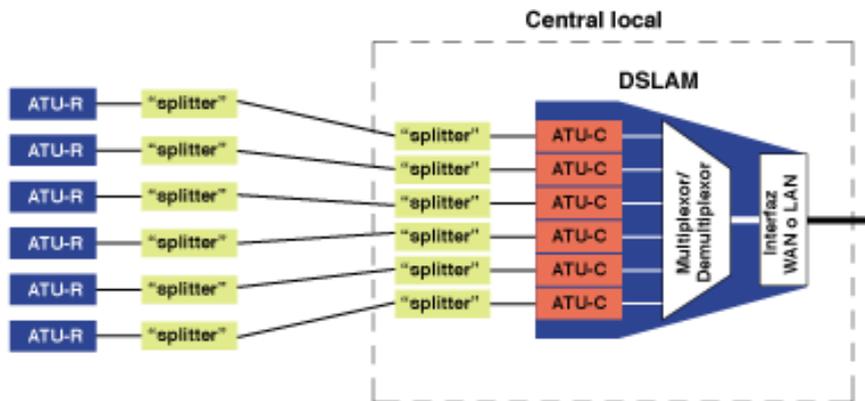
2.3.2 **DSLAM.** Como se menciono anteriormente, ADSL necesita una pareja de módems por cada usuario, uno en el domicilio del usuario (ATU-R) y otro (ATU-C) en la central local a la que llega el lazo de ese usuario.

Esto complica el despliegue de esta tecnología de acceso en las centrales. Para solucionar esto surgió el DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), el cual es un chasis que agrupa gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems ATU-C.

La compañía telefónica o el proveedor del servicio usa el DSLAM, para interconectar a los múltiples usuarios de ADSL en una red de computadoras. Típicamente, el DSLAM se conecta a una red ATM donde puede transmitir datos. A cada extremo la transmisión, un demultiplexor de DSLAM retransmite los datos a las conexiones individuales de ADSL apropiadas. El DSLAM además es capaz de enrutar el tráfico de todas las tarjetas hacia una red de área extensa o WAN.

El DSLAM provee servicios de transporte para paquetes, celdas o aplicaciones basadas en circuitos a través de la concentración de líneas DSL en salidas 10BaseT, 100BaseT, T3/E3 o ATM. El DSLAM en algunas ocasiones puede requerir la apertura de paquetes de datos para saber que acción tomar. Por ejemplo, para soportar la asignación dinámica de IP utilizando DHCP , cada paquete debe ser visto para saber direccionar los paquetes a su destino final.

Figura 20. DSLAM



La integración de varios ATU-Cs en un equipo, el DSLAM, es un factor fundamental que ha hecho posible el despliegue masivo de ADSL. De no ser así, esta tecnología no hubiese pasado nunca del estado de prototipo dada la dificultad de su despliegue, como se constató con la primera generación de módems ADSL.

## 2.4 MODOS DE TRANSPORTE ADSL

El estándar original ADSL fue diseñado para transportar video digital comprimido (es decir, MPEG2) de  $n \times 64 \text{ kbit/s}$  y circuitos dedicados. Esta clase de transferencia de información es conocida como modo de transporte sincrónico (STM). Con la posibilidad de ADSL de transportar paquetes IP, se tenía que soportar tramas de longitud variable (como HDLC o Ethernet MAC) dentro de STM. Desde 1997 ATM

o transporte a base de celdas, ha sido favorecido sobre STM, por el hecho de soportar paquetes IP así como video comprimido y otras aplicaciones en tiempo real o basadas en QOS (Calidad del Servicio).

**2.4.1 ATM sobre enlaces ADSL.** Las redes de comunicaciones de banda ancha emplean el ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) para la conmutación en banda ancha. Desde un primer momento, dado que el ADSL se concibió como una solución de acceso de banda ancha, se pensó en el envío de la información en forma de celdas ATM sobre los enlaces ADSL.

En los estándares sobre el ADSL, desde el primer momento se ha contemplado la posibilidad de transmitir la información sobre el enlace ADSL mediante celdas ATM. La información, ya sean tramas de vídeo MPEG o paquetes IP, se distribuye en celdas ATM, y el conjunto de celdas ATM así obtenido constituye el flujo de datos que modulan las subportadoras del ADSL DMT.

Si en un enlace ADSL se usa ATM como protocolo de enlace, se pueden definir varios circuitos virtuales permanentes (CVPs) ATM sobre el enlace ADSL entre el ATU-R y el ATU-C. De este modo, sobre un enlace físico se pueden definir múltiples conexiones lógicas cada una de ellas dedicadas a un servicio diferente.

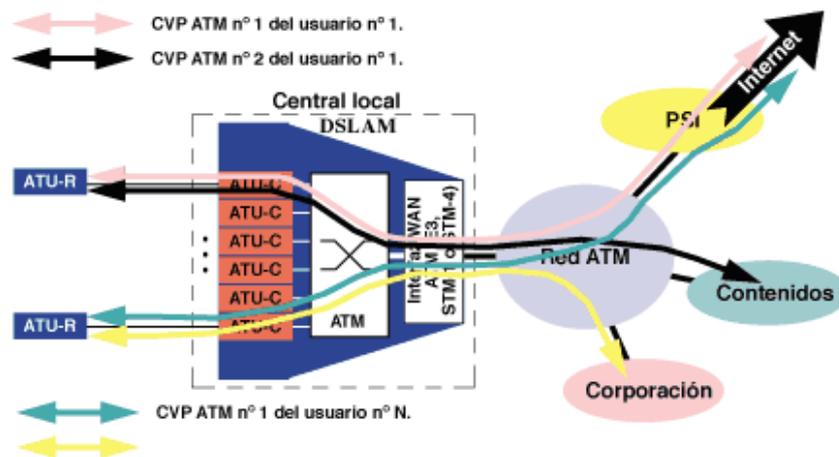
Por ello, ATM sobre un enlace ADSL aumenta la potencialidad de este tipo de acceso al añadir flexibilidad para múltiples servicios a un gran ancho de banda.

Otra ventaja añadida al uso de ATM sobre ADSL es el hecho de que en el ATM se contemplan diferentes capacidades de transferencia (CBR, VBR-rt, VBR-nrt, UBR y ABR), con distintos parámetros de calidad de servicio (caudal de pico, caudal medio, tamaño de ráfagas de celdas a velocidad de pico y retardo entre celdas consecutivas) para cada circuito. De este modo, además de definir múltiples circuitos sobre un enlace ADSL, se puede dar un tratamiento diferenciado a cada una de estas conexiones, lo que a su vez permite dedicar el circuito con los parámetros de calidad más adecuados a un determinado servicio (voz, vídeo o datos).

En los módems ADSL se pueden definir dos canales, el canal rápido y el canal entrelazado. El primero agrupa los CVPs ATM dedicados a aplicaciones que pueden ser sensibles al retardo, como puede ser la transmisión de voz. El canal entrelazado, llamado así porque en el se aplican técnicas de entrelazado para evitar pérdidas de información por interferencias, agrupa los CVPs ATM asignados a aplicaciones que no son sensibles a retardos, como puede ser la transmisión de datos.

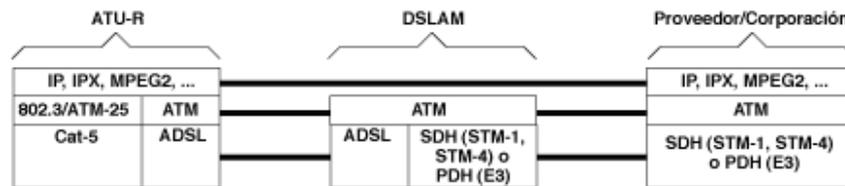
A nivel de enlace, algunos suministradores de equipos de central para ADSL han planteado otras alternativas al ATM, como PPP sobre ADSL y frame-relay sobre ADSL, pero finalmente no han tenido mucha acogida.

**Figura 21. DSLAM ATM**



Los estándares y la industria han impuesto el modelo de ATM sobre ADSL. En ese contexto, el DSLAM pasa a ser un conmutador ATM con múltiples interfaces, una de ellas sobre STM-1, STM-4 ó E3, y el resto ADSL-DMT, y el núcleo del DSLAM es una matriz de conmutación ATM sin bloqueo. De este modo, el DSLAM puede ejercer funciones de policía y conformado sobre el tráfico de los usuarios con acceso ADSL.

**Figura 22. Torre de protocolos con ATM sobre ADSL**



**2.4.2 Ventajas del uso de ATM sobre ADSL.** Capacidad para transferir múltiples tipos de tráfico, a diferencia de otras tecnologías de conmutación y transmisión, que están más adaptadas a ciertos tipos de información (datos, voz, vídeo en multidifusión o en tiempo real). ATM es capaz de transportar sin degradación de la calidad, todo tipo de información, lo cual la hace adecuada para dar soporte cualquier tipo de servicio actual y futuro. Esta característica favorecerá la evolución futura de la tecnología ADSL, haciendo posible su adaptación a nuevos requisitos que puedan surgir.

- Aprovechamiento eficiente de los equipos y medios de transmisión. La información, sin importar su origen, se fragmenta en *celdas* (paquetes de longitud fija, en ATM concretamente 53 bytes) que se transmiten independientemente unas de otras. Los equipos y circuitos de transmisión, pueden así transportar celdas provenientes de fuentes distintas aprovechando el hecho de que normalmente no todas ellas transmiten simultáneamente (es la técnica denominada *multiplexación estadística*). Esta técnica, junto con

estrictos procedimientos de control de congestión, permiten compartir los recursos físicos y lógicos de la red ATM de forma eficiente, abaratando los costes.

- Soporte de distintas calidades de servicio. Dentro de una red ATM, existen procedimientos de control que garantizan la calidad necesaria para los distintos tipos de información transferida. Las conexiones ATM entre origen y destino, se establecen ya configuradas para garantizar el nivel de calidad contratado, lo que permite una mayor eficiencia debido a que cada aplicación solicita a la red la calidad y servicio estrictamente necesarios, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de recursos.

## **2.5 MODULACIÓN ADSL**

**2.5.1 Tipos de modulación propuestas para ADSL.** En una primera etapa se formularon dos técnicas de modulación para ADSL:

- CAP ("Carrierless Amplitude/Phase"): Modulación por amplitud de fase sin portadora, la cual permite llegar a velocidades de hasta 1,5 Mbps. Este sistema es el utilizado para la televisión por cable y se basa en usar todo el cable para enviar una única señal. La versión CAP de la modulación QAM, almacena

partes de una señal en una memoria y luego une los fragmentos de la onda modulada. Como se explico en el primer capitulo, la señal portadora se suprime antes de la transmisión ya que no contiene información y se vuelve a componer de nuevo en el módem receptor.

- DMT ("Discrete MultiTone"). Dado que las señales de alta frecuencia atravesando las líneas de cobre sufren mayores pérdidas en presencia de ruido, como se menciona anteriormente, DMT divide las frecuencias disponibles en 256 subportadoras (subcanales). Después, los datos entrantes se fragmentan en diversos números de bits y se distribuyen entre una determinada combinación de las 256 subportadoras creadas, en función de su capacidad para efectuar la transmisión. Para eliminar el problema del ruido, se transportan más datos en las frecuencias inferiores y menos datos en las superiores.

La modulación CAP tiene la ventaja de estar disponible para velocidades de 1,544 Mbps y su costo es reducido debido a su simplicidad, la desventaja que presenta es que reduce el rendimiento en ADSL y es susceptible de interferencias debido a la utilización de un solo canal. Mientras que la modulación del tipo DMT ofrece cuatro veces más de rendimiento que la modulación CAP para el tráfico de datos desde la central al usuario y de diez veces más desde el usuario a la central, también es menos susceptible al ruido y las pruebas realizadas por los laboratorios de Bellcore demuestran que este tipo de modulación es más rápida que la CAP, independientemente de la distancia que separe los módems ADSL.

Los inconvenientes son que su costo resulta superior al de CAP y es un sistema muy complejo. Tanto CAP como DMT están basados en el sistema QAM aunque cada uno lo adopta de una forma distinta.

**2.5.2 La solución final: DMT.** Los organismos de estandarización, ANSI (*American National Estándars Institute*), ETSI (*European Technical Standars Institute*) e ITU (*International Telecommunication Union*), han elegido la solución DMT, como el tipo de modulación que se utilizará para sistemas ADSL .

Básicamente, DMT consiste en el empleo de múltiples portadoras y no sólo una, que es lo que se hace en los módems de banda vocal. Cada una de estas portadoras (denominadas subportadoras) es modulada en cuadratura (QAM) por una parte del flujo total de datos que se van a transmitir. Estas subportadoras están separadas entre sí 4,3125 KHz, y el ancho de banda que ocupa cada subportadora modulada es de 4 KHz. El reparto del flujo de datos entre subportadoras se hace en función de la estimación de la relación Señal / Ruido en la banda asignada a cada una de ellas. Cuanto mayor es esta relación, tanto mayor es el caudal que puede transmitir por una subportadora. Esta estimación de la relación Señal / Ruido se hace al comienzo, cuando se establece el enlace entre el ATU-R y el ATU-C, por medio de una secuencia de entrenamiento predefinida. La técnica de modulación usada es la misma tanto en el ATU-R como en el ATU-

C. La única diferencia radica en que el ATU-C dispone de hasta 256 subportadoras, mientras que el ATU-R sólo puede disponer como máximo de 32. La modulación parece y realmente es bastante complicada, pero el algoritmo de modulación se traduce en una IFFT (transformada rápida de Fourier inversa) en el modulador, y en una FFT (transformada rápida de Fourier) en el demodulador situado al otro lado del lazo. Estas operaciones se pueden efectuar fácilmente si el núcleo del módem se desarrolla sobre un DSP (Procesador Digital de Señales). El proceso, tanto en el ATU-C como en el ATU-R se describe a continuación:

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

Uno de los puntos fuertes de DMT es que permite que cada canal use una constelación QAM diferente. A bajas frecuencias, la línea usualmente tiene menos problemas que a altas frecuencias, entonces, se puede usar una constelación mas densa con mas puntos. En canales con ruido, se transmitirá pocos bits por símbolo, o no se podría utilizar todo el canal si existe mucha interferencia. Como

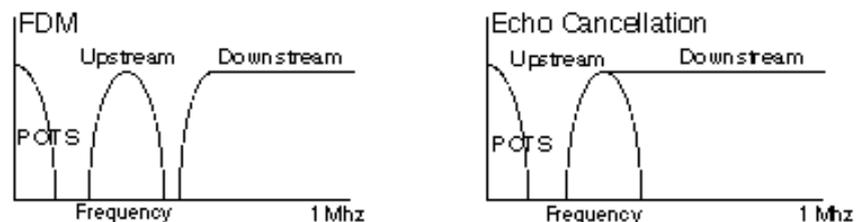
las condiciones de cada canal pueden cambiar en el tiempo, el modem ADSL debe adaptar constantemente su procesamiento de la señal para compensar estos cambios.

DMT tiene pocas fallas. La de mayor importancia es que el algoritmo de envío que utiliza DMT puede producir un NEXT significativo, el cual puede interferir con las bandas inferiores de que se utilizan para recibir información.

Debido a las ventajas de usar DWMT, este puede ser el protocolo estándar para transmisiones ADSL a larga distancia y donde existan entornos con un alto nivel de interferencias.

Existen dos modalidades dentro de ADSL, para crear múltiples canales, ya sea por Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) o por Cancelación de Ecos, con las cuales se divide el ancho de banda disponible de las líneas telefónicas.

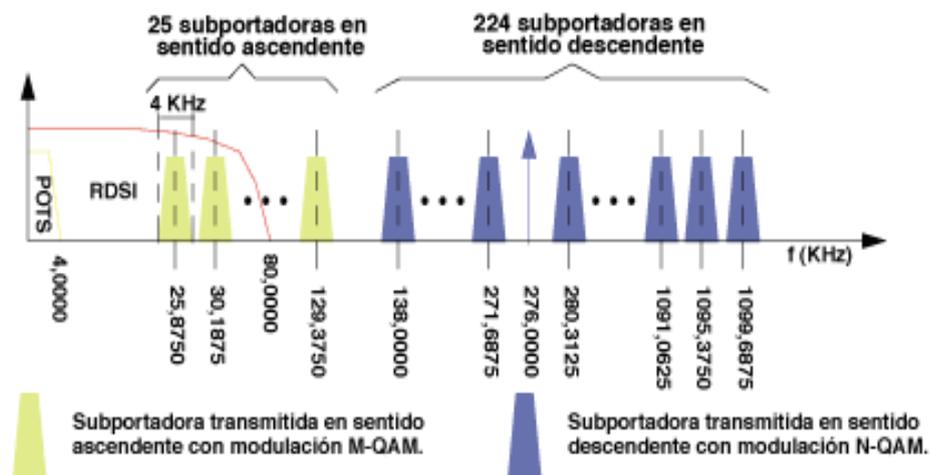
**Figura 23. FDM vs. Cancelación de Eco**



En la primera modalidad, FDM, se asigna un ancho de banda para datos ascendentes y otra para datos descendentes. El circuito lógico descendente entonces se divide por Multiplexación por División de Tiempo (TDM) en uno o más canales de alta velocidad y en uno o más canales de baja velocidad. El circuito lógico ascendente es también multiplexado en los canales de baja velocidad.

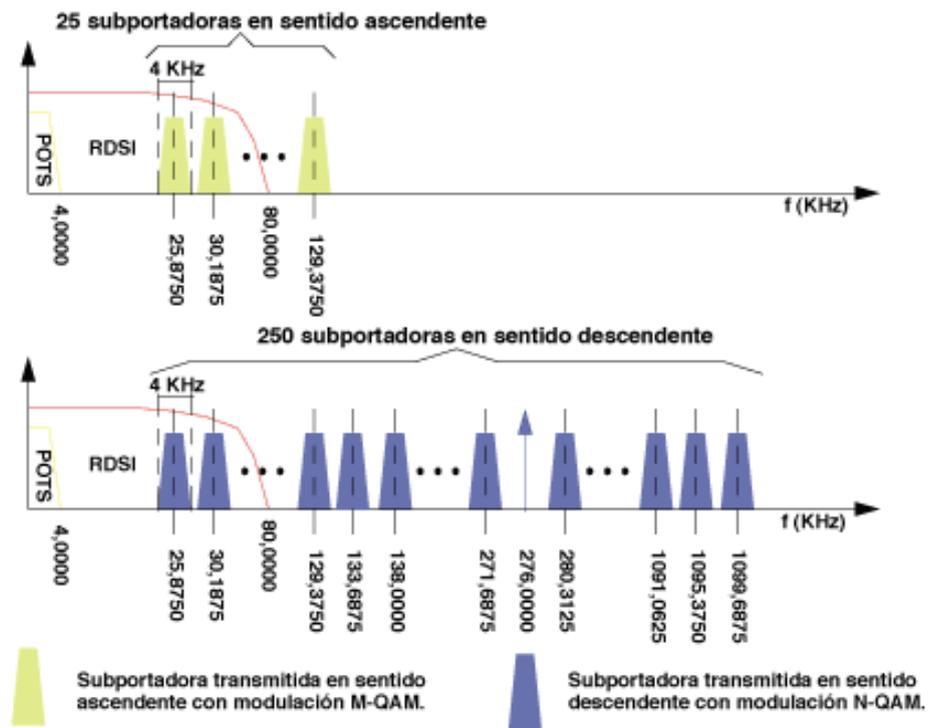
Los espectros de las señales ascendente y descendente no se solapan, lo que simplifica el diseño de los módems, aunque reduce la capacidad de transmisión en sentido descendente, no tanto por el menor número de subportadoras disponibles como por el hecho de que las de menor frecuencia, aquellas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están disponibles. En forma gráfica se muestra en la figura 24:

**Figura 24. Modulación ADSL DMT con FDM**



La segunda modalidad, basada en un cancelador de ecos para la separación de las señales correspondientes a los dos sentidos de transmisión, permite mayores caudales a cambio de una mayor complejidad en el diseño. La Cancelación de Eco asigna a la banda ascendente sobreponerse a la banda descendente, y separa los dos por medio de la supresión de eco local, una técnica conocida en módems V.32 y V.34. Este proceso se muestra en la figura 25.

**Figura 25. Modulación ADSL DMT con cancelación de ecos.**



Como se puede ver, los espectros nunca se solapan con la banda reservada para el servicio telefónico básico (POTS o "Plain Old Telephone Service"), y en cambio

sí que se solapan con los correspondientes al acceso básico RDSI. Por ello el ADSL y el acceso básico RDSI eran incompatibles

## **2.6 EL MEDIO DE TRANSMISIÓN EN ADSL**

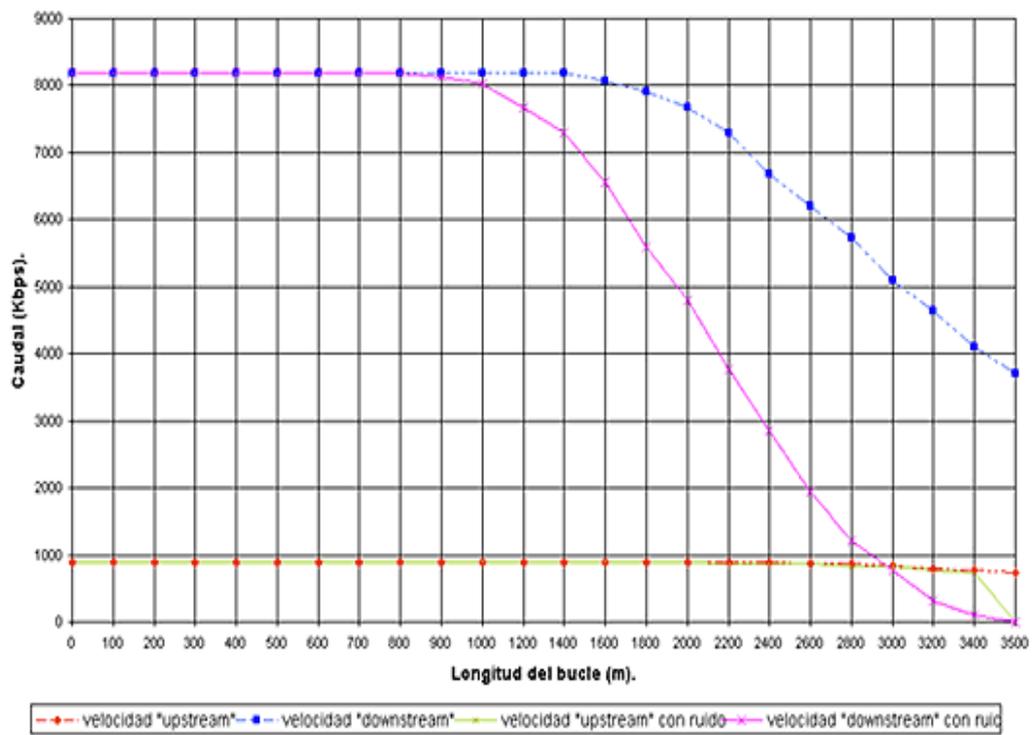
**2.6.1 Atenuación.** Debido a las capacitancias y resistencias distribuidas a lo largo de los pares de cobre, las señales de voz pueden verse distorsionadas, efectos que se ven incrementados con la distancia y en la frecuencia. Para ecualizar las líneas en el margen de frecuencias de interés para comunicaciones de voz (hasta los 4kHz), las compañías telefónicas instalaron inductores en las líneas más largas. Estos inductores mejoran la respuesta en frecuencia en la banda de voz, pero incrementan la atenuación para los señales que están fuera de esta banda. En consecuencia, estos inductores deben ser retirados para transmisiones ADSL a alta velocidad, con los que se obligaría utilizar terminales multiplexores.

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas. Y cuanto mayor es la longitud del lazo, tanto mayor es la atenuación total que sufren las señales transmitidas. Ambas cosas explican que el caudal máximo que se puede

conseguir mediante los módems ADSL varíe en función de la longitud del lazo de abonado. En la figura 26 se muestra el Caudal máximo (Kbps) de los módems ADSL en función de la longitud del lazo de abonado se representa la curva del caudal máximo en Kbps, tanto en sentido ascendente como descendente, que se puede conseguir sobre un lazo de abonado con un calibre de 0,405 mm., sin ramas multiplexadas. En la figura 26 se representan las curvas con y sin ruido.

**Figura 26. Caudal máximo (Kbps) de los módems ADSL en función de la longitud del lazo de abonado.**

Caudal máximo en función de la longitud en un bucle de abonado con un calibre de 0,405 mm, sin ramas multiplexadas. Fuente de -43 dBm en los bucles con ruido.



De esta manera, la atenuación en ADSL también depende del calibre de las líneas de cobre. Ignorando los Bridge Taps en las líneas, ADSL se comporta de la siguiente manera:

- Velocidades de datos de 1,5 ó 2 Mbps; calibre del hilo 24 AWG (American Wire Gauge; a menor número de AWG le corresponde un mayor diámetro del hilo) (es decir, 0,5 mm), distancia 5,5 Km
- Velocidades de datos de 1,5 ó 2Mbps; calibre del hilo 26 AWG (es decir, 0,4 mm), distancia 4,6 Km.
- Velocidad de datos de 6,1 Mbps; calibre del hilo 24 AWG (es decir, 0,5 mm), distancia 3,7 Km.
- Velocidad de datos de 6,1 Mbps; calibre del hilo 26 AWG (es decir, 0,4 mm), distancia 2,7 Km., etc.

**2.6.2 Ruido.** Podemos diferenciar entre dos tipos de ruido que pueden afectar a una transmisión ADSL sobre cable de cobre:

- **Ruido intrínseco:** ruido térmico, ecos, reflexiones, atenuación y crosstalk. también hay otros componentes presentes en la infraestructura del cableado como protectores de sobrecargas, filtros de radiofrecuencia o puentes. Debemos sumar la imperfecciones en la instalación del cable, como pares en mal estado, contactos con tierra o humedades.

- **Ruido extrínseco:** básicamente se trata de ruido impulsivo generado por chispas eléctricas, vallas eléctricas, líneas de alta tensión, maquinaria, interruptores, luces fluorescentes. Muy importantes son también las interferencias de las emisoras de radio.

Podemos también clasificar los ruidos en función de limitadores de la capacidad o del funcionamiento:

- Limitadores de la capacidad: ruido que cambia lentamente, como el ruido térmico o el crosstalk.
- Limitadores del funcionamiento: ruido intermitente por naturaleza, como los impulsos o las interferencias radio. Es impredecible, por lo que obliga a dejar un margen de seguridad en el diseño. En ADSL se utiliza el entrelazado y códigos adaptativos de línea para mitigar estos efectos.

La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación Señal / Ruido con la que trabaja cada una de las subportadoras, y esa disminución se traduce en una reducción del caudal de datos que modula a cada subportadora, lo que a su vez implica una reducción del caudal total que se puede transmitir a través del enlace entre el ATU-R y el ATU-C.

Hasta una distancia de 2,6 Km de la central, en presencia de ruido (caso peor), se obtiene un caudal de 2 Mbps en sentido descendente y 0,9 Mbps en sentido ascendente. Esto supone que en la práctica, teniendo en cuenta la longitud media

del lazo de abonado en las zonas urbanas, la mayor parte de los usuarios están en condiciones de recibir por medio del ADSL un caudal superior a los 2 Mbps.

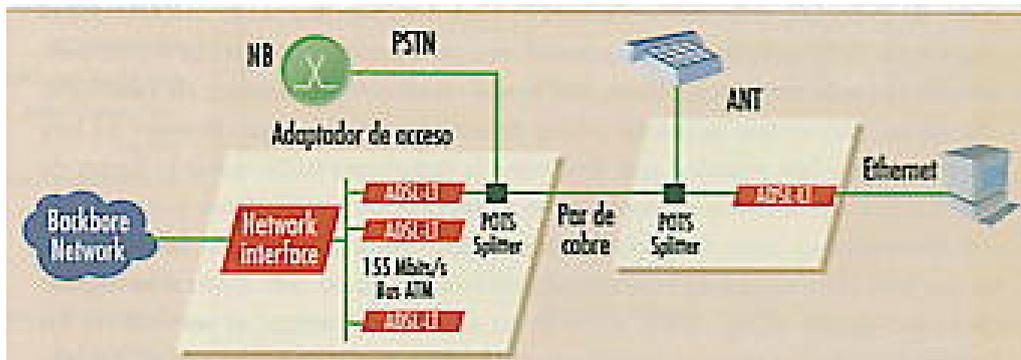
## **2.7 UNA VERSIÓN MAS ECONÓMICA: G.LITE O DSL LITE**

En Enero de 1998, el Grupo de Trabajo de ADSL Universal (UAWG) anunció el desarrollo de una variante de ADSL de bajo costo y velocidad para poder ser instalada y utilizada más rápidamente por los proveedores de servicios. El resultado de este trabajo fue un nuevo estándar conocido como G.Lite.

G.Lite es también conocido como DSL Lite, splitterless ADSL (sin filtro voz/datos), y ADSL Universal. Hasta la reciente llegada del estándar, el UAWG (Universal ADSL Work Group) llamaba a la tecnología G.Lite, Universal ADSL. En Junio de 1999, G.992.2 fue adoptado por la ITU como el estándar que recogía esta tecnología.

Desafortunadamente para los consumidores, G.Lite es más lento que ADSL. Ofrece velocidades de 1.3Mbps (descendente) y de 512Kbps (ascendente). Los consumidores de G.lite pueden vivir a más de 18,000 pies (5.5 Km.) de la oficina central, siendo disponible la tecnología a un muy mayor número de clientes.

Figura 27. Instalación de ADSL G.Lite



En la figura anterior se muestra una instalación de ADSL G.Lite. Como se puede observar en la parte de la central telefónica existen tantos módems ADSL G.Lite como posibles líneas de entrada tenga. Todos ellos unidos a una red ATM de alta velocidad que está conectada a una línea de Internet.

**2.7.1 Características.** Esta versión de DSL se creó porque en la tecnología ADSL existe un elemento que podría limitar su crecimiento. En la primera versión del estándar, ADSL, se define el “*splitter*”, el cual requiere una instalación y configuración compleja, desde el punto de vista de un usuario doméstico o de la pequeña empresa.

Los vendedores de productos ADSL rápidamente se dieron cuenta que muchos de los problemas que enfrentaba ADSL podían resolverse fácilmente reduciendo la velocidad a la que operaba el servicio. Para la mayoría de los usuarios

residenciales, la reducción en velocidad podría ser difícilmente apreciable. Generalmente existen cuellos de botella en Internet, los cuales limitan las velocidades de transferencia. En Internet un sistema mas lento a menudo va a retener la misma información en la misma cantidad de tiempo que un sistema con una conexión mas rápida. Debido a este hecho, la velocidad limite de G.Lite es de 1.544 Mbps. Aunque mucho mas lento que la velocidad máxima de ADSL, esta reducción de la velocidad ayuda a eliminar problemas y es todavía mas rápido que lo que la mayoría de los usuarios requieren.

Como se ha mencionado, el G.Lite es un estándar que contempla, entre otras cosas, una red sin *splitters*, obteniendo un sistema equivalente a un módem tradicional.

ADSL usa el *splitter* en el POTS para separar las señales provenientes de la red de voz y la red de datos del usuario, pero G.Lite mantiene todo en una simple red residencial. En algunos casos el cableado en la casa es viejo, y las señales de voz y datos pueden interferir entre ellas. En estos casos, se necesita equipo extra para eliminar el ruido. Para resolver el problema, se colocan pequeños microfiltros en cada línea telefónica en la casa. Los microfiltros son pequeños, fácil de conectar y relativamente baratos.

Con esta tecnología se abren muchas posibilidades, y podemos pensar en dispositivos “*plug & play*” incluidos de serie dentro de nuestro computador, integrado con cualquier sistema operativo.

**2.7.2 Ventajas y Desventajas.** La principal ventaja de G.Lite es que esta es instalable por el consumidor. Provee velocidades que se ajustan a los usuarios residenciales muy bien. El estándar también hace que el trabajo de los fabricantes de hardware sea más fácil. Con la eliminación del splitter del lado del POTS, se reduce el número de componentes así como también la complejidad del sistema. Una velocidad de datos más baja permite más ruido y por lo tanto requiere menos procesamiento de la señal.

La desventaja de G.Lite es que no ofrece toda la velocidad que ofrece ADSL. Para clientes que requieren gran velocidad de descarga y están conectados a un backbone de muy alta velocidad (el cual ayudaría a evitar los cuellos de botella de Internet), puede que G.Lite no ofrezca velocidad suficiente.

## 2.8 COMPARACIÓN DE ADSL CON OTRAS TECNOLOGÍAS

**2.8.1 ADSL vs. CABLE-MODEMS.** ADSL utiliza como elementos de red en cada extremo del usuario después de la línea telefónica de Cobre existente un "splitter del POTS" para separar las transmisiones de voz y datos (si no se utiliza ADSL-Lite) y detrás se coloca el módem ADSL compatible con uno de los Puntos de Presencia del NSP.

Como ADSL funciona punto a punto, no necesita control de acceso al medio y cada usuario obtiene toda la velocidad disponible de forma continua. Sin embargo, la velocidad de los módem ADSL depende de la distancia de la línea y las líneas más largas soportan velocidades menores que las de mayor longitud. Los "módem ADSL de velocidad variable" se adaptarán a la longitud de la línea ofreciendo servicio de velocidad elevada a los abonados telefónicos. Los módem de cable y los módem ADSL presentan capacidades comparables y ambos pueden operar sobre infraestructuras basadas en IP de banda ancha. Entre los factores diferenciales que se pueden identificar figuran:

- a. Seguridad. Todas las señales circulan a todos los usuarios de los módem de cable en una única línea coaxial, lo cual facilita las posibles escuchas clandestinas intencionadas ó accidentales. ADSL es inherentemente más

seguro ya que proporciona un servicio dedicado sobre una única línea telefónica. Las escuchas clandestinas intencionadas requieren invadir la propia línea (a menudo subterránea) y conocer la configuración del módem establecida durante la inicialización, no es imposible, pero si más difícil. El cifrado y la autenticación son dos mecanismos de seguridad importantes en ambos módem pero de vital importancia en los módem de cable.

- b. Fiabilidad. Si se corta una línea CATV de los módem de cable se deja sin servicio a todos los usuarios de esa línea (este problema necesita atención de gestión de red). Los amplificadores en redes CATV (con cable coaxial) suelen presentar algunos problemas. Un fallo de un módem ADSL sólo afecta a un abonado y las líneas telefónicas son bastante fiables ante agentes climáticos.
- c. Escalabilidad. Aunque los módem de cable presentan un mayor ancho de banda de la red al abonado (hasta 30 Mbps), dicho ancho de banda se comparte entre todos los usuarios de la línea y por tanto variará en algunos casos de forma muy acusada. El primer usuario de un módem de cable de una línea dada tendrá un servicio excelente. Cada usuario adicional añadido crea ruido, carga el canal, reduce la fiabilidad y degrada la calidad de servicio para todos en la línea. La calidad de servicio también se degradará cuando los usuarios de Internet en vez de enviar texto y baja tasa de gráficos envíen multimedia y alta tasa de gráficos. ADSL no sufre de degradación debido al tráfico ó número de usuarios de la red de acceso. Sin embargo, ADSL debe trabajar con un concentrador de acceso de algún tipo que podrá congestionarse durante las horas pico. Si la salida del concentrador no es

superior que la velocidad de un único módem de cable tendrá una degradación idéntica. Sin embargo, es probable que sea más fácil añadir capacidad al concentrador que dividir los nodos coaxiales que es el remedio comparable en líneas / redes HFC (*Hybrid Fiber/Coax*) sobre los que operan los módem de cable.

En la tabla 1 podemos resumir algunas diferencias ya citadas y añadir algunas otras.

**Tabla 1. Comparación de ADSL con la tecnología Cable-Modem**

	ADSL	CABLE-MODEM
Canal hasta la central telefónica	Compartido para cada 10 usuarios.	Compartido para todos los usuarios de varios bloques de edificios.
Cableado adicional en el edificio	Sólo cableado interno. Aprovecha el cableado ya existente	Necesario.
Cobertura	80% del territorio del país	Parcial. Concentrada en zonas urbanas.
Velocidad independiente del número de usuarios	Sí (garantizando el 10% de la velocidad contratada)	No
Seguridad	Alta, al disponer de un cable independiente y exclusivo hasta la central	Baja, al compartir un mismo cable todos los vecinos pertenecientes a un área

Velocidad		
Descendente hacia el PC	256 Kbps-2 Mbps	256 Kbps-1Mbps
Ascendente hacia Internet	128 Kbps-300 Kbps	128 Kbps-512 Kbps

**2.8.2 ADSL vs. ISDN.** ISDN es una tecnología de una compañía telefónica la cual da servicio digital en incrementos de canales de 64 Kb/s. ISDN ha sido utilizado por muchos años, pero su popularidad solo ha empezado a incrementarse debido a las limitaciones de los módems analógicos y el gran uso de Internet. ISDN requiere la instalación del servicio de la compañía telefónica. Utiliza el cable trenzado y posee un acceso más veloz para particulares y pequeñas empresas.

ISDN también podría llegar a ser considerada como un servicio ADSL. Las tecnologías ISDN y ADSL comparten algunas características técnicas como el uso de la infraestructura existente del cable de la compañía telefónica y la calidad del servicio digital y algunas ventajas como bajo ruido, menores interferencias y transmisiones más claras de voz.

Sin embargo, podemos citar algunas diferencias con la tecnología ADSL:

- Es un servicio conmutado en el que ambos terminales deben soportar ISDN, mientras que ADSL es un servicio punto a punto.

- ISDN necesita potencia externa para operar. Para asegurar un funcionamiento continuo, los consumidores necesitan un sistema de potencia de "back-up" o un conjunto de líneas de par trenzado de reserva. Por el contrario, xDSL lleva su propia potencia en la línea. Si esta potencia falla, los datos transmitidos por xDSL se pierden, permaneciendo operativo el servicio telefónico.

Pero la diferencia más importante es que ISDN es un medio de conexión que funciona bajo la conmutación de circuitos, mientras que ADSL es un tipo de conexión punto-punto. Esto quiere decir que si queremos realizar una conexión con nuestro proveedor de Internet, utilizando una ISDN, debemos realizar el marcado de un número telefónico que a través de una central nos encaminará hasta el dispositivo receptor. El mismo caso ocurriría si lo que deseamos es llamar a la red de nuestra empresa.

Utilizando un módem ADSL, la conexión que existe es permanente, es decir, no es necesario realizar ningún tipo de marcado para lograr el acceso a Internet. Este tipo de conexión denominado punto-punto tiene la ventaja de que el ancho de banda que existe entre el módem receptor de la llamada, instalado en la central telefónica, y el nuestro no es compartido por ningún otro usuario. En la central telefónica deben de existir tantos modems ADSL como líneas para este uso tengan en esa área metropolitana, estando todos estos módems enlazados mediante un conmutador Ethernet, un router o un conmutador ATM, que a su vez tenga una conexión con una línea de alta velocidad a Internet. De esta forma es

posible tener nuestro computador conectado de forma permanente a Internet por una cantidad fija de dinero.

En la tabla 2 mencionamos algunas diferencias técnicas entre estas dos tecnologías.

**Tabla 2. Comparación entre ADSL e ISDN**

CARACTERÍSTICA	ISDN	ADSL
Velocidad máxima	128Kbps	2Mbps
Dispositivo	Adaptador de red	Adaptador ADSL
Tecnología	Digital	Digital
Canal para voz	Analógico	Digital
Disponibilidad	Universal	Según ubicación

Lógicamente uno de los puntos fuertes de ADSL es su velocidad, ya que es 15 veces mayor que la ISDN, utilizando dos canales (128 Kbps), aunque esta vez la ISDN tiene varios puntos a favor; a través de un módem ADSL no es posible llamar a la red de nuestra empresa, ya que la conexión que tiene es permanente con otro módem ADSL instalado en la central. Por ello si se desea conectar con otros servidores o incluso mandar un fax, debemos de hacerlo a través de un módem tradicional. En el caso de una línea ISDN esta posibilidad sí es viable, además, este tipo de conexión digital ofrece mucha mayor calidad a la hora de enviar voz, mientras que de un módem ADSL se extrae la habitual línea de voz de un sistema telefónico. Otra de las ventajas de las líneas ISDN es su

independencia de la distancia donde se encuentre el módem receptor de la llamada.

Es caso de un fallo en el fluido eléctrico la comunicación a través de ISDN queda interrumpida ya que no existe alimentación para el terminal del abonado. En cambio, la tecnología ADSL, permite poder seguir utilizando el canal de voz aún habiendo un fallo del fluido eléctrico, a pesar de que el canal de datos quede inutilizable.

**2.8.3 ADSL vs. Módem analógico.** Se trata de la tecnología de acceso más sencilla y barata, por lo que es la más extendida entre Kbps en la mayor parte de los particulares y tiene también presencia en el ámbito empresarial. La velocidad más alta que se puede alcanzar a través de este medio es de 56,6 Kbps (tan sólo en el sentido de recepción por el usuario), utilizándose habitualmente velocidades de entre 28,8Kbps y 33,6Kbps.

El carácter limitado del ancho de banda permitido por esta tecnología la inutiliza para aplicaciones que requieran un intercambio de datos intensivo. No obstante, sigue siendo válida para una gran parte de las aplicaciones actualmente existentes.

Para que se produzca la comunicación debe haber un módem de 56 Kbps en cada extremo de la conexión que use técnicas de modulación compatibles. Así pues, los proveedores de servicios de red y los proveedores de servicios de Internet deben tener módems V.90 en sus servidores. Incluso cuando se conecten dos módems de 56 Kbps entre el usuario y el servidor, estos módems solamente llegarán a sus velocidades máximas cuando la conexión tenga una única conversión analógico/digital.

Otro hecho importante que se debe tener en cuenta es que es una tecnología asimétrica. Los 56 Kbps se consiguen en sentido red-usuario mientras que la velocidad en sentido contrario se encuentra en un rango que va desde 28'8 hasta 33'3 Kbps.

**2.8.4 ADSL vs. Líneas Dedicadas.** Una línea dedicada es una línea física alquilada a una compañía telefónica o un proveedor de red que conecta dos o más puntos. Fuera de lo que es Internet, se utilizan normalmente para formar redes de área amplia (WAN o Wide Area Network) en contraposición a las redes locales o LAN (Local Area Network). Los ISP también compran líneas dedicadas para ofrecer a sus abonados mayores velocidades de transmisión cuando acceden a través de un módem. Como forma de acceso a Internet estas líneas se utilizan

mayoritariamente para accesos empresariales o para desarrollar soluciones B2B, dado su elevado costo.

**2.8.5 ADSL vs. Líneas Frame Relay.** Frame relay es un servicio de telecomunicaciones diseñado para transmitir datos de una forma eficiente en costos para el tráfico intermitente. El usuario percibe una conexión permanente sin tener que incurrir en el costo de una línea dedicada. Este servicio ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años y se ha impuesto sobre soluciones como las líneas punto a punto o las redes X.25. A pesar de ello, el servicio frame relay tenderá a ser sustituido a medio plazo por los servicios de ATM, mucho más avanzados y dotados de mayor funcionalidad.

**2.8.6 ADSL vs. Acceso a través de satélite.** La gran ventaja de la comunicación a través de satélite es que no se requiere el uso de líneas telefónicas o cable, por lo que es un medio idóneo para alcanzar usuarios remotos o para cubrir una amplia zona en un tiempo menor (y con menores inversiones) que el necesario para extender en la misma una red de cable. Como principal inconveniente conviene señalar que el satélite no permite, de momento, la comunicación bidireccional.

Las siguientes generaciones de satélites de baja órbita (LEO) ofrecen ventajas sobre los geoestacionarios (GEO) ya que, al situarse en órbitas más bajas, precisan de una potencia menor para transmitir y la demora de la señal entre el satélite y la unidad terrestre es menor. Sin embargo, el costo de despliegue de un sistema de baja órbita es muy elevado, al requerir un elevado número de satélites.

**2.8.7 ADSL vs. LMDS y MMDS.** Los sistemas LMDS (*Local Multipoint Distribution Services*) o MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Services*) utilizan enlaces radioeléctricos desde la antena de una estación base hasta las unidades instaladas en el domicilio del usuario, por lo que se evita la necesidad de la instalación de líneas fijas. El impacto de estas tecnologías radica en que permite el acceso al lazo local o lazo de abonado (local loop), que hoy por hoy está en general sujeto al monopolio del operador establecido, sin la necesidad de desplegar una red de cable.

Entre las ventajas que presenta esta tecnología cabe destacar el menor costo de infraestructura, la mayor velocidad de despliegue y fácil escalabilidad, así como unas prestaciones similares al cable. Como principales inconvenientes, los derivados de la ausencia de un medio físico: inseguridad en las transmisiones y calidad del servicio. Así, esta tecnología es sensible a elementos atmosféricos como la lluvia.

**2.8.8 ADSL vs. T1 (E1).** Una línea T1 (E1 es el equivalente más cercano en Europa) es un sistema de código de pulso modulado (PCM) a 1.544 Mb/s con 24 canales multiplexados por división de tiempo de 64 Kb/s cada uno. T1 define una especificación de una interfaz de cable de cobre para transmitir entre un cliente y proveedor. No debe confundirse con un DS1. Sin embargo, hay gente que utiliza estos términos indistintamente. Las líneas T1/E1 han sido usadas en redes de voz y datos en todo el mundo donde se necesitan redes de alta capacidad. De hecho, DS1 (o T1) es un escalón en la jerarquía de sistemas con velocidades más altas (ej. T3/DS3).

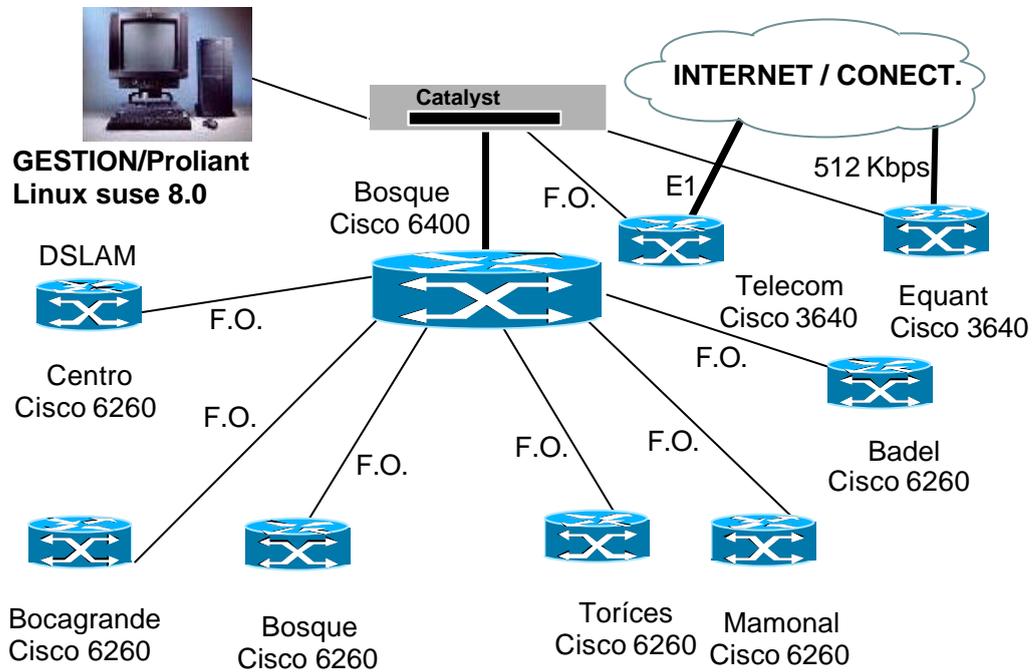
En ciertos casos, las líneas T1 han sido instaladas para usuarios finales que requerían dedicar un ancho de banda de alta velocidad entre su casa y el trabajo (o Internet). Los requerimientos del cableado T1/E1 son más rigurosos que los de xDSL. Este servicio es considerablemente más caro que si se utiliza xDSL o cable-módems. Sin embargo, el nivel de servicio para líneas T1 es muy alto.

## **2.9 ESTADO DEL ARTE DE ESTA TECNOLOGÍA EN CARTAGENA.**

**2.9.1 Descripción De La Red.** La red fue concebida para ofrecer servicios de conectividad LAN to LAN y servicios Agregados; es por ello que se escogió como socio tecnológico una compañía líder en este tipo de tecnologías, como lo es CISCO SYSTEMS. Estos productos de avanzada tecnología, la asesoría de UNISYS DE COLOMBIA S.A. y el espíritu emprendedor del personal de COLOMBIATEL S.A., han permitido implementar la primera Red de Valor Agregado de Telecomunicaciones en la Ciudad de Cartagena de Indias. Es la primera red ADSL en Colombia y la segunda en América Latina.

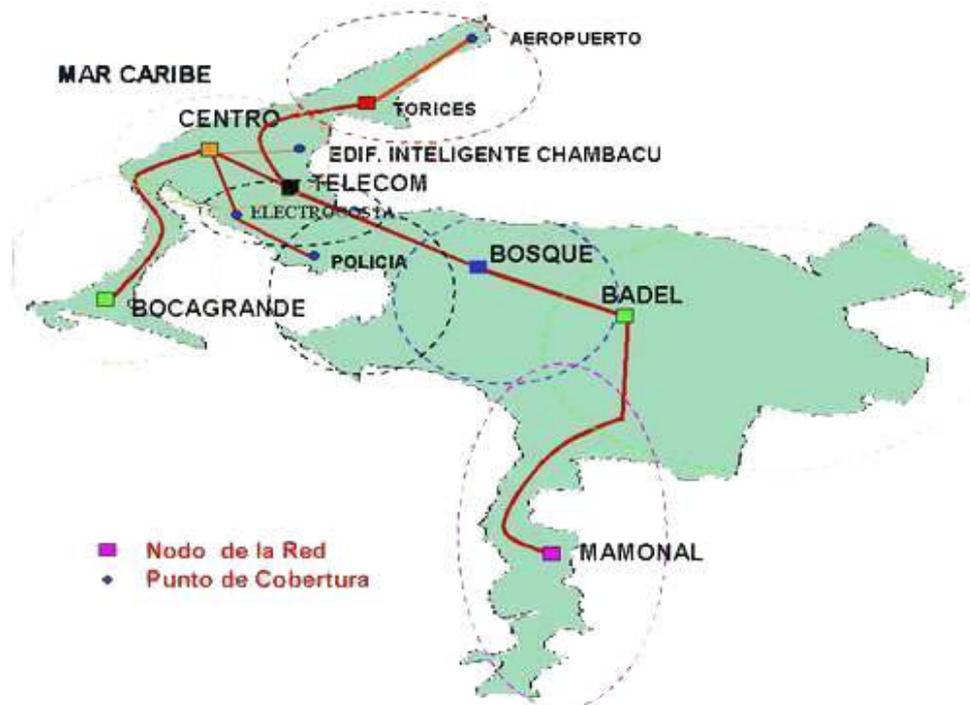
La Red cuenta con un Router Cisco 6400 en su parte central, donde convergen 6 nodos secundarios conformados por DSLAMs Cisco 6260. Cada DSLAM tiene actualmente capacidad para manejar 48 puertos ADSL lo que nos da una capacidad de 288 puertos en toda la red. Se tiene la opción de manejar hasta unos 2.000 puertos por software, lo que indica que sólo se requieren tarjetas adicionales en los DSLAM para manejar tal capacidad y por ende la inversión necesaria no es muy alta.

**Figura 28 Red ADSL de Colombiatel**



En las instalaciones de Telecom se encuentra instalado un Router Cisco 3640 que permite manejar el tráfico de datos con salida nacional que genera los clientes de Telecom, Información & Tecnología S.A. y Teledifusión S.A. Adicionalmente tienen por el mismo Router la conexión a Internet con Global One para la prestación de este servicio en la ciudad según el acuerdo de comercialización establecido con ellos; este canal tiene un ancho de banda de 512 Kbps y se encuentra entre el Router en Cartagena y el nodo de Global One en Bogotá.

Figura 29. Cobertura de la Red



En cuanto a la prestación del servicio de conectividad, que es el único servicio que hasta ahora se está explotando, utilizan para ello la red de cobre de Telectragena, algunos hilos de fibra óptica monomodo que hacen parte del Backbone y los espacios físicos en las centrales telefónicas donde tienen instalados los nodos. En lo posible tratarán de utilizar en primera instancia la red de cobre de Colombiatel.

En las figuras siguientes se muestra la estructura actual de la red y la cobertura que tienen en la ciudad.

## 2.9.2 Características De La Red

- Red IP / ATM , STM-1
- Backbone en Fibra Óptica - Reenrutamiento de tráfico
- Gestión hasta el usuario - Monitoreo permanente
- Autodiagnóstico
- Consta de 7 Nodos de Backbone
- Acceso en tecnología Adsl
- Sobre línea telefónica (Splitters)
- Sobre par de cobre
- Interfases de Acceso : 10 Base-T -RJ-45. Permite ahorro de costos al usuario final ya que se instala un Modem Cisco 677 al cliente

**2.9.3 Servicios Actuales.** Los servicios que actualmente se están ofreciendo en la red tienen que únicamente con conectividad LAN to LAN entre empresas y se han categorizado así:

- a. METROPERSONAL
- b. METROCOMERCIAL
- c. METROEMPRESARIAL

El servicio Metropersonal es el que se ofrece a usuarios residenciales y que poseen un solo computador conectado a la red. El servicio Metrocomercial se ofrece a empresas que tienen conectadas a su red hasta ocho (8) computadores y

el servicio Metroempresarial se refiere a empresas que tienen conectadas a su red hasta 16 computadores.

En las figuras siguientes se muestran las configuraciones típicas para cada una de las conexiones descritas.

**Figura 30. Metropersonal**

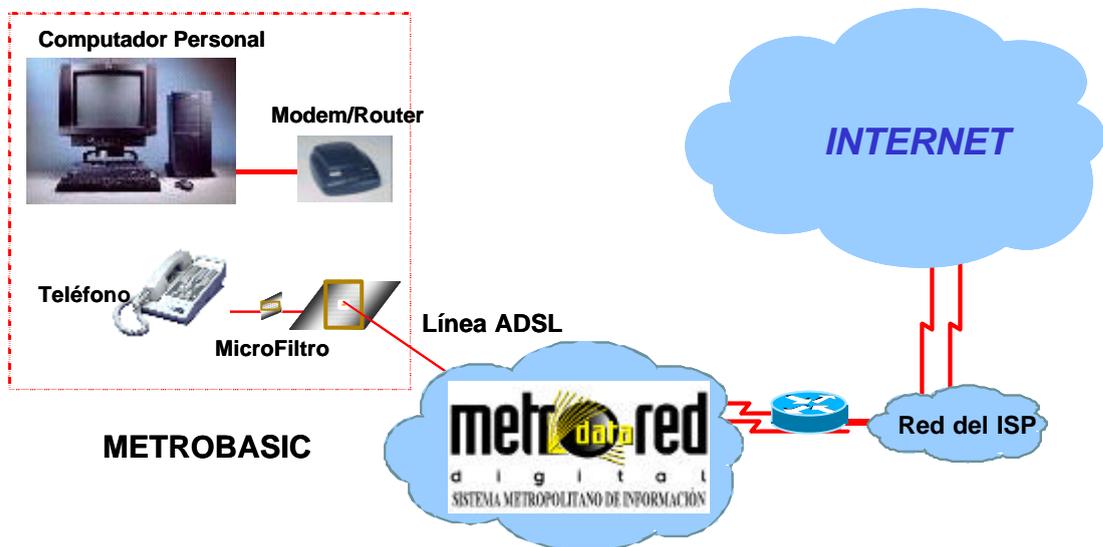


Figura 31. Metrocomercial

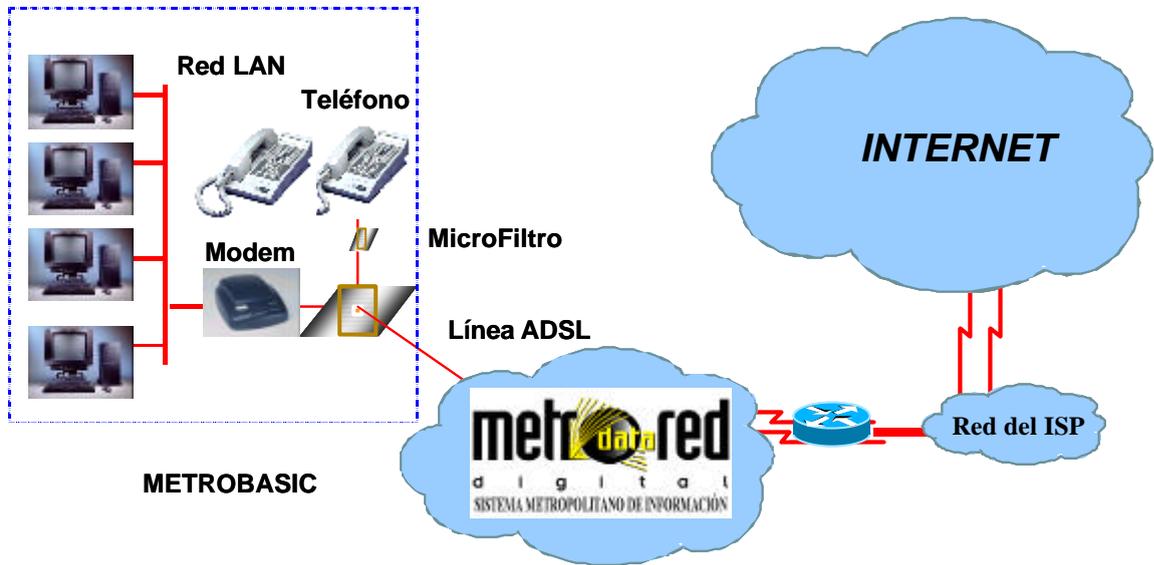


Figura 32. Metroempresarial

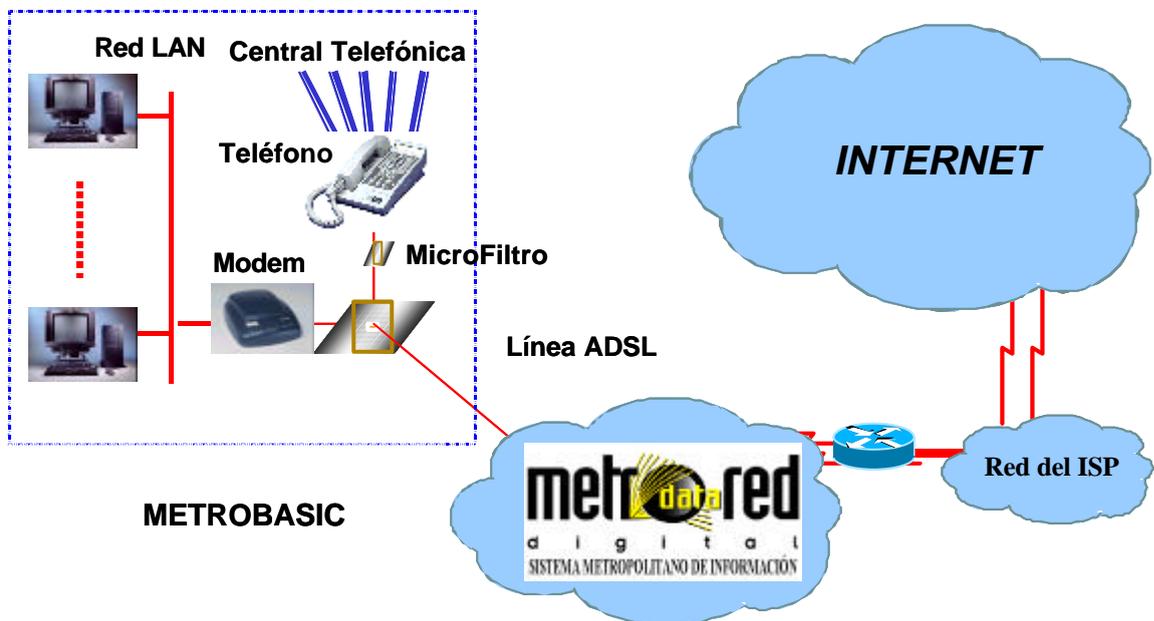


Figura 33. Soluciones de Último Kilómetro

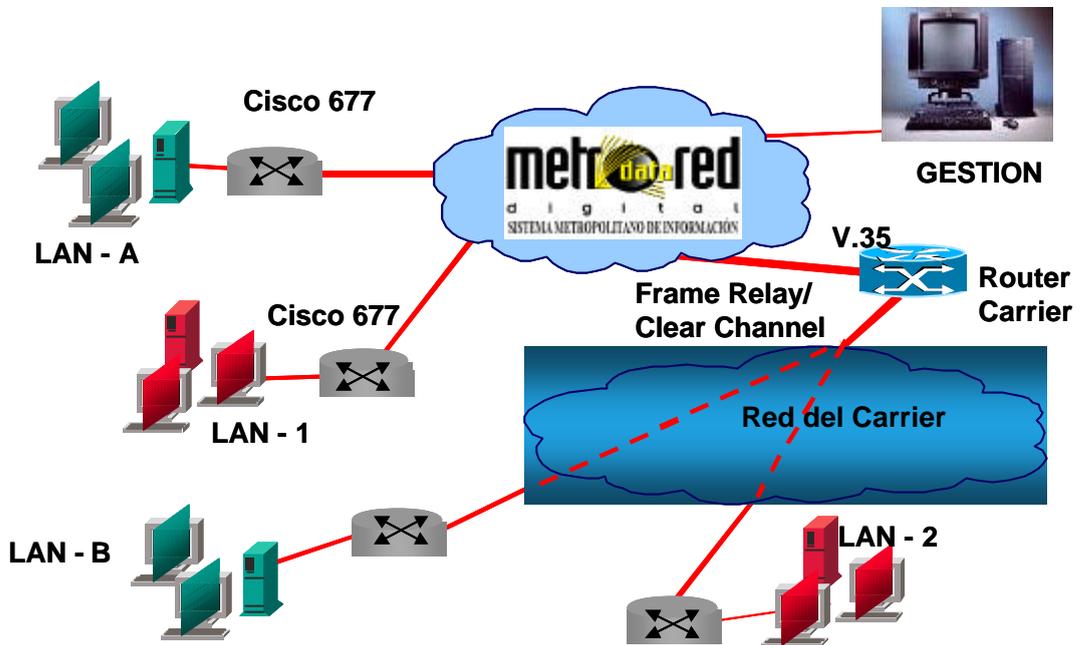


Figura 34. Red privada virtual

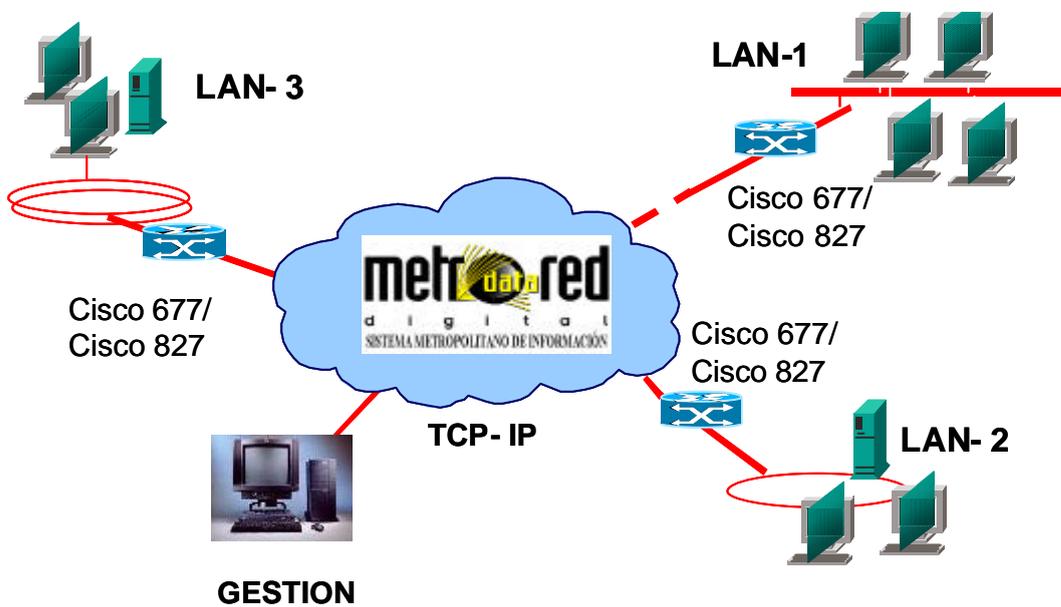
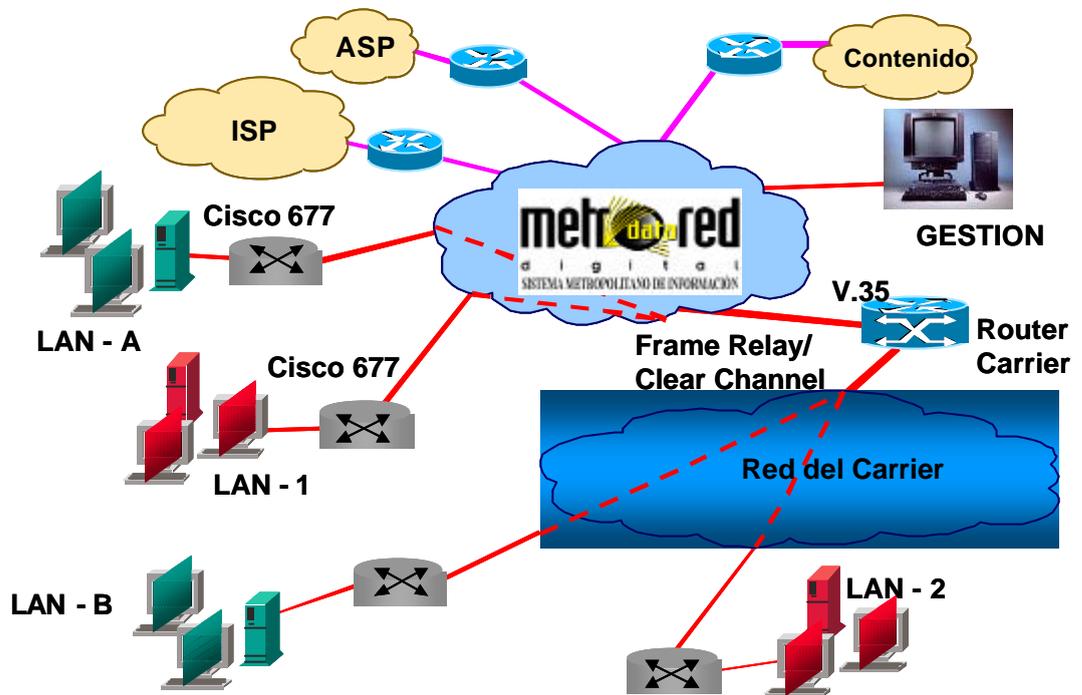


Figura 35. Integración de servicios



#### 2.9.4 Estructura Del Servicio

- Conectividad Punto – Punto
- Conectividad Multipunto
- Descuentos x Volúmenes - Para Carriers (Más de cinco puertos)
- No existe costo de acometida ni obra civil
- Mínimo valor de Conexión - Pago Único. Diferible a seis (6) meses
- Cargo Mensual - Incluye equipos y soporte 7x24

**2.9.5 Red Actual - Acuerdos Con Carriers.** En la figura siguiente se muestra la configuración actual de la red y las interconexiones con diferentes carriers nacionales para ofrecer las soluciones de último kilómetro en la ciudad.

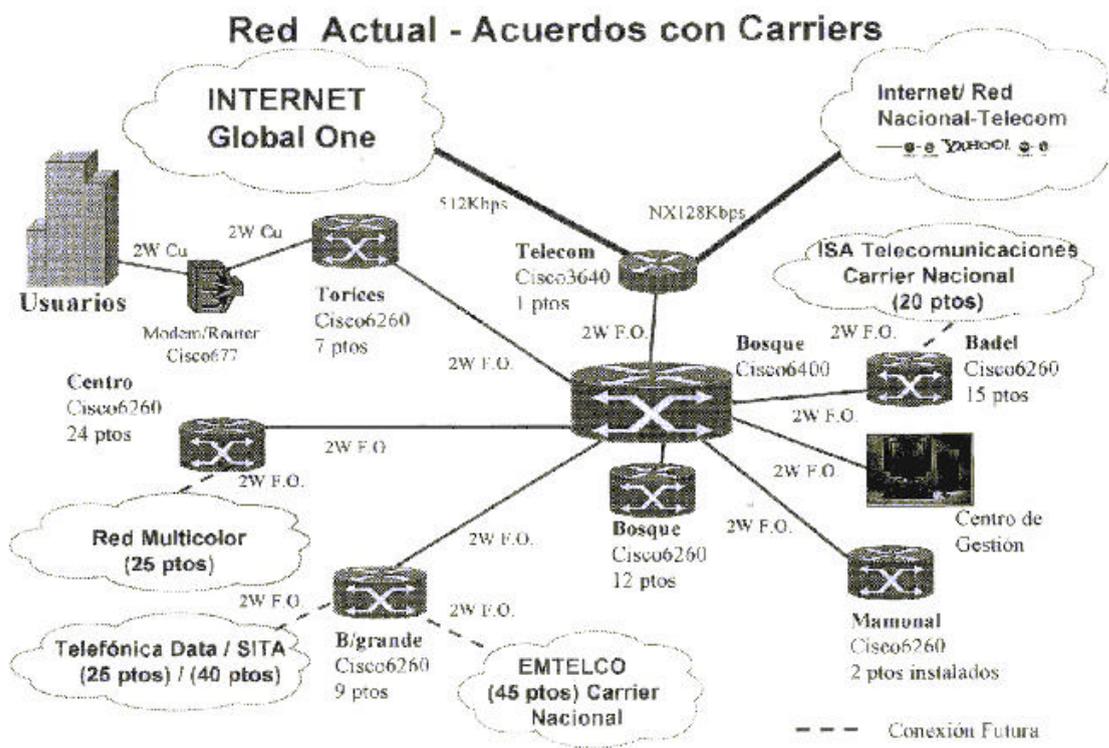
Hay un Router instalado en Telecom que permite ofrecerles últimos kilómetros en la ciudad a Telecom mismo, a Información & Tecnología S.A. y a Teledifusión S.A.; estas dos últimas empresas son comercializadoras de los servicios de Telecom.

Existe actualmente una negociación bastante avanzada con Emtelco S.A., se han realizado pruebas de interconexión, las cuales han sido satisfactorias, y están a la espera de iniciar la migración de unos 45 puertos para dar salida nacional de datos.

Con ISA Telecomunicaciones se ha planteado el mismo esquema y se requerirá instalar un router en el nodo de ISA para realizar la interconexión e incluir en la red aproximadamente 20 puertos iniciales más los que se conecten en el futuro. En iguales circunstancias se encuentran las negociaciones con Telefónica Data y SITA; por Telefónica estarán conectando unos 25 puertos y por SITA unos 40 puertos. Cabe anotar que una vez realizada la interconexión, todos los clientes nacionales de estos carriers que tengan punta de inicio o terminación en Cartagena, serán transportados por la red de Colombiatel.

La red multicolor, empresa que maneja un alto tráfico de tarjetas débito y transacciones bancarias en general, está interesada en realizar una interconexión con nosotros, lo cual nos generaría 25 puertos nuevos a la red más los nuevos usuarios que están proyectando para mas adelante.

Figura 36. Acuerdos con Carriers



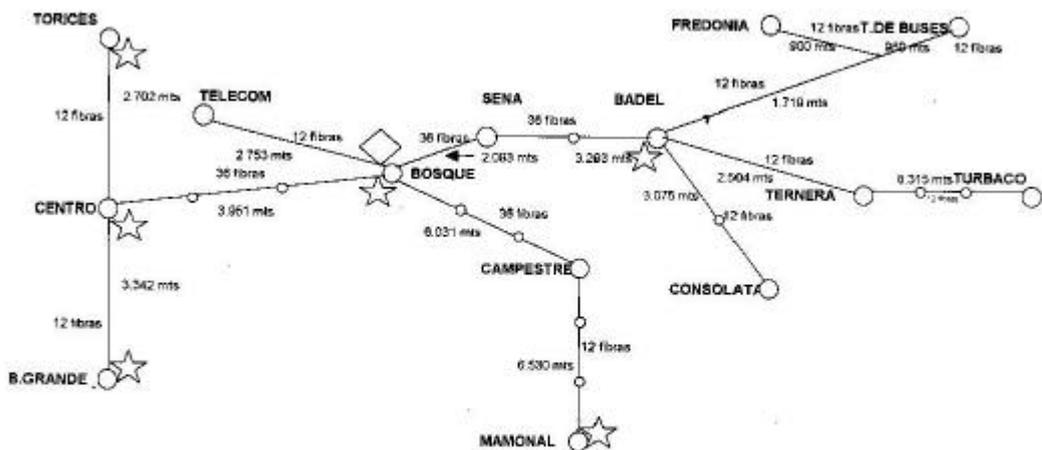
## 2.9.6 Servicios Agregados

- Intranets y Extranets

- Comercio Electrónico
- Vídeo vigilancia
- VPN remota
- Servidores de Aplicaciones
- Alojamiento de software
- Música y Vídeo por Demanda
- Vídeo educación
- Desarrollo de portales de internet.

Figura 37. Diagrama de datos

EL AREA DE INFLUENCIA DE TELECARTAGENA ESTA COMPRENDIDA POR EL AREA URBANA DE CARTAGENA Y EL MUNICIPIO DE TURBACO



CONVENCIONES

NODO CONCENTRADOR DE DATOS



CENTRAL TELEFONICA



NODO PRINCIPAL DE DATOS



SE COLOCARAN INICIALMENTE 5 NODOS CONCENTRADORES Y UN NODO PRINCIPAL EN BOSQUE PARA UNA CAPACIDAD INICIAL DE 400 SUSCRIBTORES

### 3. VDSL

Es la última versión de la serie del grupo *xDSL: Very High Speed Digital Subscriber Line*.

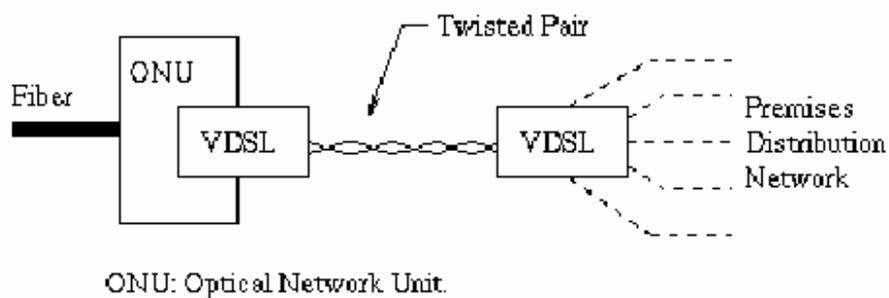
La modalidad VDSL es la más rápida de las tecnologías *xDSL*, ya que puede llegar a alcanzar una velocidad de entre 13 y 55 Mbps desde la central hasta el abonado y de 1,5 a 2,3 Mbps en sentido contrario, por lo que se trata de un tipo de conexión también asimétrica.

El rango de datos que puede lograrse depende de la longitud de la línea. VDSL ha sido desarrollado con la idea que pueda ser utilizado como método de transmisión entre el hogar (o negocio) y el punto de acceso a la red de fibra óptica que pueda ser localizada en el vecindario. De esta manera, VDSL está destinado a ser utilizado en conjunción con FTTC (*Fiber To The Curb*) o FTTB (*Fiber To The Basement*). La conexión local a la columna vertebral (backbone) de datos a grandes velocidades es hecha con la fibra. Existe un punto de acceso en la vecindad (FTTC) o en el sótano del edificio (FTTB) que es propiedad del operador de telecomunicaciones. Este centro utiliza entonces VDSL para alcanzar el hogar o negocio utilizando el lazo local existente de par trenzado.

VDSL es una tecnología que permite la transmisión de datos sobre cualquier medio físico. El medio físico utilizado es independiente de VDSL. Aunque una posibilidad es utilizar la infraestructura existente de cableado local.

Aunque es muy probable que ADSL se convierta en el más utilizado en pocos años, su uso apunta al suministro de servicio de banda ancha al hogar sobre cableados POTS (*Plain Old Telephone System*), sobre distancias relativamente grandes (18.000 pies sobre TP 25 AWG). Por otro lado VDSL operará sobre distancias mucho más cortas y suministrará rangos de datos mucho más grandes. VDSL es utilizado junto con una red de fibra óptica. La fibra óptica será extendida lo más cerca a las áreas residenciales. La siguiente figura muestra un diagrama de la configuración de una conexión VDSL.

**Figura 38. Conexión VDSL**



Al igual que las otras tecnologías xDSL, VDSL provee un canal de flujo descendente y un canal de flujo ascendente. El canal de flujo descendente posee usualmente un tasa de bits mucho más alta. Esto es apropiado para las clases de

aplicaciones que las tecnologías xDSL utilizarán para proveer una alta tasa de datos dentro del hogar.

Aunque el estándar VDSL aún no ha sido concluido, se estima que esta tecnología proporcionará en las conexiones desde la red de fibra óptica y los clientes. Las velocidades (desde la red al cliente ) proyectadas alcanzarán 1/12, 1/6 y 1/3 de la velocidad de SONET.

### **3.1 VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN**

Las velocidades de transmisión dependen de la distancia que haya que cubrir. Las tasas descendentes son submúltiplos de SONET y SDH de 155.52 Mbps, normalmente 51.84 Mbps, 25.92 Mbps y 12.96 Mbps, tal como de muestra en la tabla 3.

Las tasas ascendentes están bajo discusión; están entre rangos generales de 1.6 a 2.3 Mbps y de 19.2 Mbps para las mismas distancias que las tasas descendentes.

**Tabla 3. Velocidades de VDSL en función de la distancia**

RANGO DE VELOCIDAD	DISTANCIA (FT)	DISTANCIA (M)
12.96 - 13.8 Mbps	4500	1500
25.92 - 27.6 Mbps	3000	1000
51.84 - 55.2 Mbps	1000	300

Al igual que ADSL, VDSL puede transmitir video comprimido. Para detectar tasas de errores compatibles con video comprimido, VDSL tendrá incorporado un FEC (*Forward Error Correction*) con un intervalo suficiente para corregir todos los errores producidos por el ruido.

VDSL es muy similar a ADSL, pero con mayor velocidad de transmisión. ADSL tiene que enfrentar algunos problemas que el concepto de VDSL elimina. Estos incluyen los largos rangos dinámicos que ADSL tiene que tratar, y las grandes distancias. Por estas y otras razones, el diseño de ADSL se hace más complejo que VDSL. Los operadores de telecomunicaciones han apuntado que el costo es un requerimiento importante. Por esto VDSL será menos complejo y así menos costoso

## 3.2 SELECCIÓN DEL ANCHO DE BANDA

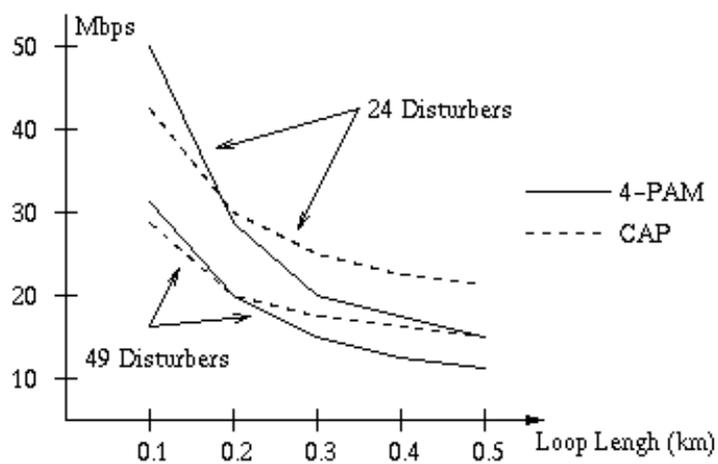
Un aspecto de la especificación VDSL que está siendo estudiado es el ancho de banda del sistema. Si el código de línea utilizado para VDSL es CAP, entonces el ancho de banda del sistema verifica directamente algún valor para un rango de símbolos. El rango del bit es dado por el tipo de QAM utilizado.

El ruido en el canal impone un límite sobre el rango del símbolo y los bits por símbolo que pueden ser utilizados. Por medio de los estudios realizados se asume un sistema asimétrico, con una relación de 10:1 en los rangos de datos (flujo descendente / flujo ascendente). En este escenario, el modelo de ruido asumido toma en consideración principalmente el FEXT. Otra importante fuente de ruido presente en este medio es el ruido Gaussiano, con una altura espectral de dos lados de -140 dBm/Hz. La Interferencia Radio frecuencial (RFI) es también tomada en cuenta, aunque no está claro como cuantificar su impacto sobre la línea de transmisión.

Se considera dos implementaciones de VDSL que utilizan CAP (Carrierless AM/PM) y PAM (Pulse Amplitude Modulation) respectivamente. Escoger PAM tiene la ventaja que este esquema de transmisión banda base hace uso de bandas de frecuencia baja, las cuales están menos sujetas al ruido (atenuación y

crosstalk). Por otro lado, CAP puede permitir utilizar POTS (servicio de voz) o ISDN simultáneamente con VDSL. En la figura 39 se muestra una comparación de la capacidad de transmisión de VDSL usando CAP y PAM. El número de perturbadores es el número de pares trenzados en el mismo cable multipar que pueden estar interfiriendo uno a otro si portan también señales VDSL.

**Figura 39. Comparación de la transmisión con CAP y PAM**

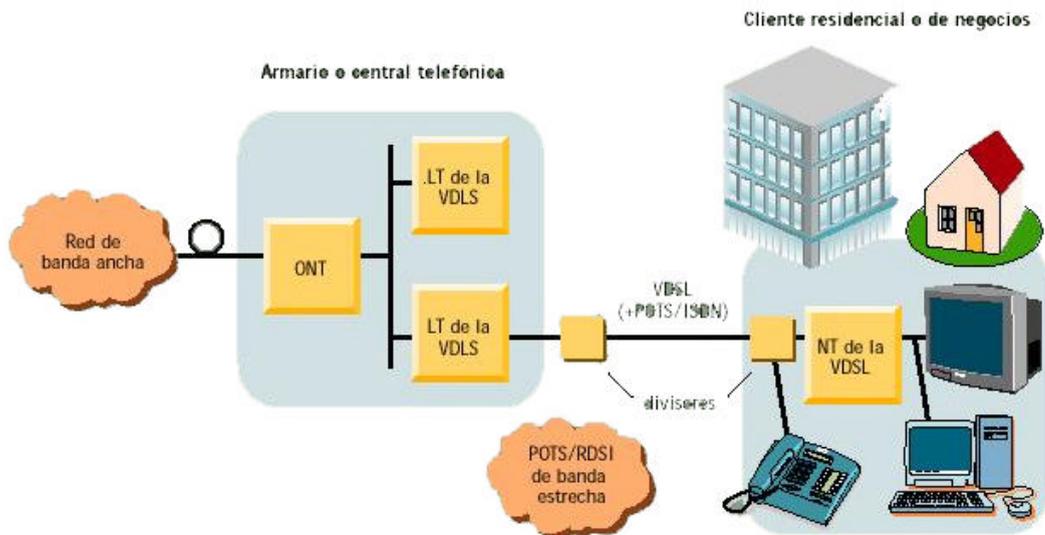


### 3.3 ARQUITECTURA DE LA RED VDSL

Debido a las limitaciones de distancia, VDSL será suministrada a menudo desde un armario situado en la calle equipado con una fibra óptica conectada a la red

backbone. Esta topología FTTCab (Fibra Hasta el Armario), es tal como se muestra en la figura 40.

**Figura 40. Topología FTTCab con VDSL**



Alternativamente, VDSL puede ofrecerse desde una central telefónica para dar servicio a los abonados situados en la proximidad inmediata de la central, con la topología FTTEEx (Fibra Hasta la Central). Incluso otra topología posible es utilizar VDSL para la transmisión de datos y multi-video en bloques de apartamentos con una ONT (Terminación de Red Óptica) en el sótano, dando servicio a los apartamentos individuales sobre los cables telefónicos existentes.

Es también posible el funcionamiento simultáneo de VDSL y de los servicios de banda estrecha tradicionales, como POTS o RDSI, sobre una única línea telefónica. Esto requiere un divisor en cada extremo de la línea para separar la

señal VDSL de mayor frecuencia de la señal POTS o RDSI de menor frecuencia (transmisión fuera de banda). De forma alternativa, los servicios de banda estrecha pueden transmitirse formando parte de los datos digitales.

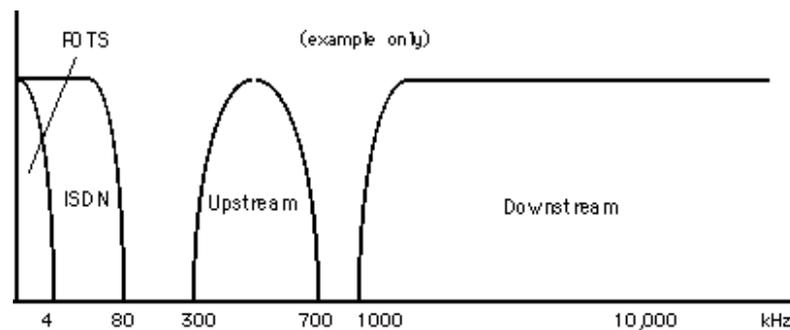
Los sistemas VDSL están diseñados para trabajar en un entorno ruidoso muy hostil. En concreto, deben ser capaces de poder hacer frente a interferencias procedentes de emisiones de radio y de las transmisiones de los radioaficionados. Al mismo tiempo, deben tomarse precauciones para limitar las emisiones indeseadas de un sistema VDSL en las bandas de radio sensibles, tales como las bandas de los radioaficionados reconocidas internacionalmente. Esto puede requerir que la PSD (Densidad Espectral de Potencia) transmitida en estas bandas sea recortada en 20 dB o más. La conformación espectral debería asegurar además la compatibilidad espectral con otros servicios heredados (T1/E1, RDSI, ADSL, HDSL, etc) en el mismo grupo de pares trenzados de cobre y una buena partición de la capacidad del cable entre los diferentes pares del cable, por medio de una reducción de la potencia, es decir, conformando la PSD de transmisión en el sentido ascendente de la NT de forma que no se impida la recepción de transmisores remotos en el armario o en la central telefónica. La máxima potencia de transmisión que los sistemas VDSL pueden inyectar en la línea en cualquiera de sus extremos es de 11,5 dBm, en comparación con los 20 dBm y los 13 dBm, respectivamente, para la transmisión en sentido descendente y ascendente en ADSL.

El TM6 de ETSI y el Comité T1E1.4 del ANSI han adoptado ambos códigos de línea para los estándares (en pruebas) de VDSL actualmente en desarrollo. Además, se ha seleccionado FDD (Duplexación por División de Frecuencia) como técnica de duplexación por parte del ETSI, ANSI y de la UIT.

### 3.4 SEPARACIÓN DEL CANAL

Las primeras versiones de *VDSL* podrían emplear el Multiplexaje por División de Frecuencia para separar el canal que va de la red al cliente, en los canales respectivos de voz y datos.

**Figura 41. Separación de los canales.**



La cancelación del eco puede ser requerida para versiones posteriores de *VDSL*, caracterizando a una tasa asimétrica de datos.

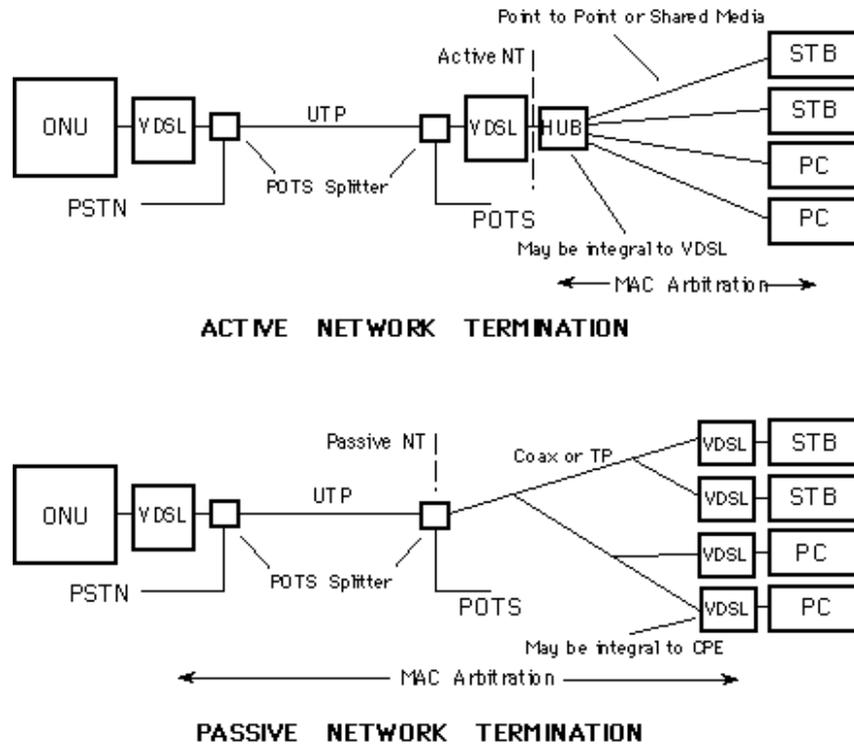
### **3.5 FEC (Forward Error Correction)**

FEC sin duda, utilizará una especie de código Reed Soloman para corregir la ráfaga de errores causados por la introducción de ruido. La estructura será muy similar a ADSL como se define en el estándar T1.413. Un interrogante es si la cabecera de FEC (en el rango de 8%) se tomara de la capacidad de la carga o agregada como una señal fuera de banda. La primera forma reduce la capacidad de la carga pero mantiene la extensión nominal, mientras que la segunda forma mantiene la carga nominal pero sufre una pequeña reducción de extensión. El tratamiento del ruido será muy similar al implementado para ADSL.

### **3.6 MULTIPLEXAJE EN LA DIRECCIÓN DEL CLIENTE A LA RED**

Si las unidades locales de *VDSL* comprenden terminaciones de red activas, el multiplexaje de más de un CPE a uno simple es responsabilidad de la red local. Las unidades *VDSL* presentan un flujo de datos en ambas direcciones. Un tipo de red local involucra una estrella que conecta cada CPE a un interruptor o borne de multiplexaje. Existen dos configuraciones de NT, pasiva y activa, las cuales se muestran en la figura 42.

Figura 42. Configuraciones de las NT para VDSL.



En una configuración de NT pasiva, cada CPE tiene una unidad de VDSL asociada. El canal (en la dirección del cliente a la red) para cada CPE debe compartir un cable común. Si se utiliza un sistema de detección de colisión se pudiera dividir el canal en bandas de frecuencia y asignar una banda a cada CPE, esto con el fin de garantizar el ancho de banda requerido.

## 3.7 CODIFICACIÓN VDSL

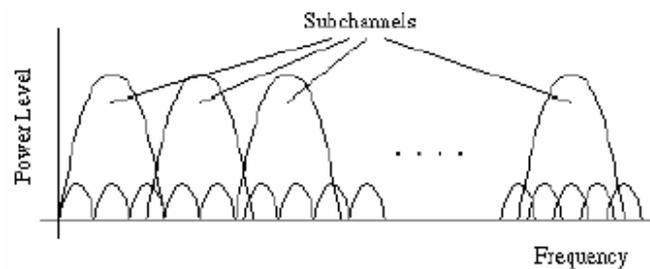
Existen 4 posibles códigos de línea propuestas para VDSL, las cuales son:

**3.7.1 CAP.** Carrierless AM/PM. Para configuraciones pasivas de NT, CAP usará QPSK (transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria) para flujos ascendentes y un tipo de TDMA para multiplexación. La Modulación CAP está basada en Modulación en Amplitud en Cuadratura QAM y trabaja muy similar a QAM. Un receptor QAM necesita una señal de entrada con las mismas relaciones espectro y fase como la señal transmitida. Las líneas telefónicas regulares no garantizan esta calidad de envío y una implementación QAM para el uso con xDSL tiene que incluir ecualizadores adaptativos que puedan medir las características de la línea y ejecutar compensación para la distorsión introducida en el par trenzado.

**3.7.2 DMT.** Discrete Multitone. Para configuraciones pasivas de NT, DMT usará FDM para multiplexar flujos ascendentes. Este código de línea divide el ancho de banda disponible en unidades más pequeñas. Estas bandas individuales son probadas para determinar si pueden ser utilizadas para transmitir información. Este esquema es ventajoso debido al amplio rango de características de líneas

que pueden ser encontradas en la instalación existente de cables de par trenzado. Cada instalación puede presentar diferencias en la calidad y longitud de la línea e interferencia como crosstalk, y los radios AM y HAM pueden afectar la señal de estas líneas. DMT supera este problema utilizando estas partes del espectro que ofrece menos atenuación e interferencia.

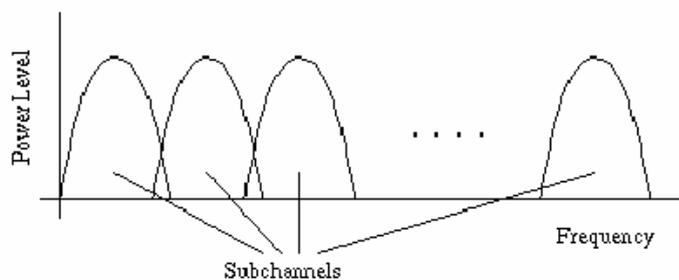
Figura 43. Espectro de frecuencia en VDSL con DMT.



La línea es probada para determinar cuáles bandas de frecuencia están disponibles y cuantos bits pueden ser transmitidos por unidad de ancho de banda. Los bits son decodificados en el transmisor y luego pasados a un conversor D/A. En la recepción final, la señal es procesada para decodificar la cadena de bits entrante. DMT puede operar en modos de rango fijo o adaptativo, por ejemplo, puede utilizar un rango de datos constante o puede modificar el rango de datos durante operación como una respuesta a las características de la línea. Sin embargo, el DMT es susceptible al aislamiento del subcanal. El uso de las transformadas de Fourier introduce armónicos adicionales que no portan la información. El DWMT resuelve este problema.

**3.7.3 DWMT.** Discrete Wavelet Multitone, También usa FDM para multiplexar el flujo ascendente. El esquema de decodificación DWMT está basado en la misma idea del DMT, esto es, dividir el canal en subcanales para hacer uso de las secciones del espectro de la frecuencia que no son afectados por interferencia. Mientras que DMT usa transformadas rápidas de Fourier para decodificar los bits en cada subcanal, el DWMT utiliza transformadas wavelet (algoritmo para descomponer una señal en elementos más simples). El uso de la transformada de Fourier digital para decodificar bits en el algoritmo DMT genera armónicos con el arco principal del receptor. Sin embargo, la transformada *wavelet* produce armónicos de energía más bajo, lo cual hace de esto una tarea más simple para detectar la señal decodificada en la recepción.

**Figura 44. Espectro de frecuencia en VDSL con DWMT**



La relación señal a ruido SNR realizada con DWMT puede estar en el orden de 43 dB, mientras que DMT tiene una SNR de alrededor de 13 dB. Con DWMT, la mayoría de la energía está contenida en los subcanales actuales y no es perdida en los armónicos adicionales que resultan de la operación de transformada.

**3.7.4 SLC.** *Simple Line Code, una versión de señal en banda base de 4 niveles que filtra en banda base y restablece la señal en el receptor. Para configuraciones pasivas NT, SLC debería usarse como TDMA para multiplexar el flujo ascendente, aunque con FDM es posible.*

## **3.8 ASPECTOS PENDIENTES EN EL DESARROLLO DE VDSL**

Como ya se ha mencionado, La tecnología *VDSL* aun no está completa ya que existen ciertos aspectos que aún requieren de una definición clara, como son:

**3.8.1 TDD vs. FDD.** El tipo de división duplex que se usará en *VDSL* se está discutiendo. FDD parece ser una mejor opción ya que los servicios existentes son típicamente canceladores de eco o FDD. La sincronización de los canales (en la dirección de la red al cliente y viceversa) es más fácil con FDD, porque todos los sistemas necesitan tener las mismas frecuencias del "*bandsplit*". Por el contrario, con TDD la sincronización puede ser más compleja.

**3.8.2 Modelo de Referencia.** La característica del ruido en la línea no sólo variará con el tipo de línea, sino también con la base instalada de la red local. No hay ningún acuerdo hasta la fecha, aunque es necesario que se propongan varios modelos antes de que la tecnología sea masivamente comercializada. En algunos países existen llegadas por cable aéreo, mientras que en la mayoría de los otros países el cable es situado bajo tierra para la última llegada hacia el cliente.

**3.8.3 Interferencia del Sistema de Radio de Onda Corta.** En el caso de antena de área local, la señal VDSL sobre el cable generará un campo eléctrico capaz de interferir con bandas de la radio de onda corta. Por otra parte, las bandas de frecuencia de radio de onda corta que coinciden con la frecuencia de VDSL dañarán la señal VDSL.

**3.8.4 Radiación Producida por Cables Aéreos.** Utilizando TDD, un transmisor de VDSL produce una emisión de radiación no deseada que interfiere con los receptores de radio-aficionados. Se determinó que el máximo PSD de 60 dBm/Hz, permitido para la tecnología VDSL puede generar interferencia potencial en algunas bandas de alta frecuencia del espectro de radio.

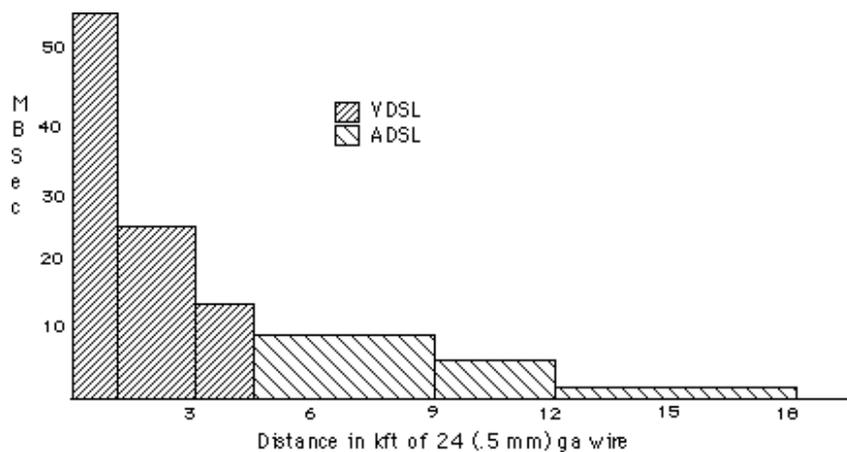
**3.8.5 Operación Simétrica o Asimétrica.** Es posible que *VDSL* soporte tanto sistemas simétricos como asimétricos. *VDSL* simétrico es adecuado para distancias cortas ya que puede simplificar la interfaz con la red conjuntamente con las redes LAN. Para distancias largas *VDSL* asimétrico es apropiado, ya que simplifica los equipos electrónicos requeridos por los usuarios residenciales.

### **3.9 RELACIÓN CON ADSL**

*VDSL* es capaz de lograr tasas de datos cerca de diez veces más grandes que *ADSL*, pero *ADSL* es una tecnología de transmisión más compleja, en gran parte porque *ADSL* puede contener rangos dinámicos más grandes que *VDSL*. *ADSL* utiliza técnicas de transmisión avanzadas y FEC para alcanzar velocidades desde 1.5 a 9 Mbps sobre el par trenzado alcanzando 18.000 pies; *VDSL* utiliza las mismas técnicas de transmisión avanzadas y FEC para alcanzar velocidades desde 13 a 55 Mbps sobre el par trenzado alcanzando 4500 pies. Realmente, las dos pueden ser consideradas como una continuación, un juego de herramientas de transmisión que entregan muchos más datos que los teóricamente posibles sobre distancias variables del cableado telefónico existente.

VDSL es claramente una tecnología adecuada para servicios de red completos. ADSL puede no serlo, pero tiene la ventaja singular de ofrecer servicio sobre las líneas existentes hoy día, y los productos ADSL están mas cerca en el tiempo que los de VDSL. Muchos nuevos servicios que se han contemplado hoy pueden ser entregados a velocidades de T1/E1 o menores, como son video-conferencias, acceso a Internet, video en demanda y acceso remoto de LANs. Para tales servicios, ADSL/VDSL provee una combinación ideal para la evolución de la red. En las líneas mas largas, ADSL entrega un canal simple. En las líneas mas cortas, ya sea por una proximidad natural a la oficina central o el desarrollo de nodos de acceso basados en fibra, ADSL y VDSL simplemente ofrecen mas canales y capacidad para servicios que requieran tasas por encima de T1/E1 (como televisión digital en vivo o acceso virtual de CD-ROM).

**Figura 45. Comparación de velocidad y alcance entre ADSL y VDSL**



### 3.10 CONSIDERACIONES SOBRE EL SERVICIO PARA VDSL

A grandes rasgos, los servicios y aplicaciones que la red ha de ser capaz de soportar son: datos a alta velocidad (acceso a Internet), Servicios broadcast, Telefonía, Teletrabajo y Comercio electrónico.

De igual manera debe permitir:

- ✓ Integración voz-datos. Los servicios de VoIP (VoDSL / VoCM) abren nuevas posibilidades para los operadores de redes de acceso de alta velocidad, permitiendo un mix de servicios de voz y datos con un reparto dinámico del ancho de banda disponible.
- ✓ En una época en la que todos los operadores convergen hacia una integración cada vez más amplia de servicios de telecomunicación, la tecnología ha de ser transparente al usuario y las claves del éxito son la calidad de servicio, los contenidos y la oportunidad (*time to market*), estar en el lugar oportuno en el momento oportuno.
- ✓ Se está produciendo un incremento notable en la demanda de servicios de vídeo y multimedia, aparte de los de datos en general, lo cual plantea unas exigencias técnicas superiores a las redes de acceso.
- ✓ La velocidad es la principal exigencia en el acceso a Internet, pero detrás ha de haber un servicio sólido y unos contenidos atractivos que retengan a los

clientes. El valor de los mismos en la mente del usuario ha de ser superior al coste que tienen para el operador. Por otra parte, tan importante es para el usuario el hecho de estar *always-on-line* como la propia velocidad.

- ✓ Los clientes actuales acceden mayoritariamente a servidores de información externos a la red del operador (servidores WEB en Internet) y la velocidad suele verse limitada por factores externos a dicha red. Dicha velocidad ha de evolucionar de acuerdo con los servicios y contenidos a los que se accede.
- ✓ Es extremadamente importante conseguir una diferenciación clara entre calidades de servicio (QoS) o como mínimo entre clases o tipos de servicio (CoS) e intentar asegurar esa diferenciación más allá de nuestra red de acceso. IPv6 tiene en cuenta estas consideraciones.
- ✓ La provisión del servicio es un punto problemático y delicado y representa la primera imagen que el operador da de sí mismo a los clientes. Una posibilidad es la de promover un servicio *plug and play*, unido a la creación de un sólido soporte técnico pre y post-venta y a unos sistemas fiables y sencillos de autoprovisión.
- ✓ El éxito de VDSL o de cualquier otra red de acceso no dependerá tanto de la tecnología como de las inversiones que se lleven a cabo en cada una de ellas, del marketing que los operadores realicen y de cómo los servicios consigan adaptarse a los deseos de sus clientes.

## 4 SERVICIOS xDSL

### 4.1 VoDSL

Uno de los factores clave que ha contribuido a la satisfactoria implantación de los sistemas de acceso ADSL, ha sido la facilidad de superponer una capa de servicios de datos encima de otra ya existente de servicios de voz, sin interferir en estos últimos. Desde el punto de vista del usuario esto le ofrece básicamente:

- Capacidad del servicio siempre en línea: no es necesario marcar, dado que la conexión IP (Protocolo Internet) está siempre disponible, ya que en la copia espejo del punto de red los recursos de la misma están disponibles en todo momento.
- Una segunda línea virtual de voz: incluso cuando el usuario está conectado a través de un módem, la línea de voz permanece disponible tanto para llamadas entrantes como salientes.

Desde el punto de vista del operador, esta facilidad de superposición permite que ADSL pueda instalarse a todo lo largo de la red, sin preocuparse de tener en

cuenta qué tipos de conmutadores de banda estrecha estén instalados. Realmente, ADSL puede trabajar incluso con conmutadores de voz electromecánicos. Tras el éxito inicial del ADSL, llegó a ser obvio que éste podría utilizarse para ofrecer líneas de voz múltiples, así como una amplia variedad de servicios dirigidos a mercados específicos.

Esto es posible gracias al gran ancho de banda intrínseco del ADSL, el apoyo facilitado por los progresos en la compresión de la voz, el cancelador de eco y las tecnologías de procesamiento de señales digitales, así como, por las tecnologías de silicio en general. Por supuesto, ADSL ofrece un gran ancho de banda para datos, parte del cual se puede utilizar para ofrecer servicios adicionales de voz integrados con los servicios de datos.

**4.1.1 Segmentos de Mercado.** Con VoDSL (Voz sobre DSL), se abren dos grandes mercados de interés para los proveedores de servicios. El primero es el de los negocios de pequeño y mediano tamaño, ya que un porcentaje significativo de éstos necesitan ser capaces de recibir y enviar datos a una velocidad de 500 Kbit/s. Las necesidades de voz para este tipo de clientes se encuentran normalmente entre las cuatro y las doce líneas de teléfono salientes. Utilizando, por ejemplo, el código simple de voz ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) en los momentos de alto tráfico, estas líneas de teléfono solamente

consumen entre 128 y 256 kbit/s, del ancho de banda de ADSL, que normalmente supera los 2 Mbit/s en dirección descendente y los 500 kbit/s en la ascendente.

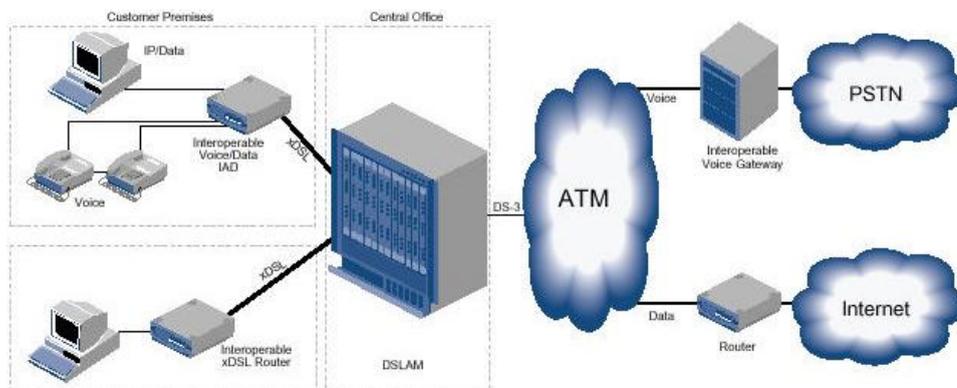
El segundo segmento de mercado interesado en los servicios VoDSL se centra en los usuarios residenciales, los cuales apreciarán seguramente las dos o, incluso, cuatro líneas de voz extras que ofrece VoDSL. Algunos de los *Incumbent Local Exchange Carriers* (ILEC) se están planteando utilizar la tecnología VoDSL para ahorrar en los pares de cobre. Incluso, un porcentaje de los usuarios residenciales puede encontrar interesante tener una segunda línea en la mesa de trabajo donde haya una terminación ADSL y un computador. Esta segunda línea de voz se puede, por ejemplo, utilizar para conectarse a una central privada (PBX) corporativa, mientras la conexión para datos, usando el computador, hacia la Red de Área Local (LAN) se facilita a través del ADSL.

A largo plazo, ADSL podría funcionar sin tener que superponerse sobre un canal de voz ya existente, con la voz transportada en banda como los datos. Tal como está pensado un FDI (Lazo Completamente Digital), puede cubrir adecuada y ampliamente la cobertura y necesidades de los usuarios residenciales al ofrecerlos un nítido y gran ancho de banda de acceso a datos. El FDI hará posible eliminar los caros y engorrosos divisores del servicio telefónico tradicional (POTS), significando una importante mejora en la densidad de ADSL, en la central y permitiendo a los operadores alcanzar importantes ahorros en sus costos de propiedad.

**4.1.2 Usando Circuitos Virtuales ATM.** VoDSL suministra varias líneas de voz (normalmente entre 4 y 12 líneas telefónicas) sobre una conexión DSL usando circuitos virtuales ATM de baja latencia. El tráfico de voz es enrutado hacia un gateway VoDSL y hacia la PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Esta aproximación ofrece a los clientes DSL ventajas de costo y conveniencia de uso al utilizar un solo servicio proveedor para datos y voz, sin la necesidad de tener una línea telefónica adicional. Un simple par de cobre puede soportar necesidades de voz y datos de pequeño (o medio) tamaño de mercado.

Las redes DSL están basadas en paquetes, permitiendo soluciones VoDSL para usar el ancho de banda de una conexión dinámica DSL. Esto quiere decir que las llamadas de voz necesitan consumir ancho de banda cuando una llamada esta activa, y debido a la baja utilización del ancho de banda de los servicios de voz en relación con los servicios de voz, varios canales de voz pueden atravesar una conexión DSL simultáneamente.

Figura 46. Red completa para brindar servicios de VoDSL.



El cliente de negocios no puede perder. Los ahorros realizados para compensar el fomento, serán invertidos en los canales de voz y la Tasa de Bit Variable de Tiempo Real (rt-VBR) de la clasificación QoS para querer asegurar una calidad de funcionamiento.

**4.1.3 Arquitectura De La Red.** En los domicilios de los clientes, un IAD proporciona una interfaz de datos (por ejemplo, Ethernet) y varias interfaces de voz (por ejemplo, conectores RJ11 que permiten interfaces analógicas estándar para POTS).

**Figura 47. Modelo de red VoDSL para un CLEC**

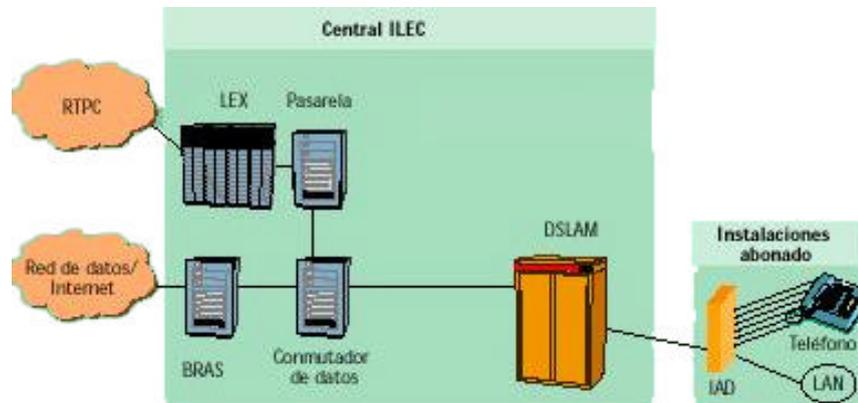


Este dispositivo representa un punto de demarcación de la red; por un lado es la terminación del DSL, y, por otro, entrega los servicios. El IAD es el encargado de la conversión de las señales de voz analógicas en el lado del usuario a las señales

de voz transportadas por AAL-2/ATM (*Asynchronous Transfer Mode Adaptation Layer 2*) en el lado de la red.

El IAD debe, además, efectuar protocolos de señalización hacia la pasarela de voz para indicar cuándo están presentes llamadas de voz en los flujos de AAL-2/ATM. Los flujos de AAL-2/ATM que transportan voz se multiplexan junto con la señalización para controlar los flujos de voz y otros datos ATM, para así transportarlos por el enlace DSL hacia la red. Para desplegar ambos servicios de voz y datos, el CLEC (*Competitive Local Exchange Carrier*) sitúa los DSLAM (Multiplexores de Acceso DSL) en la oficina central del ILEC, donde terminan los lazos de cobre desempaquetados. El tráfico entonces se retrocede al punto de presencia del CLEC. Los canales virtuales de voz y datos están separados por un conmutador de datos (por ejemplo, un conmutador ATM). Los datos se tratan de una manera característica y más ampliamente por el BRAS (Servidor de Acceso Remoto de Banda Ancha). La voz se pasa a una pasarela de voz central, que convierte las señales de voz transportadas por el acceso de banda ancha, a señales que se pueden transportar por las interfaces de banda estrecha existentes.

**Figura 48. Modelo de red VoDSL para un ILEC**



La pasarela de voz realiza las funciones que se necesitan para funcionar como interfaz, aplicando los formatos correctos a los de la red de voz ya existente: pone fin a los flujos de AAL-2/ATM, realiza la función de (de-)codificación y provee la señalización entre el domicilio del usuario y la oficina central de la red telefónica. Su principal función consiste en relacionar las interfaces estándar de la red de voz de banda estrecha existente y el de la red de VoDSL. Como primer paso, la pasarela debe extraer las señales de voz desde los circuitos de AAL-2/ATM y, entonces, realizar en ellas cualquiera de los tratamientos de voz (por ejemplo, la descomposición, la cancelación del eco). De manera similar, se debe llevar a cabo la señalización con el IAD que se usa para indicar cuándo hay llamadas presentes en las interfaces de voz. Finalmente, la pasarela debe proveer la apropiada interfaz de banda estrecha y completar la señalización con la central telefónica local. En los mercados ETSI se utiliza normalmente el protocolo V5.2, mientras que en los mercados pertenecientes al ANSI, principalmente en Norteamérica, se usa

el protocolo GR-303. Ambas interfaces proporcionan, bajo demanda, concentración del tráfico de voz para minimizar el número de interfaces requeridas en la central telefónica local. Una proporción de concentración típica para abonados del tipo empresa es de 4:1 ó, lo que es lo mismo, se necesita un sólo canal entre la pasarela y la central telefónica local por cada cuatro canales de abonados.

**4.1.4 Aplicaciones.** Los CLECs que desean ofrecer servicios de voz se enfrentan , por un lado, con unas altas inversiones iniciales en los equipos de la RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada), es decir, la central telefónica local, así como a los costes diferidos en el tiempo provocados por el alquiler del acceso a los operadores locales. En consecuencia, para obtener unos beneficios saneados, los CLECs se ponen como objetivo conseguir empresas de más de 50 empleados. Para este tipo de clientes, un simple acceso proporciona accesibilidad a 12 líneas de voz, que genera n suficientes beneficios mensuales. Este acceso se hace, normalmente, por el sistema de arrendamiento de líneas usando la tecnología de Multiplexación por División de Tiempo (TDM), por ejemplo, circuitos E1 o T1. Los requisitos de voz y datos para este tipo de empresas se cubren usando tecnología TDM. El dar servicio a empresas más pequeñas, de menos de 50 empleados, utilizando el arrendamiento parcial de líneas, no es siempre un negocio lucrativo para los CLECs.

Sin embargo, la llegada de DSL ha permitido a los CLECs obtener beneficios en el suministro de aplicaciones de sólo datos a empresas más pequeñas y, en algunos casos, incluso a usuarios residenciales, ya que la demanda de datos sigue creciendo de manera importante. El DSL simétrico y el ADSL son ya técnicas populares.

Al ofrecer voz sobre la misma infraestructura, la inversión hecha en el acceso de datos, puede servir de palanca para proporcionar una nueva fuente de ingresos con un relativamente pequeño desembolso extra. En particular, las empresas pequeñas necesitan entre cuatro y doce líneas de voz, que pueden integrarse dentro de un canal de ADSL de gran ancho de banda, dejando suficiente ancho de banda para los datos.

El periodo para poder recuperar el necesario desembolso extra en los dispositivos de acceso integrado y en la pasarela está, más o menos, por debajo de los seis meses. Esta situación está llevando a dirigirse hacia el mercado de las pequeñas empresas que, en la mayoría de los países desarrollados, representan entre cinco y diez veces más clientes que el mercado de las grandes empresas.

Los CLECs sacarán partido igualmente de más variantes del DSL simétrico. Los mayores anchos de banda que ofrece podrían soportar, incluso, más líneas telefónicas, mientras mantiene a su vez, suficiente ancho de banda simétrico para las aplicaciones de datos.

## 4.2 GigADSL:

GigADSL es un servicio que los proveedores de servicios prestan a otros operadores, para que éstos puedan ofrecer el servicio ADSL final a los usuarios. Se trata de un servicio que permite el acceso indirecto de estos operadores al lazo de abonado; en otras palabras, GigADSL es un servicio de acceso indirecto al lazo de abonado basado en el establecimiento de un CVP ATM entre el usuario y el Punto de Acceso Indirecto (PAI) al lazo de abonado del operador que contrate este servicio.

La solución para ofrecer servicios pasa por el envío de celdas ATM sobre el enlace ADSL (entre el ATU-R y el ATU-C situado en el DSLAM). Por lo tanto, de los seis modelos que propone el ADSL Fórum sólo son válidos los dos últimos.

El GigADSL es un servicio que permite el acceso indirecto de cualquier operador, en igualdad de condiciones, al lazo de los abonados.

**4.2.1 Modalidades.** Hay tres modalidades de funcionamiento de este circuito virtual según la velocidad: 256/128 Kbps, 512/128 Kbps y 2016/320 Kbps. Las primeras cifras corresponden al sentido red a usuario, mientras las segundas al

sentido opuesto. Estas velocidades son a nivel ATM, por lo que las velocidades percibidas en la conexión a Internet serán algo inferiores.

De acuerdo a la orden, cada lazo de abonado sólo puede ser accedido por un operador. En la orden reguladora se definen tres modalidades de conexión sobre acceso ADSL.

Tabla 4. Modalidades del servicio GigADSL

	MODALIDAD	PCR (KBPS)	SCR (KBPS)	CDVT (MSEG)	MDS (CELDAS)
Sentido descendente (Red - Usuario)	A	256	25.6	5	32
	B	512	51.2	3	32
	C	2016	201.6	3 - 0.7	64
Sentido ascendente (Usuario - Red)	A	128	12.8	10	32
	B	128	12.8	10	32
	C	320	32.0	4	32

Aquí se muestran valores de PCR, SCR, CDVT y MBS para las tres modalidades de acceso indirecto al lazo de abonado con los parámetros que definen cada una de las tres modalidades de conexión. Las tres modalidades de conexión

contempladas en la orden se corresponden con circuitos virtuales ATM VBR-nrt (o lo que es lo mismo, SBR tipo 3, tal y como la ITU lo define en la recomendación I.371).

Las velocidades de acceso mostradas en la tabla 4, son velocidades a nivel ATM. Esto quiere decir que la velocidad real que percibirá el usuario será inferior, pues hay que descontar el caudal que se pierde por las cabeceras de las celdas ATM (un 9,43 %). A esta pérdida de caudal habrá que añadir la pérdida debida al encapsulado de la información en tramas o paquetes sobre el flujo de celdas ATM.

Existen regulaciones del acceso indirecto al lazo de abonado también se establece que el PAI (Punto de Acceso a Internet) de un operador en una demarcación será una interfaz de 34 Mbps (coaxial) o de 155,52 Mbps (fibra óptica).

### **4.3 ReachDSL:**

ReachDSL es otra opción para los negocios y clientes residenciales. Es una tecnología DSL simétrica cuya características son velocidades altas para servicios DSL en distancias largas. Completando el estadar de la tecnología ADSL (DMT/G.Lite), los productos de ReachDSL soportan velocidades entre 128 Kbps y

1 Mbps y puede ser diseñada para trabajar sobre un rango más ancho de condiciones de línea.

Las soluciones de ReachDSL son capaces de repartir las líneas y es ideal para los negocios, residencias y cualquier red privada.

#### **4.3.1 Beneficios de ReachDSL:**

- ✓ Instalación de splitterless: No son requeridos POTS splitters por lo que se simplifica la instalación.
- ✓ Mayor distancia del lazo: Complementado sistemas ADSL, los cuales pueden típicamente alcanzar distancias de menos de 18.000 pies desde la oficina central; los sistemas ReachDSL extienden los servicios a más de 20.000 pies, siendo posible encontrar instalaciones que excedan de los 30.000 pies.
- ✓ Compatibilidad espectral: Las soluciones que ofrece ReachDSL son la compatibilidad de un espectro superior. Uno de los miembros de la familia ReachDSL, MVL (Multiple Virtual Lines), son el primer sistema DSL reconocido por el FCC con Parte 68 aprobada, lo que quiere decir que es "amigable" con otros servicios ofertados sobre la red telefónica. Otras soluciones ReachDSL también operan sin Spectral Management Class One para ofrecer superiores distancias y velocidades.

- ✓ Bajo costo de producción: Desde que los productos ReachDSL utilizan "separados de el mismo" mejores DSPs (Digital Signal Processors).
- ✓ Localización dinámica del ancho de banda: Así el servicio puede ser empleado por diferentes aplicaciones.

## 5. ESTÁNDARES EN xDSL

A pesar de las variantes de xDSL que existen, algunas de ellas ya probadas y comenzándose a implantar y otras aún en proceso de desarrollo, ninguna de ellas ha sido oficialmente reconocida por ningún organismo para adaptarla como estándar. El grupo de trabajo T1E1.4 de ANSI (*American National Estándars Institute*) ha aprobado un estándar ADSL a velocidades de hasta 6,1 Mbps (estándar ANSI T1.413), al que contribuyó también la ETSI (*European Technical Standards Institute*) con un anexo en el que se exponen las necesidades y variantes europeas. Éste admite un tipo de interfaz única de terminal en el lugar de destino. En la actualidad el grupo de trabajo está estudiando incluir en el estándar una interfaz multiplexada en el lugar de destino, protocolos de gestión y configuración de red, etc.

La ITU (*International Telecommnunication Union*, Unión mundial de la telecomunicaciones) alcanzó un principio de acuerdo en noviembre de 1998, denominado ADSL G.Lite y cuenta con el respaldo de grandes empresas como Microsoft, Intel o Compaq. Microsoft anunció, el 3 de junio de 1997, sus trabajos de conexiones mediante PPP (Point to Point Protocol) sobre redes ATM utilizando

ADSL, que fueron apoyados por grandes compañías de comunicaciones como Alcatel, Cisco, US Robotics (3Com), etc.

En octubre de 1998, G.992.2 fue adoptado por la UIT como el estándar que recogía a la tecnología G.Lite.

Respecto a la versión ADSL, la ITU está colaborando con el grupo de trabajo T1E1.4 de ANSI, para llegar a la normativa, al igual que los módems tradicionales (v.32, v34, etc.).

Otro organismo que está trabajando para la implantación, mejora y lograr unas normas comunes es el ADSL Forum. Este grupo de trabajo se formó a finales de 1984 para ayudar a las compañías telefónicas a hacer realidad el enorme potencial comercial de ADSL. Sus actividades son de orden técnico y comercial. En la actualidad, el trabajo técnico del Forum se divide en siete grandes proyectos: interfaces, redes de acceso, protocolos en modo paquete, en modo ATM, migración a ADSL, gestión de la red y análisis y por último la gestión. La forma de trabajar de ADSL Forum es identificar una necesidad particular y notificarla a otra entidad de standarización para que realice las acciones oportunas. De hecho, el ADSL Forum trabaja en estrecha colaboración de estándares próximos como T1E1.4 (grupo de trabajo de ANSI), ETSI, TR41, etc. Además este grupo está potenciando su naturaleza de lugar de encuentro y debate. Los miembros se reúnen cuatro veces al año, dos en EE.UU y dos en Europa. A finales de 1996 ya

contaba con más de 60 miembros; ahora son aproximadamente 340 miembros. Dados los motivos de existencia de ADSL Forum, ha de atenerse a las reglas antimonopolio, ya que de esta forma, impide que el Forum se comprometa en proyectos de mercado sobre cuestiones como precios, cuotas u otros factores que pudieran provocar posibles cambios a la hora de fijar los precios.

**Tabla 5. Sumario de los estándares ITU para xDSL.**

TECNOLOGÍA	CODIGO LÍNEA	MÁXIMA TRANSMISIÓN	SEVICIO POTS	NORMA ITU	NOTA	APROBADO
ISDN	2BQ1 TOM-AMI	Simetrica, Tasa Fija 128kbps(2B)+16kbps(D)	No permitido	G.961	Apéndice III TDM-ISDN	1998
ADSL	DMT	Asimetrica, Tasa Variable Max.. UpStream 640kbps Max. DownStream 6Mbps	Permitido	G992.1	Anexo C: para TCM-ISDN	1999
ADSL-lite	DMT	Asimetrica, Tasa Variable Max.. UpStream 512kbps Max. DownStream 1.5Mbps	Permitido	G992.2	Anexo C: para TCM-ISDN	1999
ADSL2	DMT	Asimetrica, Tasa Variable Max.. UpStream 800kbps Max. DownStream 8Mbps	Permitido	G992.3	Anexo C: para Estudio	2002
ADSL2-lite	DMT	Asimetrica, Tasa Variable Max.. UpStream 512kbps Max. DownStream 1.5Mbps	Permitido	G992.4	Anexo C: para Estudio	2002
HDSL	2BQ1 CAP	Simetrica, Tasa Fija 1.5 Mbps (2 pares) 2 Mbps (3 pares)	Permitido	G991.1		1998
SHDSL	PAM	Simetrica, Tasa Variable 2.3 Mbps (1 par)	Permitido	G991.2		2001
SSDSL	DMT	Simetrica, Tasa Variable 1.6 Mbps (1 par)	Permitido	G992.1 Anexo H	Para TCM-ISDN	2000
VDSL	CAP ó DMT	No especificada (Asimétrica o Simetrica para los 10 Mbps)	Permitido	G993.1	Solo para capa TC	2001

## CONCLUSIONES

La red telefónica pública es la red más extendida en el mundo así como una de las más complejas. Su principal objetivo es conectar teléfonos, pero también está generalizado su empleo para el envío de faxes y la interconexión de computadores, aunque a velocidades de los 56 Kbit/s, o 128 Kbit/s sobre la RDSI, ya que los filtros intercalados en la línea telefónica limitan el ancho de banda disponible a 3.1 KHz.

El surgimiento de DSL hace posible la conexión de sistemas a una mayor velocidad que la de sistemas como RDSI por medio de la red telefónica pública sin necesidad de cambiar el par de cobre existente.

El desarrollo de DSL aunque no es nuevo en el mundo pero sí lo es en nuestra ciudad, lo que hace que nuestro estudio sirva como base para que pudiéramos entender esta tecnología, así de que tuviéramos bases para poder juzgar este servicio frente a otro tipo de tecnologías implementadas

Las velocidades entregadas por las diferentes tecnologías de DSL hacen que puede llegar según estudios realizados a los 9 Mbps, capacidad suficiente para transmisión de televisión interactiva que se constituye en la televisión del futuro.

Los diferentes tipos de tecnologías DSL la hacen muy versátil y practica para cualquier usuario dependiendo de su necesidad y capacidad económica por lo que pudimos observar que cada tecnología cuenta con sus determinadas aplicaciones específicas.

Seria absurdo pensar que ADSL puede reemplazar a la fibra óptica, sin embargo los precios y la facilidad que implica contar con este servicio puede llevarla a convertirse en la opción mas utilizada en el mundo mientras los precios para acceder a la fibra se reduzcan lo suficiente para que el publico en general puede contar con estos.

Para accesos a negocios el HDSL será sustituido a medio plazo por el SHDSL por sus prestaciones superiores en cuanto a alcance e interferencias. Probablemente el SHDSL ganará una parte del mercado del ADSL, aunque éste seguirá creciendo a fuerte ritmo, ya que proporciona el mayor ancho de banda hacia el abonado en los lazos dentro del área de servicio. El despliegue de VDSL vendrá condicionado por los servicios con contenido de vídeo en alguna de sus formas, tiempo real, casi real, o descarga rápida, y la penetración de la fibra en la red de acceso hasta llegar a los alcances en que esta tecnología es efectiva. De los códigos de línea creemos que el DMT acrecentará su actual liderazgo en el mercado, ya que une a su intrínseca superioridad técnica los volúmenes de producción que está alcanzando, ya superado su período de aprendizaje.

# GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

## TERMINOLOGÍA

**AAL** "ATM Adaptation Layer". Capa de adaptación ATM. Hay varias opciones (entre ellas AAL-5), y su finalidad es el encapsulado del flujo de información (tramas o paquetes) sobre el flujo de celdas de un circuito virtual ATM.

**Ancho De Banda** Hablamos de ancho de banda para saber la cantidad de información que podemos transmitir con éxito a través de una red. Esta velocidad la medimos en bit por segundo (bps).

**ATM** *Asynchronous Transfer Mode*. Es una tecnología de conmutación que organiza los datos en celdas y los transmite sobre un medio físico usando tecnología digital. Individualmente, cada célula se procesa de forma asíncrona con respecto a otras celdas relacionadas, formando una cola antes de ser multiplexadas a través del medio de transmisión.

**Banda Ancha** Ruta o circuito de comunicaciones de gran capacidad que normalmente funciona a una velocidad superior a los 1544 Mbps.

**Central** Edificio que alberga en su interior el Repartidor de Pares de Cobre de Abonado (RPCA), que da servicio a un área de geográfica determinada.

**CBR** *Constant Bit Rate*. Es una de las capacidades de transferencia definidas en ATM. Este tipo se emplea para conexiones ATM destinadas a la emulación de circuitos.

<b>DSLAM</b>	<i>DSL Access Multiplexer</i> . Dispositivo de red, normalmente en la central telefónica, que recibe señales de varias conexiones DSL procedentes de los pares de cobre y las extrae a alta velocidad usando técnicas de multiplexación.
<b>INTERNET</b>	Red mundial de un sistema de ordenadores interconectados, cuyos usuarios pueden comunicarse entre sí, siempre que tengan permiso de acceso, mediante un protocolo común. Este protocolo es el TCP/IP que pone a disposición de los usuarios gran cantidad de información y de servicios.
<b>LAN</b>	Quiere decir Red de Área Local y es la conexión de equipos en un área relativamente pequeña, como una oficina o un edificio.
<b>Lazo de abonado</b>	Los elementos que forman parte de la red pública telefónica fija que conectan el punto de terminación de red (PTR ) con el RPCA o instalación equivalente de la central local de la que depende. En este documento también se refiere al lazo como par de cobre.
<b>Multimedia</b>	Es una combinación de audio, videos, gráficos y animaciones.
<b>PAI</b>	Punto de Acceso Indirecto. Punto al que se conecta la red del operador en el acceso indirecto. En este punto ya están concentrados varios canales de datos y está situado más allá del DSLAM.
<b>Par de cobre</b>	Lazo de abonado formado por un par simétrico de cobre.
<b>PTR</b>	Punto de Terminación de Red. El elemento físico de la red telefónica conmutada donde termina cada línea de suministro del servicio telefónico, y delimita las responsabilidades del operador del servicio telefónico en cuanto a su mantenimiento.
<b>RPCA</b>	Repartidor de Pares de Cobre de Abonado. Extremo del lazo de abonado situado en edificios de Telefónica de España y de su propiedad. Tiene dos partes: el Repartidor Vertical, al que

llegan los pares procedentes del exterior y el Repartidor Horizontal.

**Redes Ad-Hoc** Una red Ad-Hoc es un tipo de red formada por un grupo de nodos o hosts móviles y que forman una red temporal sin la ayuda de ninguna infraestructura externa. Para que esto se puede llevar a la practica es necesario que los nodos se puedan ayudar mutuamente para conseguir un objetivo común: Que cualquier paquete llegue a su destino aunque el destinatario no sea accesible directamente desde el origen. El protocolo de encaminamiento es el responsable de descubrir las rutas entre los nodos para hacer posible la comunicación.

**Splitter** Dispositivo que divide una señal telefónica en dos o más señales, cada una de las cuales con un rango de frecuencia determinada; también puede hacer la función inversa.

**USB** Sistema para la conexión de dispositivos periféricos al computador. Es un puerto con un tipo de enchufe concreto.

**xDSL** *Digital Subscriber Line* de tipo "x" (Línea digital de abonado). Familia de normas y tecnologías de transmisión digital de banda ancha sobre los pares de cobre de la red de acceso existentes. La letra "x" se refiere a los diversos sistemas DSL, como ADSL, RADSL, HDSL, SDSL etc., en función de la capacidad de transmisión del equipo DSL

## ACRÓNIMOS

ADSL	<i>Asymmetrical Digital Subscriber Line</i>
ATM	Modo de Transferencia Asíncrono ( <i>Asynchronous Transfer Mode</i> )
ANSI	Instituto Americano Nacional de Estándares.
ATU-R	<i>ADSL Terminal Unit-Remote.</i>
ATU-C	<i>ADSL Terminal Unit-Central.</i>
AWG	American Wire Gauge
CAP	Amplitud y Fase sin Portadora ( <i>Carrierless Amplitude Phase</i> ).
CDV	<i>Cell Delay Variation</i>
CDVT	<i>Cell Delay Variation Tolerance</i>
CLEC	Competitive Local Exchange Carrier (Carriers o TELCOS).
CLR	Cell Loss Ratio
CO	Central Oficce
CV	Canal Virtual
DMT	Discreta Multi-Tono ( <i>Discret Multi Tone</i> ).
DSL	Línea de Usuario Digital ( <i>Digital Subscriber Line</i> ).
ETSI	Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación.
FTTB	Fibra hasta el edificio ( <i>Fiber To The Building</i> ).
FTTH	Fibra hasta el hogar ( <i>Fiber To The Home</i> ).
ILEC	<i>Incumbent Local Exchange Carrier</i> (en muchos casos los ISPs).
MBS	Maximum Burst Size
PA	Punto de Acceso
PAI	Punto de Acceso Indirecto
PCR	Peak Cell Rate o tasa de pico
PDH	<i>Plesynchronous digital hierarchy</i>
POH	Tara de trayecto ( <i>path overhead</i> )
PSI	Proveedor de Servicios en Internet.
PSTN	Public Switched Telephone Network
PYME	Pequeñas Y Medianas Empresas.
QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura ( <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> ).

RDSI-BA	Red Digital de Servicios Integrados Banda Ancha
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados.
RPTC	Red Pública de Telefonía Conmutada.
SBR	<i>Statistical Bit Rate</i>
SCR	Sustainable Cell Rate
SDH	<i>Synchronous digital hierarchy</i>
SOHO	Pequeñas Empresas, Empresas en Casa ( <i>Small Offices Home Offices</i> ).
STM1	<i>Synchronous Transport Module level 1.</i>
UAWG	Grupo de Trabajo Universal de ADSL.
UBR	Unspecified Bit Rate (tasa de bit sin compromiso)
UNI	Interfaz usuario-red ( <i>user network interface</i> )
UIT-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VBR-nrt	<i>Variable Bit Rate-non real time.</i>
VC	Contenedor Virtual ( <i>virtual container</i> )

## **BIBLIOGRAFÍA**

**DELIVERING** T1 and E1 Services Over One Copper Pair with HDSL2.

<http://www.orckit.com/downloads/hdsl2.pdf>.

**G.LITE** White Paper – Consumer Installable ADSL: An in Depth Look at G.Lite

Technology. <http://www.orckit.com/glite.html> (Multiple pages)

**GORALSKI**, Walter. Tecnologías ADSL y xDSL. Osborne McGraw-Hill 2000.

**INFORME** de Acterna acerca del crecimiento de DSL en Europa.

[http://www.acterna.com/spain/News\\_And\\_Events/News\\_Releases/PR01/111901\\_spa.html](http://www.acterna.com/spain/News_And_Events/News_Releases/PR01/111901_spa.html)..

**INFORME** de Acterna acerca del crecimiento de DSL en America Latina.

<http://larepublica.terra.co.cr/news/articulo/html/2003/03/11/rep6613.htm>.

**INTRODUCCIÓN** a la Tecnología DSL- [www.monografias.com/tecnologias-DSL](http://www.monografias.com/tecnologias-DSL)

**MESTDAGH, D.J.P., ISAKSSON, M.R, ÖDLING**, Zipper VDSL: A solution for Robust Duplex Communication over Telephone Lines”, IEEE Communications Magazine, Mayo 2000.

**NIEL RANSOM**, Albert A. Azzam Broadband Access Technologies: ADSL/VDSL, Cable Modems, Fiber, and LMDS . McGraw-Hill 1999.

**THE BUSINESS** Case for Using HDSL to Deliver Internet Access in Multi-tenant Facilities.[http://www.kentrox.com/solutions/cellworx/wp/hdsl\\_biz\\_case/hdsl\\_biz\\_case.htm](http://www.kentrox.com/solutions/cellworx/wp/hdsl_biz_case/hdsl_biz_case.htm)

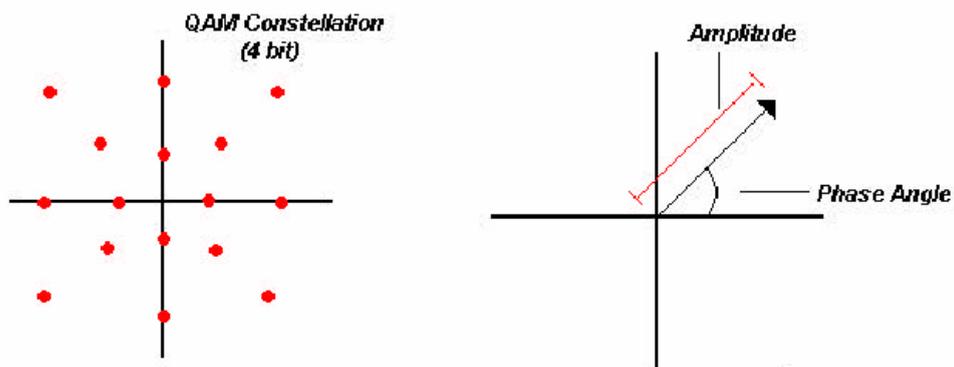
# ANEXOS

## ANEXO A

### QAM (Modulación por Cuadratura)

Durante el desarrollo de esta monografía, mencionamos que, tanto CAP como DMT están basados en el sistema QAM aunque cada uno lo adopta de una forma distinta.

El sistema QAM modula tanto la fase angular como la amplitud de la señal. La codificación QAM puede ser representada por una constelación de puntos, tal como se muestra:



Cada punto representa un modelo de un bit específico (0000, 0001, 0011, etc). La amplitud y la fase son utilizados para crear un vector que determina el punto

especifico. La amplitud nos dice la longitud del vector a partir del origen y la fase angular nos dice que tanto debe girar el vector a partir del eje horizontal. En la constelación de la figura, hay ocho diferentes posibilidades de ángulo de fase y dos niveles de amplitud. Para una línea de transmisión sin ruido, se podría utilizar una constelación mucho mas densa con mas niveles de amplitud y pequeñas diferencias entre los ángulos de fase.

QAM posee algunas variantes, como son 8-QAM, 16-QAM y 64QAM. La utilización de algunas de estas depende de la calidad de la línea de transmisión, en donde intervienen diversos factores independientes del sistema.

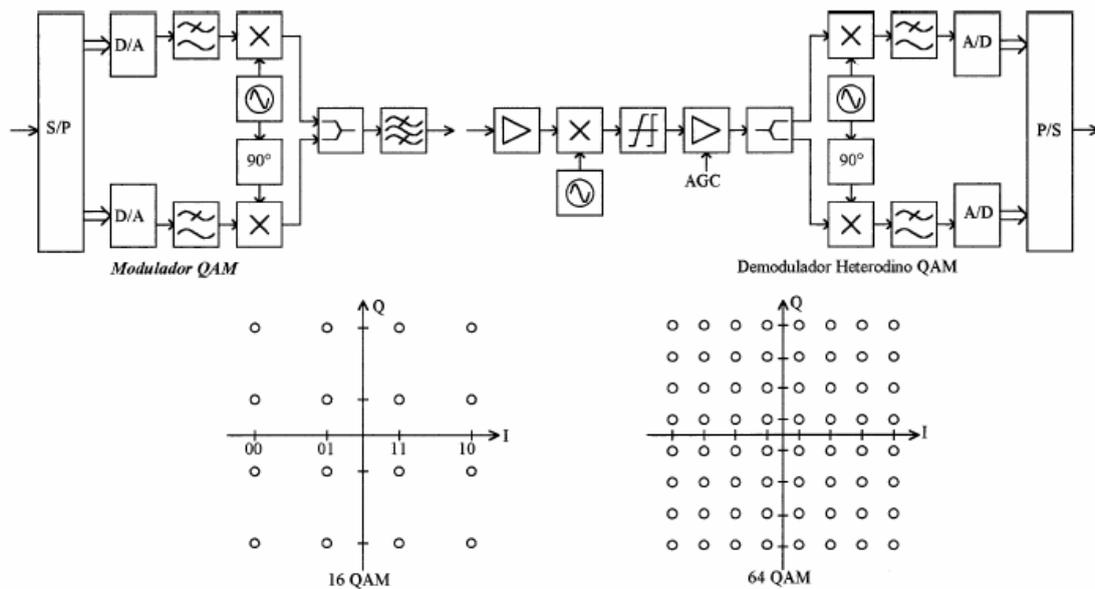
La modulación con un mayor número de fases, buscara el propósito de obtener una eficiencia espectral mayor.

Debido a las prestaciones de tasa de error BER en función de la relación portadora a ruido C/N, la distribución más acertada es 16QAM donde las fases se distribuyen en un reticulado de acuerdo con la siguiente figura. La virtud de 16QAM es que las fases se encuentran más separadas una de otra con lo cual admiten una amplitud de ruido mayor. El modulador 16QAM se puede efectuar de 2 formas:

- **Mediante un codificador** apropiado se disponen de 4 trenes de datos en paralelo y se agrupan de a dos para obtener dos señales analógicas con 4

estados de amplitud cada una (-3,-1,+3,+1). A continuación se efectúa la modulación en cuadratura convencional.

- **Mediante 2 moduladores** en cuadratura convencional se generan 4 estados de fase en cada uno. Uno de ellos se lo afecta con una atenuación de 6 dB antes de la suma. La modulación 16 QAM resulta ser una modulación 4PSK por cuadrante, donde los cuadrantes se obtienen mediante la otra modulación 4PSK.



La modulación 16QAM permite transmitir una velocidad de 140 Mb/s (4x34 Mb/s) en un ancho de banda de 80 MHz. Como el ITU-R tiene definidas también bandas con ancho de 60 MHz se ha introducido la modulación 64QAM.

La modulación 64QAM se muestra en la figura anterior. El modulador es una extensión del concepto anterior con 6 trenes de datos en paralelo en lugar de 4. Se administran 2 señales analógicas de 8 niveles de amplitud moduladas en cuadratura o se utilizan 3 moduladores en cuadratura convencional con relación de atenuación de 6 y 12 dB. La distribución de códigos a cada fase se realiza siguiendo una codificación cíclica; de tal forma un error de fase introduce en las fases más cercanas solo un error de bit.

## **ANEXO B**

### **TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER**

Básicamente la Transformada de Fourier se encarga de transformar una señal del dominio del tiempo, al dominio de la frecuencia, de donde se puede realizar su antitransformada y volver al dominio temporal.

Un ejemplo de representación en frecuencia, puede ser el ecualizador de un equipo de música. Las barras que suben y bajan, indican las diferentes componentes frecuenciales de la señal sonora que estás escuchando. Esto, lo hace ni más ni menos que un integrado que realiza precisamente la transformada de Fourier de la forma más rápida posible (FFT, o Fast Fourier Transform).

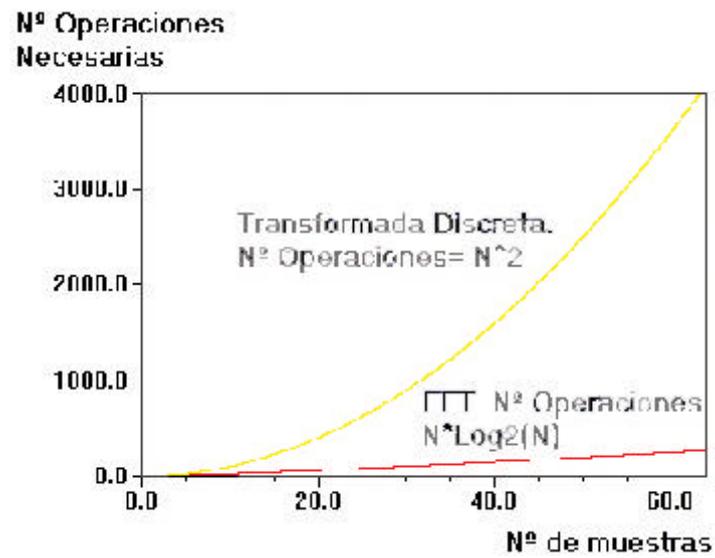
El trabajo con la señal en frecuencia, no solo sirve como información, sino que se puede modificar, de forma que es ampliamente utilizada en filtros, procesado de la imagen y el sonido, comunicaciones (modulaciones, líneas de transmisión, etc.) y otro tipo de aplicaciones más curiosas: estadística, detección de fluctuaciones en los precios, análisis sismográfico, etc.

## **El algoritmo FFT (Fast Fourier Transform)**

La transformada rápida de Fourier es simplemente un algoritmo rápido para la evaluación numérica de integrales de Fourier desarrollado en los laboratorios de IBM, y su importancia radica en la rapidez de cálculo conseguida en aplicaciones tales como ecualización y filtrado en equipos de audio/vídeo en tiempo real, comunicaciones, etc.

Evidentemente hacemos uso del mismo en el programa para obtener rápidamente el espectro de la señal a partir de la señal temporal de entrada, aunque se podría haber hecho a partir de la integral discreta de Fourier, siendo en este caso necesario mucho más tiempo de cálculo.

La diferencia de velocidad de cálculo entre la tradicional transformada discreta y la FFT aumenta según aumenta el número de muestras a analizar, según se puede apreciar en la siguiente figura, ya que mientras una aumenta el número de operaciones necesarias para la resolución de forma exponencial, la otra lo hace de forma prácticamente lineal.



De igual manera, la Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT), consiste en el proceso contrario; convertir una señal en el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo y se deben tener en cuenta las mismas consideración que se tienen para la FFT

## ANEXO C.

Durante el desarrollo de la monografía, describimos las red ADSL en la ciudad de Cartagena que maneja Colombiatel. A continuación mostramos los elementos principales que hacen parte de dicha red.

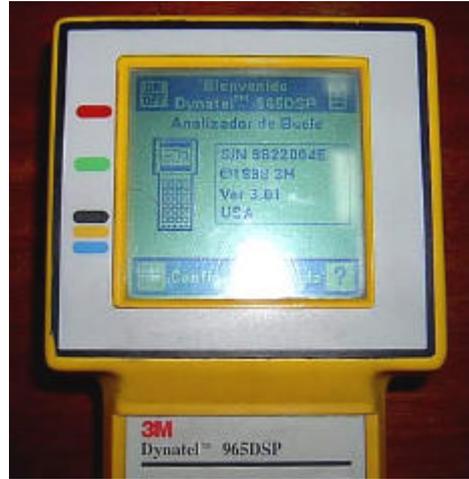


Router Cisco 6400



DSLAMs Cisco 6260

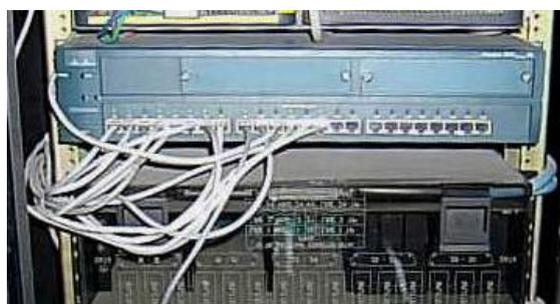
Entre los equipos que utiliza Colombiatel para comprobar el estado de las líneas se encontramos los siguientes:



El modem ADSL que se coloca del lado del abonado, se muestra a continuación:



Al igual también se utilizan otros elementos, para la interconexión entre los diferentes nodos que encuentran en la ciudad, como switches y routers:



El rack completo se muestra a continuación:



## **ANEXO D**

### **RELACIÓN COSTO BENEFICIO EN UN ENLACE ADSL**

Para la realizar esta relación costo beneficio en un enlace ADSL tomaremos como muestra los valores que tienen una conexión conmutada de máximo 56 kbps con un proveedor de servicio de Internet que en este caso seria Telecom.

Telecom ofrece el servicio por un valor de \$30.000 mas I.V.A. con lo cual obtendríamos un valor de costo mensual de \$34.800 solo en gastos de mantenimiento y como los valores para tarifa plana para con conexión permanente diaria en servicio diurno (6 a.m. a 9 p.m.) y servicio nocturno (9 p.m. a 6 a.m.) seria de \$ 9840 diarios al mes obtendríamos un valor mensual de \$295200 solo en consumo para recibo de teléfono que sumado al costo que se cobra como cargo básico mensual por mantenimiento obtendríamos un total de \$330000 en el tipo de conexión antes señalada.

A continuación presentamos algunas tarjetas PCI para conexiones ADSL para computadores que hacen que los costos disminuyan con relaciona la utilización de módems CISCO 677. Estas tarjetas utilizan la versión G-lite de ADSL

✓ **ADSL MODEM / CONEXANT PCI WHITE BOX Broadband Device**

Esta tarjeta tenía un precio de 93 dólares



Analizando los precios de estas tarjetas en Internet todas oscilan entre 90 dólares y 140 dólares. Sin embargo con el solo valor de las tarjetas no podríamos realizar una relación costo beneficio debido a que no disponemos de la información suficiente para saber cuánto le vale un puerto al proveedor de servicios de ADSL, que precio tiene mantener la red y además cuánto debe querer ganar el proveedor del servicio pues eso también influye.

Sin embargo para ofrecer un comentario acerca de los valores con los cuales se debería operar a una tarifa para permitir que los usuarios tengan acceso a ello. Dentro de un precio razonable sería de aproximadamente \$150000, claro esta sin incluir el valor inicial de la tarjeta.