

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



ESTUDIO Y VALIDACIÓN DE USO DE FIBRA ÓPTICA EN DATACENTERS

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

ARTURO EDUARDO ESPÍRITU PÉREZ

**PROMOCIÓN
1980- II**

**LIMA – PERÚ
2012**

ESTUDIO Y VALIDACIÓN DE USO DE FIBRA ÓPTICA EN DATA CENTERS

A Dios que me dio la vida y una familia maravillosa; mis queridos padres, Eduardo y Juana; mi hermana Hilda; mi siempre amada esposa Edith y a mis adorados hijos Daniel y Fiorella.

SUMARIO

En el presente informe de suficiencia se describe de manera práctica los pasos a seguir para seleccionar adecuadamente, desde el punto de vista de ingeniería, el tipo de fibra óptica necesaria para garantizar el correcto funcionamiento de la transmisión de datos entre los diversos componentes de un Data Center.

Un Data Center es el lugar dentro de una empresa u organización, donde se concentra la potencia computacional, el almacenamiento y las aplicaciones necesarias para soportar el negocio.

Por lo tanto, la infraestructura de un Data Center es fundamental para la arquitectura de la Tecnología de la Información, ya que es el lugar de donde nace toda la información o pasa a través de ella.

Es así que se hace imperativo que el medio de transmisión de datos, en el diseño del Data Center, entre los módulos que la conforman, soporten un alto flujo de información para garantizar una comunicación de alta velocidad y libre de errores, tanto del tráfico actual y como del tráfico proyectado que acompañe el crecimiento de la empresa.

Es en este marco que, entre los medios de transmisión más usados para Data Centers como son el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica, la Fibra Óptica tiene grandes ventajas comparativas como son entre otras su gran ancho de banda, baja atenuación, inmunidad electromagnética, alta seguridad y bajo peso.

Es pues por esta razón que en este informe estudiaremos y validaremos el uso de la Fibra Óptica como medio de transmisión en los Data Centers actuales.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Datacenters.....	3
1.2.1 Clasificación de un Datacenter de acuerdo a su disponibilidad (TIERS).....	4
1.2.2 Topología de un Datacenter.....	5
1.2.3 Arquitectura de un Datacenter.....	7
1.3 Modelos de diseño de un Datacenter.....	10
1.3.1 Modelo de diseño por agrupamiento de servidores (Server Cluster).....	13
1.3.2 Modelo de diseño Multinivel (Multi Tier).....	15
1.4 Consideraciones generales finales de diseño de Datacenters.....	17
1.5 Necesidad de una canal de comunicación de alta velocidad.....	21
1.6 La luz, óptica y la Fibra Óptica	22
1.6.1 La fibra óptica como canal de transmisión.....	22
1.6.2 Sistema de comunicación por fibra óptica.....	23
1.6.3 Ventajas y desventajas con relación a los sistemas tradicionales.....	24
1.6.4 Aplicaciones frecuentes.....	25
1.7 Óptica geométrica.....	25
1.7.1 Reflexión y Refracción de la luz.....	26
1.7.2 Reflexión total interna.....	27
1.7.3 Ángulo máximo de aceptación.....	28
1.7.4 Apertura numérica.....	28
1.7.5 Número de reflexiones en la fibra.....	28
1.7.6 Camino óptico recorrido por la luz.....	29
1.7.7 Dispersión temporal geométrica.....	29
1.8 Óptica ondulatoria.....	29
1.8.1 Modos de propagación.....	30
1.8.2 Frecuencia Normalizada.....	30
1.8.3 Potencia transportada.....	30

1.8.4	Acoplamiento de modos, distancia de equilibrio, micro curvaturas y difusión.....	30
1.9	Dispersión temporal en una fibra óptica.....	32
1.9.1	Dispersión modal o intermodal.....	32
1.9.2	Dispersión cromática o intramodal.....	33
1.9.3	Dispersión por polarización de modo.....	35
1.9.4	Reducción de la dispersión.....	35
1.10	Principales tipos de fibra.....	36
1.10.1	Fibra de índice escalonado.....	37
1.10.2	Fibra de índice gradual.....	37
1.10.3	Fibra monomodo estándar SMF.....	38
1.10.4	Fibras monomodo DSF (Dispersion Shifted Fiber).....	38
1.10.5	Fibras monomodo NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber).....	38
1.11	Tecnología de fabricación.....	39
1.11.1	Método de doble crisol.....	39
1.11.2	Preforma obtenida por depósito interno.....	40
1.11.3	Preforma obtenida por depósito externo.....	40
1.11.4	Formación de la fibra.....	42
1.11.5	Atenuación en una fibra óptica.....	42
1.11.6	Medida de la atenuación.....	42
1.11.7	Pérdidas por absorción.....	42
1.11.8	Pérdidas por difusión.....	43
1.11.9	Ventanas de transmisión.....	43
1.12	Fuentes de radiación.....	43
1.13	Detectores de radiación.....	46
1.13.1	Amplificadores ópticos.....	47
1.14	Instalación de la fibra óptica.....	48
1.14.1	Estructuras de la fibra óptica.....	49
1.14.2	Tendido del cable de fibra óptica.....	50
1.14.3	Empalmes del cable de fibra óptica.....	51
1.14.4	Conexión.....	51
1.15	Evaluación de un enlace de fibra.....	53
1.15.1	Medida de la Atenuación.....	53
1.15.2	El retro esparcimiento.....	54
1.16	La multicanalización óptica.....	54
1.16.1	WDM.....	54

1.17	Adquisición de la fibra.....	55
1.17.1	Ejemplo de especificaciones de una fibra óptica.....	55
1.17.2	Ejemplo de especificaciones de un cable de fibra óptica.....	56
CAPÍTULO II		
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA		
2.1	Introducción.....	58
2.2	Descripción del problema.....	59
2.3	Objetivo del informe.....	61
2.4	Aporte.....	61
2.5	Síntesis del informe.....	61
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA PARA RESOLVER EL PROBLEMA		
3.1	Introducción.....	62
3.2	Toma de datos.....	62
3.3	Cálculos básicos.....	64
3.4	Elección del cable de fibra.....	65
3.5	Recursos humanos y equipamiento.....	72
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		
4.1	Introducción.....	74
4.2	Análisis de la información obtenida como resultado del estudio.....	74
4.3	Resultados obtenidos en relación con elementos usados en la práctica.....	74
4.4	Costos y tiempo de ejecución promedio.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		77
BIBLIOGRAFÍA.....		78

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de las empresas ha traído como consecuencia, paralelamente, un gran aumento del volumen de información que se genera y como consecuencia ha requerido un desarrollo vertiginoso de las áreas de tecnología de información en ellas.

Entiéndase como Tecnología de la Información (TI) al área en la organización en la que se gerencia la tecnología, el manejo de la información y que considera la adquisición de datos, su procesamiento, su almacenamiento y distribución a las áreas que lo soliciten o requieran.

Dentro de ésta área de TI, la infraestructura del Data Center es el que requiere la mayor atención ya que es el lugar de donde se genera la información o por donde ésta pasa.

El diseño de la red del Data Center está basado en una estructura planteada por capas, como son la capa principal (core layer), capa de totalización (aggregation layer) y la capa de acceso (access layer).

El planteamiento por capas es la base fundamental del diseño de un Data Center, que busca mejorar su escalabilidad, performance, flexibilidad, fortaleza y mantenibilidad.

Es en este marco que la transmisión de datos entre capas y entre módulos de las capas se hace de vital importancia, más aún teniendo en cuenta que debido al crecimiento de las organizaciones el tráfico de información es cada vez más elevado, lo cual requiere medios de transmisión que puedan soportar este tráfico actual y puedan proyectarse al tráfico futuro, acompañando al crecimiento organizacional.

Al elegir en este informe a la Fibra Óptica como medio de transmisión de datos en lugar de la transmisión por par trenzado o cable coaxial no dejaremos de considerar que si bien es cierto que la fibra óptica, como medio de transmisión, puede soportar altas velocidades, éstas vienen condicionadas por la calidad de su fabricación, su adecuada elección, las buenas prácticas en el proceso de instalación, su operación y por el programa de mantenimiento preventivo aplicado.

Desarrollaremos por tanto, los criterios técnicos prácticos para el dimensionamiento y selección de la fibra óptica como canal de comunicaciones en un Datacenter.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1 Introducción

Las comunicaciones haciendo uso de Fibras Ópticas han avanzado a un gran ritmo desde su inicio en 1966.

Este desarrollo tecnológico se ha basado en tres fases principales. La era de la fibra multimodo en la etapa inicial donde la fibra de sílice fue inicialmente fabricada en los primeros años de los 1970s.

Luego a finales de los 1970s fueron fabricadas las fibras monomodo y finalmente comenzaron a estar disponibles, para los laboratorios de investigación, las fuentes laser en una longitud de onda de 1300 nm. La figura 1.1 muestra el incremento de la capacidad de transmisión y la distancia a medida que las comunicaciones ópticas evolucionaban desde 1975-2010. Un incremento significativo en el producto capacidad-distancia luego de 1990 es debido a la invención de amplificadores ópticos en línea basados en fibras de sílice con erbio dopado. Previo a esto, un cierto mejoramiento en la capacidad de transmisión debido a un cambio de uso de fibras multimodo a monomodo permitió que la distancia entre repetidores creciera a aproximadamente 40 Km.

A partir de allí, las fibras ópticas monomodo con bajas pérdidas a 1,550 nm fueron usadas con fuentes laser en esta región. La pérdida es cercana a la mitad con respecto a 1,300 nm por lo que en la práctica, la distancia del repetidor estaba limitada a 40 Km. Este escenario no mejoró sino hasta finales de los 1980s cuando fueron inventados los amplificadores ópticos, en particular los basados en erbio dopado que ofrece ganancia óptica significativa en el rango de 1,530-1565 nm. La amplificación para la banda L podría también estar disponible usando diferentes agentes de dopaje en las fibras de sílice. Sin embargo la amplificación Raman puede también estar disponible y la ganancia es distribuida a lo largo de la propagación de las señales ópticas.

Desde entonces, estos amplificadores ópticos han revolucionado el diseño y la implementación de las redes y sistemas de la transmisión óptica en donde la atenuación ya no es el mayor obstáculo.

El avance de fibras ópticas monomodo, de métodos de compensación de disper-

sión, fuentes de frecuencia única, así como de los receptores de bajo ruido y amplio ancho de banda han permitido la transmisión de señales de alta calidad sobre una extremadamente gran distancia con tasas de transmisión alcanzando 40-100 Gbps. Más adelante, algunas técnicas de manejo de dispersión pueden ser explotadas para extender las distancias de transmisión.

Desde que el ancho de las líneas de las fuentes laser actualmente pueden ser reducidas de tal manera que pueden ser consideradas como de frecuencia única, la modulación directa de la densidad de electrones en la cavidad laser es rara vez empleada para tasas de transmisión mayores o iguales a 10 Gbps. La modulación externa usando efectos electro-ópticos y la interferencia de las ondas de luz continuamente sintonizadas es la técnica comúnmente usada en la actualidad. Así, los formatos de modulación han sido usados para lograr anchos de banda efectivos en el espectro óptico y combatir los efectos de no linealidad y dispersión.

1.2 Datacenters

Data center (centro de cómputo, centro de proceso de datos), es una instalación empleada para albergar los sistemas de información y sus componentes asociados, como las telecomunicaciones y los sistemas de almacenamiento. Generalmente incluye componentes redundantes o de respaldo dependiendo de su disponibilidad (Tiers), considerando el grado de exposición al riesgo del sistema (ver fig. 1.1).



Figura 1.1 Riesgo por parada de un Datacenter

En el cada vez más competitivo mundo de los negocios, el manejo de información se ha convertido en factor esencial para el desarrollo y crecimiento de las empresas. Es frecuente que el volumen de datos a los que se tenga que acceder por una red sea inmenso. En estas situaciones, mover los datos por la red origina fuertes cuellos de botella que hacen que se tengan que modificar las arquitecturas de red para dar respuesta a estas especificaciones tan exigentes, por encima de tecnologías como Gigabit Ethernet o ATM (Asynchronous Transfer Mode).

La buena elección de una plataforma de sistemas de comunicaciones hará que el negocio tenga más posibilidades de asegurar una posición exitosa en el futuro.

Los Centros de Datos o Data Center, ya sea para mantener las necesidades de una sola empresa o alojar decenas de miles de sitios de Internet de clientes, son esenciales para el tráfico, procesamiento y almacenamiento de información. Por ello, es que deben ser extremadamente confiables y seguros al tiempo que deben ser capaces de adaptarse al crecimiento y la reconfiguración.

1.2.1 Clasificación de un Datacenter de acuerdo su disponibilidad (TIERS)

Este sistema de clasificación fue inventado por el Uptime Institute para clasificar la fiabilidad de los Datacenters.

El concepto de Tier nos indica el nivel de fiabilidad de un centro de datos asociado a cuatro niveles de disponibilidad definidos. A mayor número en el Tier, mayor disponibilidad, y por lo tanto mayores costos asociados en su construcción y más tiempo para hacerlo.

Tier 1: Centro de datos Básico: Disponibilidad del 99.671%.

El servicio puede interrumpirse por actividades planeadas o no planeadas.

No hay componentes redundantes en la distribución eléctrica y de refrigeración.

Puede o no puede tener pisos elevados, generadores auxiliares o UPS.

Tiempo medio de implementación, 3 meses.

La infraestructura del data center deberá estar fuera de servicio al menos una vez al año por razones de mantenimiento y/o reparaciones.

Tier 2: Centro de datos Redundante: Disponibilidad del 99.741%.

Menos susceptible a interrupciones por actividades planeadas o no planeadas.

Componentes redundantes (N+1), lo que significa que existe al menos un duplicado de cada componente de la infraestructura.

Tiene pisos elevados, generadores auxiliares o UPS.

Conectados a una única línea de distribución eléctrica y de refrigeración.

De 3 a 6 meses para implementar. El mantenimiento de esta línea de distribución o de otras partes de la infraestructura requiere una interrupción del servicio.

Tier 3: Centro de datos Concurrentemente Mantenibles: Disponibilidad del 99.982%.

Permite planificar actividades de mantenimiento sin afectar al servicio de computación, pero eventos no planeados pueden causar paradas no planificadas.

Componentes redundantes (N+1).

Conectados a múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración, pero únicamente con una activa.

De 15 a 20 meses para implementar.

Hay suficiente capacidad y distribución para poder llevar a cabo tareas de mantenimiento en una línea mientras se da servicio a otras.

Tier 4: Centro de datos Tolerante a fallos: Disponibilidad del 99.995%.

Permite planificar actividades de mantenimiento sin afectar al servicio de computación críticos, y es capaz de soportar por lo menos un evento no planificado del tipo 'peor escenario' sin impacto crítico en la carga.

Conectados a múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración con múltiples componentes redundantes $2(N+1)$ que significa 2 sistemas con redundancia (N+1) cada uno, es decir una configuración sistema + sistema.

De 15 a 20 meses para implementar.

1.2.2 Topología de un Datacenter

Para esta descripción de la topología, ver fig. 1.2.

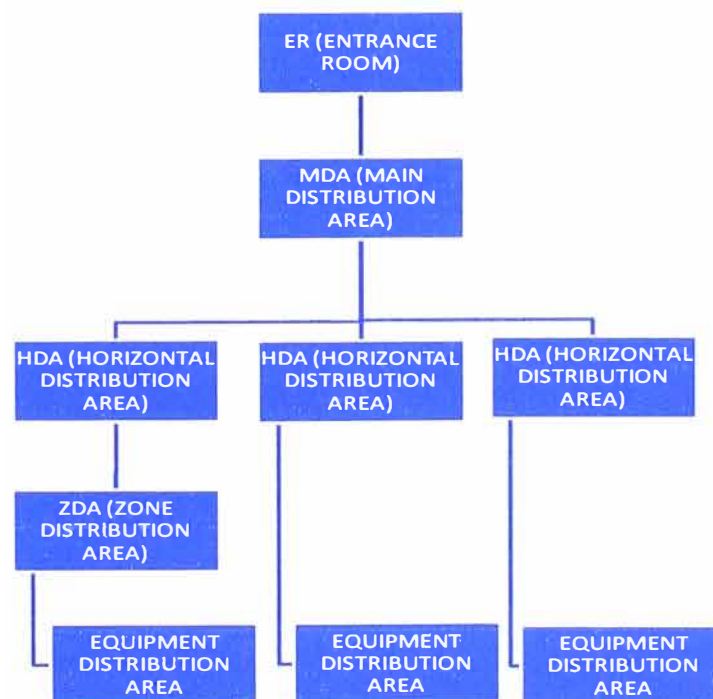


Figura 1.2 Topología de un Datacenter

Cuarto de entrada (ER, Entrance Room)

Es un punto demarcado por el proveedor de servicios, es la interface entre el DC (Data Center) y el cableado inter-edificios. Puede estar localizado fuera del cuarto de cómputo (basado en el tamaño del Data Center).

Puede haber múltiples cuartos de entrada para evitar que se exceda la máxima cantidad de cableado que recomienda el proveedor de servicios.

El cuarto de entrada se dimensiona de acuerdo a los requerimientos conocidos y los proyectados, en el que generalmente encontramos:

Canalizaciones de entrada.

Racks o gabinetes de los proveedores de servicio.

Equipos propiedad del usuario.

Canalizaciones al CR (Computer Room), MDA (Main Distribution Area), HDA (Horizontal Distribution Area).

El Cuarto de entrada debe cumplir con todos los requerimientos de espacio de los proveedores de servicios y debe cumplir con el requerimiento del dueño del DC (Data Center), también debe tener un acceso restringido ya que los proveedores de servicios típicamente lo requieren.

Área principal de distribución (MDA, Main Distribution Area)

Es el punto central de distribución para el sistema de cableado del DC, todos los DC tienen por lo menos un MDA y en esta área encontramos:

CORE ROUTERS, quienes proporcionan una "columna vertebral" interconectando la distribución de los niveles de los routers de múltiples edificios de un campus, o a las grandes empresas locales. Tienden a ser optimizados para ancho de banda alto.

SWITCHES, los cuales son dispositivos digitales de lógica de interconexión de redes de computadores que operan en la capa de enlace de datos del modelo OSI.

PBX, que es en realidad cualquier central telefónica conectada directamente a la red pública de telefonía por medio de líneas troncales para gestionar además de las llamadas internas, las entrantes y salientes con autonomía sobre cualquier otra central telefónica. Este dispositivo generalmente pertenece a la empresa que lo tiene instalado y no a la compañía telefónica (Private Branch Exchange).

Esta área puede servir a uno o más HDA (Horizontal Distribution Area) o EDA (Equipment Distribution Area) dentro del DC o a uno o más TR (Telecommunication Room) fuera del espacio del CR (Computer Room).

El MDA está localizado dentro del CR para evitar que los cables sobrepasen la distancia límite. Si es un cuarto cerrado se debe considerar: HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) dedicado, paneles para PDU y UPS.

Área de distribución horizontal (HDA, Horizontal Distribution Area)

Se Localiza dentro del CR para evitar que los cables sobrepasen las distancias límite, típicamente incluye switches para LAN, SAN y KVM.

Se utiliza mínimo un HDA por piso, tiene los mismos requerimientos mecánicos, arquitectónicos y eléctricos que un cuarto de cómputo.

Área de distribución de equipo (EDA, Equipment distribution Area)

Área para la colocación de equipo terminal: sistemas de cómputo y equipo de telecomunicaciones.

Área de distribución zonal (ZDA, Zone distribution Area)

Es un punto de interconexión opcional, dentro del cableado horizontal, se localiza entre el HDA y el EDA para permitir una reconfiguración frecuente y más flexibilidad.

Se limita a 288 conexiones de coaxial o de par trenzado, no se deben utilizar conexiones cruzadas en el ZDA.

1.2.3 Arquitectura de un Datacenter

Es importante conocer los componentes lógicos que forman la arquitectura de un Data Center. En la figura 1.3 se ilustran los conceptos y elementos esenciales de la arquitectura para el caso de un Internet Data Center.

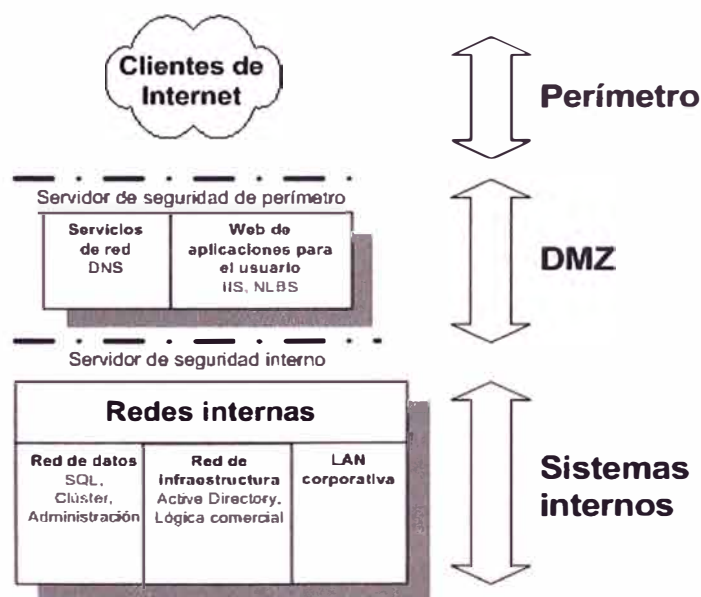


Figura 1.3. Elementos de la arquitectura de un Internet Data Center

Los elementos clave de la arquitectura son los clientes de Internet, los dispositivos situados en la red de perímetro, la llamada zona desmilitarizada (DMZ, Demilitarized Zone), el servidor de seguridad interno y la red interna que incorpora segmentos de red para los servidores de infraestructura, los servidores de bases de datos y administración y los servidores corporativos. Una red de área de almacenamiento (SAN, Storage Área Network) se encarga de centralizar el almacenamiento e implementar una solución de copia

de seguridad y restauración a alta velocidad que no interfiera con la red de producción.

Clientes de Internet

Los clientes de Internet son los usuarios finales, dispositivos inteligentes o aplicaciones a los que se puede tener acceso a través de Internet. Normalmente, los usuarios finales serán personas sentadas ante un equipo con acceso a información a través de Internet mediante sus exploradores locales, pero también puede tratarse de dispositivos inteligentes, como equipos de mano o asistentes digitales personales (PDA, Personal Digital Assistants), teléfonos inalámbricos con capacidad de transmisión de datos o teléfonos inteligentes.

Red de perímetro

La red de perímetro separa la red externa o red de Internet pública de la red interna de una organización. Entre los dispositivos de una red de perímetro se encuentran los enrutadores de frontera, los servidores de almacenamiento en caché y los servidores de seguridad. Estos dispositivos proporcionan la conectividad, seguridad y disponibilidad necesarias en la red.

Un servidor de seguridad es un mecanismo para controlar el flujo de datos entre dos partes de una red con niveles de confianza diferentes. El servidor de seguridad de perímetro debe inspeccionar el tráfico de red entre el perímetro y la red DMZ. El servidor de seguridad puede convertirse en un punto de concentración de errores y en un cuello de botella para el tráfico, por lo que la arquitectura se configura de modo que se realice la conmutación en caso de error.

DMZ

La zona desmilitarizada (DMZ) se encuentra entre la red de perímetro y la red interna y está separada de ellas por servidores de seguridad a ambos lados. Esta red contiene servidores que proporcionan dos grupos básicos de servicios. El primero es el servicio Web de aplicaciones para el usuario, formado por servidores en los que se ejecuta Internet Information Server (IIS). El segundo grupo de servidores proporciona servicios de red como el Sistema de nombres de dominio (DNS, Domain Naming System). Todos los servidores de la red DMZ también pueden comunicarse con recursos internos, como los servidores de bases de datos y otros componentes adicionales que formen parte de la red interna.

Servidor de seguridad interno

El servidor de seguridad interno ofrece una protección adicional a los servidores

de red internos. En la arquitectura de Internet Data Center, el servidor de seguridad se encuentra inmediatamente detrás de la DMZ y delante de todos los segmentos de red implementados. Entre estos segmentos se cuentan el segmento de red de datos y administración, el de infraestructura y el segmento de red corporativo (ver figura 1.3). Esta configuración ayuda a impedir el acceso a todos los segmentos de la red si un intruso logra poner en peligro a un servidor Web. Para entrar en la red, el intruso tendría que descifrar las reglas del servidor de seguridad y los filtros de paquetes IP para conseguir el acceso a los componentes y datos confidenciales de la empresa.

Red interna

La red interna situada tras el servidor de seguridad interno consta de áreas funcionales independientes divididas en segmentos de red o en varias VLAN. La configuración de las VLAN proporciona el máximo aislamiento de los distintos segmentos y favorece la seguridad y la administración del flujo de datos entre los componentes de una aplicación. El uso de la tecnología VLAN permite a una organización segmentar o agrupar los servidores internos en función de los requisitos de funcionalidad o seguridad e implementar reglas de servidor de seguridad que especifiquen a qué tráfico de la DMZ se le permite el acceso a cada segmento de VLAN. La red interna de la arquitectura de Internet Data Center consta de las VLAN siguientes:

VLAN de infraestructura. Contiene el servicio de directorio Active Directory™ y los servidores DNS que no deban exponerse directamente a Internet. Además, esta VLAN creará para contener los servidores de ensayo necesarios para la solución de administración de contenido y todos los servidores de lógica empresarial requeridos como parte de la solución de aplicación Web.

VLAN de datos y administración. Contiene clúster de servidores Microsoft SQL Server™, servidores de administración y servidores de red privada virtual (VPN, Virtual Private Network) para proteger la administración de la red. Los servidores de base de datos también se conectan a una red de área de almacenamiento (SAN) que incluye su propio hardware de red, medios de almacenamiento, servidores y canalizaciones Fibre Channel para mejorar el rendimiento del acceso a los datos. Esta VLAN alberga también los sistemas de copia de seguridad de la arquitectura general.

VLAN corporativa. Proporciona un punto de acceso al que puede conectarse la red corporativa. El servidor de seguridad interno se puede configurar de modo que defina qué servidores y puertos TCP/IP tienen permitido atravesar la DMZ para comunicarse con servidores de la intranet corporativa. La red corporativa puede conectarse a la arquitectura de Internet Data Center a través de una VPN, una

conexión de red privada o una conexión local.

En el diagrama siguiente (ver fig. 1.4) se presenta un resumen de esta arquitectura y se resaltan las funciones asignadas a los servidores conectados a cada VLAN:

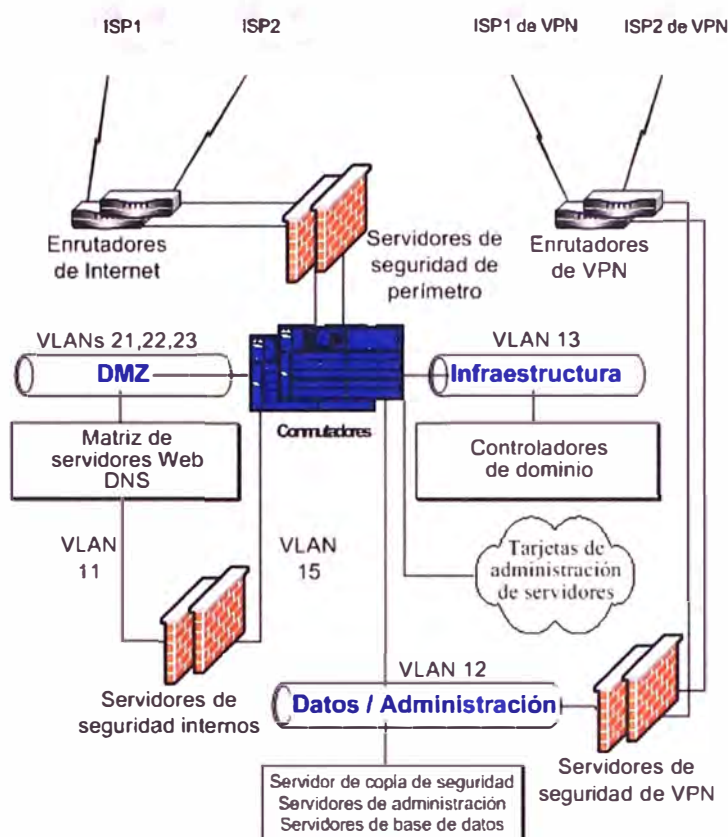


Figura 1.4 Arquitectura de Internet Data Center

1.3 Modelos de diseño de un Datacenter

La planeación de los centros de datos se ha convertido casi en una especialidad en el ramo de la arquitectura. Algunas firmas de arquitectos cuentan con un RCDD (Registered Communications Distribution Designer) dentro de su personal, o contratan a un consultor para asistir con el equipo especializado no cubierto por sus Ingenieros Eléctricos y Mecánicos. El equipo que alberga el centro es bastante complejo, cada uno con requisitos específicos de calefacción, enfriamiento, presupuestos eléctricos y consideraciones de espacio. Un centro de datos típico contiene los siguientes componentes:

- Infraestructura de cómputo y redes (cableado, fibra, y electrónicos).
- NOC o comunicaciones y monitoreo (network operation center).
- Sistemas eléctricos de distribución, generación y acondicionamiento, UPS, generadores de control ambiental y sistemas HVAC (heating, ventilation and air conditioning).
- Sistemas de detección y supresión de fuego.

- Seguridad física y prevención de control de acceso, permisos y logging.
- Protección de circuitos (protección de iluminación en algunos casos).
- Iluminación apropiada.
- Altura mínima de techo de 8'5".
- Tierra física.
- Racks y gabinetes para equipo.
- Canalizaciones: Piso falso y bandejas en techo.
- Circuitos y equipo de carriers.
- Equipos de Telecomunicaciones.
- Separaciones alrededor del equipo y terminaciones en paneles y racks.

Los centros de datos deben ser cuidadosamente planeados antes de construirse para asegurar su conformidad con todas las normas y reglamentos aplicables. Las consideraciones de diseño incluyen selección de sitio y ubicación, espacio, electricidad, capacidad de enfriamiento, carga de piso, acceso y seguridad, limpieza ambiental, prevención de peligros y crecimiento. Para poder calcular las necesidades anteriores, el arquitecto y el RCDD deben conocer los componentes que contendrá el centro de datos incluyendo todos los electrónicos, cableado, computadoras, racks, etc.

Para tener esta información es importante predecir el número de usuarios, tipos de aplicaciones y plataformas, unidades de rack requeridas para el montaje de equipo y sobre todo, crecimiento esperado o pronosticado. El anticipar el crecimiento y los cambios tecnológicos puede parecer una predicción inimaginable. Con la combinación posible de islas de almacenaje, islas de aplicaciones, plataformas de servidores y componentes electrónicos siendo literalmente factoriales, la planeación es tan importante para el centro de datos como el cableado lo es para la red. El centro de datos tomará su propio camino y deberá ser capaz de responder al crecimiento y cambios en equipo, normas y demandas al mismo tiempo que deberá mantenerse administrable y por supuesto, confiable. Los centros de datos de gran tamaño se diseñan en peldaños, con cada peldaño desempeñando diferentes funciones y generalmente con diferentes grados de seguridad. Puede establecerse redundancia entre los diferentes peldaños o diferentes ubicaciones geográficas dependiendo de las necesidades de los usuarios de la instalación.

La jerarquía tiene muchos beneficios en el diseño de las redes y nos ayuda a hacerlas más predecibles. En sí, definimos funciones dentro de cada capa, ya que las redes grandes pueden ser extremadamente complejas e incluir múltiples protocolos y tecnologías; así, el modelo nos ayuda a hacer fácilmente entendible la red y por tanto a decidir de una manera apropiada la aplicación de una configuración (ver fig. 1.5).

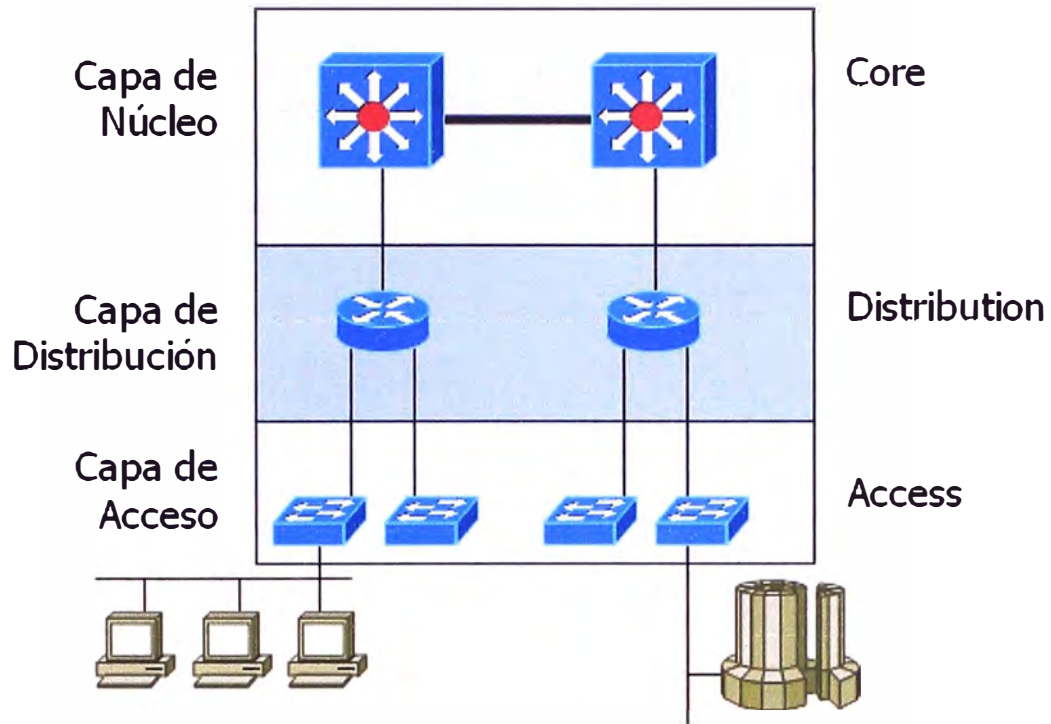


Figura 1.5. Capas de Jerarquía de los Switches.

Entre las ventajas que tenemos de separar las redes en 3 niveles, tenemos que es más fácil diseñar, implementar, mantener y escalar la red, además de que la hace más confiable, con una mejor relación costo/beneficio. Cada capa tiene funciones específicas asignadas y no se refiere necesariamente a una separación física, sino lógica; así que podemos tener distintos dispositivos en una sola capa o un dispositivo haciendo las funciones de más de una de las capas.

Las capas y sus funciones típicas son:

La Capa de Acceso (Access Layer): Conmutación (switching); controla a los usuarios y el acceso de grupos de trabajo (workgroup access) o los recursos de internetwork. Los recursos más utilizados por los usuarios deben ser ubicados localmente, pero el tráfico de servicios remotos es manejado aquí y, entre sus funciones están la continuación de control de acceso y políticas, creación de dominios de colisión separados (segmentación) y conectividad de grupos de trabajo en la capa de distribución (workgroup connectivity). En esta capa se lleva a cabo la conmutación Ethernet (Ethernet Switching), DDR (dial on demand routing) y ruteo estático (el dinámico es parte de la capa de distribución). Es importante considerar que no tienen que ser routers separados los que efectúan estas funciones de diferentes capas, podrían ser incluso varios dispositivos por capa o un dispositivo haciendo funciones de varias capas.

La Capa de Distribución (Distribution Layer): Enrutamiento (routing); es el medio de

comunicación entre la capa de acceso y el Core. Las funciones de esta capa son proveer ruteo, filtrado, acceso a la red WAN y determinar que paquetes deben llegar al Core. Además, determina cuál es la manera más rápida de responder a los requerimientos de red, por ejemplo, cómo traer un archivo desde un servidor. Aquí además se implementan las políticas de red, la seguridad, la redistribución entre protocolos de ruteo, ruteo entre VLANs y otras funciones de grupo de trabajo, se definen dominios de broadcast y multi-cast.

La Capa de Núcleo (Core Layer): Backbone; es literalmente el núcleo de la red, su única función es switchear tráfico tan rápido como sea posible y se encarga de llevar grandes cantidades de tráfico de manera confiable y veloz, por lo que la latencia y la velocidad son factores importantes en esta capa. El tráfico que transporta es común a la mayoría de los usuarios, pero el tráfico se procesa en la capa de distribución que a su vez envía las solicitudes al core si es necesario. En caso de falla se afecta a todos los usuarios, por lo que la tolerancia a fallas es importante. Además, dada la importancia de la velocidad, no hace funciones que puedan aumentar la latencia. Debemos diseñar el Core para una alta confiabilidad (high reliability), y seleccionar todo el diseño con la velocidad en mente, procurando la latencia más baja y, considerando protocolos con tiempos de convergencia más bajos.

Algunos modelos de diseño de Data Centers propuestos por el fabricante CISCO son:

1.3.1 Modelo de diseño por agrupamiento de servidores (Server Cluster)

Este tipo de sistemas se basa en la unión de varios servidores que trabajan como si de uno sólo se tratase. Los sistemas cluster han evolucionado mucho desde su primera aparición, ahora se pueden crear distintos tipos de clusters, en función de lo que se necesite:

- Clusters de Hardware.
- Clusters de Software.
- Alto rendimiento de bases de datos.

Estas son solo algunas de las opciones que tenemos disponibles. En resumen, cluster es un grupo de múltiples ordenadores unidos mediante una red de alta velocidad, de tal forma que el conjunto es visto como un único ordenador, más potente que los comunes de escritorio. De un sistema de este tipo se espera que presente combinaciones de los siguientes servicios:

- Alto rendimiento.

- Alta disponibilidad.
- Equilibrio de carga.
- Escalabilidad.

Para que un sistema cluster funcione no es necesario que todas las máquinas dispongan del mismo hardware y sistema operativo (cluster heterogéneo). Este tipo de sistemas debe de disponer de un interfaz de manejo de clusters, la cual se encargue de interactuar con el usuario y los procesos, repartiendo la carga entre las diferentes máquinas del grupo.

Por norma general un cluster hace uso de diferentes componentes para funcionar, entre estos están:

- Nodos (Ordenadores o servidores).
- Sistema operativo.
- Conexión de Red.
- Middleware (capa entre el usuario y el sistema operativo).
- Protocolos de comunicación y servicio.
- Aplicaciones.

Nodos:

Los nodos pueden ser ordenadores de escritorio o servidores, de hecho se puede establecer un cluster con cualquier tipo de máquina.

Sistema operativo:

Este debe de tener un entorno multiusuario, cuanto más fácil sea el manejo del sistema, menores problemas tendremos.

Conexiones de Red:

Las conexiones utilizadas en este tipo de sistema pueden ser muy variadas, se pueden utilizar desde simples conexiones Ethernet con placas de red comunes o sistemas de alta velocidad como Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Myrinet, Infiniband, SCI, etc.

Middleware:

El middleware es el software que actúa entre el sistema operativo y las aplicaciones y que brinda al usuario la experiencia de estar utilizando una única super máquina. Este software provee una única interfaz de acceso al sistema, denominada SSI (Single System Image). Optimiza el sistema y provee herramientas de mantenimiento para procesos pesados como podrían ser migraciones, balanceo de carga, tolerancia de fallos, etc.

Este sistema también se encarga de la escalabilidad del cluster, detectando nuevas máquinas y añadiéndolas al grupo.

Por lo tanto, si un cliente quisiera disponer de un cluster para su servidor Web, este podría optar entre diferentes opciones.

Este Tipo de diseño no tiene ninguna desventaja, este tipo de sistemas son los más fiables, ya que para la parada total del proceso deben de pararse todas las máquinas que componen el grupo. Es la mejor solución para crecer según las necesidades reales, ya que puede añadir tantas máquinas necesite.

Empresas muy importantes como Google y Microsoft utilizan este tipo de sistemas para poner en marcha sus portales. Realmente con este tipo de soluciones las posibilidades son inmensas.

1.3.2 Modelo de diseño Multi-Nivel (Multi-TIER)

El modelo de varios niveles del centro de datos está dominado por aplicaciones basadas en HTTP en un enfoque de varios niveles. El enfoque de múltiples niveles incluye entornos web, de aplicaciones y base de datos de los servidores. Hoy en día, la mayoría de las aplicaciones basadas en Web se construyen como aplicaciones de varios niveles. El modelo de varios niveles utiliza el software que se ejecuta como procesos separados en la misma máquina con la comunicación entre procesos (IPC), o en diferentes máquinas con las comunicaciones a través de la red. Típicamente, los siguientes tres niveles son utilizados:

- Web-server
- Aplicación
- Base de datos

Se puede lograr la separación entre los niveles mediante la implementación de una infraestructura independiente compuesta por switches de agregación y acceso o mediante el uso de VLAN.

Una VLAN la definimos como una subred definida por software y es considerada como un dominio de broadcast que puede estar en el mismo medio físico o bien pueden estar sus integrantes ubicados en distintos sectores de una corporación.

Esto permite un control más inteligente del tráfico de la red ya que como los switches trabajan a nivel de capa 2 del modelo OSI, son capaces de aislar el tráfico.

Observemos un diagrama en la figura 1.6.

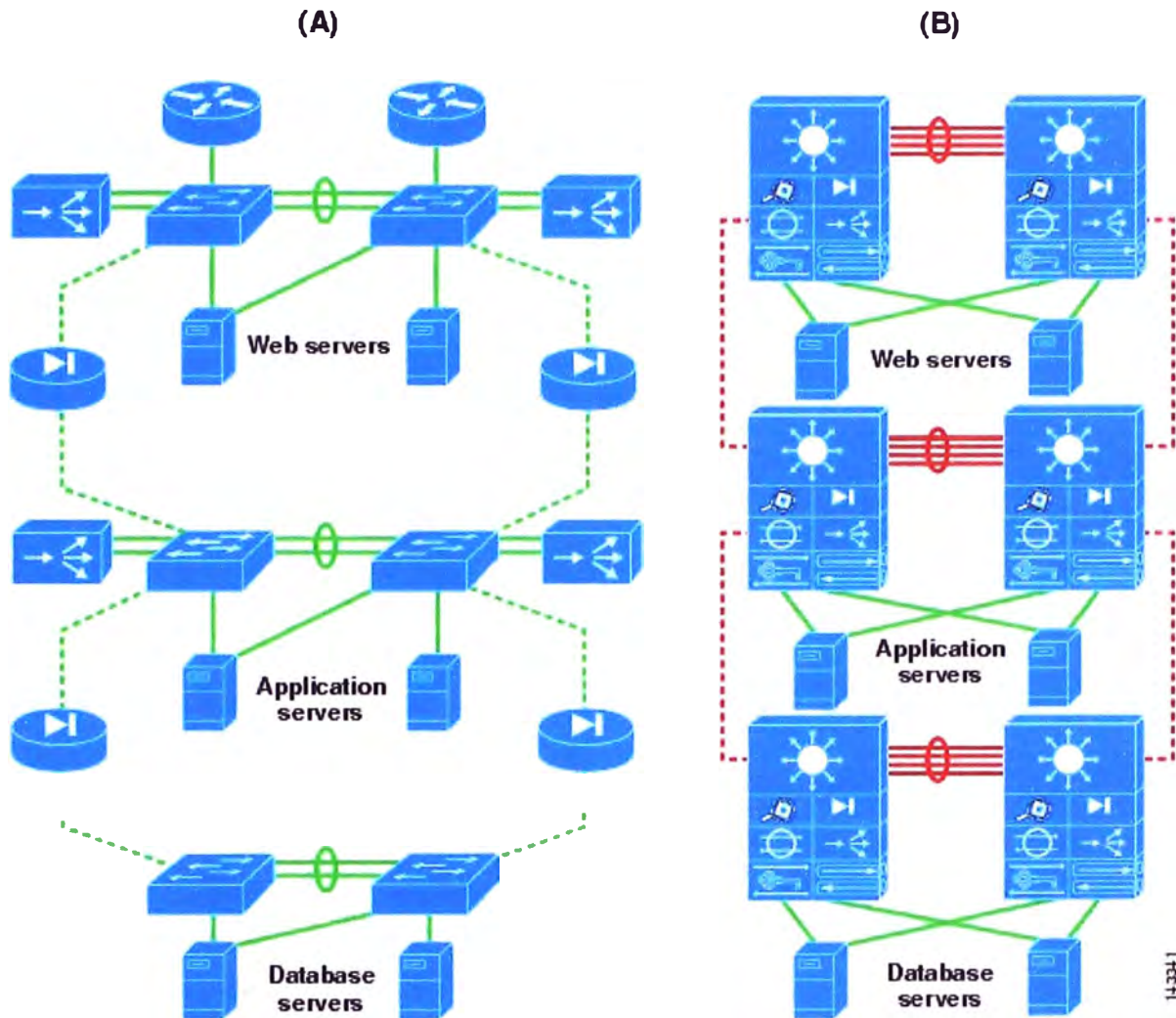


Figura 1.6 La separación física en una granja de servidores con electrodómesticos (A) y módulos de servicios (B)

El diseño que muestra en la Figura 1.7 utiliza VLAN para separar las granjas de servidores. El lado izquierdo de la ilustración (A) muestra la topología física, y el lado derecho (B) muestra la asignación de VLAN a través de los módulos de servicio, el firewall, el equilibrador de carga y conmutación. El balanceador de firewall y de carga, que son compatibles con VLAN, hacen cumplir la separación de VLAN entre las granjas de servidores.

La separación física mejora el rendimiento porque cada nivel de servidores se conecta a un hardware dedicado. La ventaja de utilizar la separación lógica con las VLAN es la reducción de la complejidad de la granja de servidores. La elección de la separación entre separación física o lógica depende de requisitos específicos de rendimiento de red y los patrones de tráfico

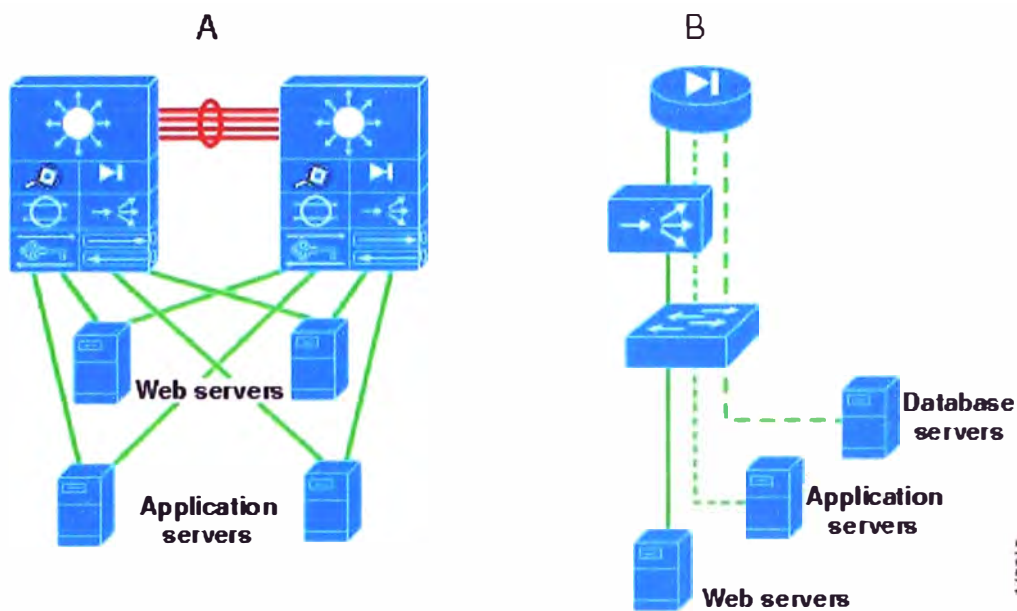


Figura 1.7 Separación lógica en una granja de servidores con VLAN

1.4 Consideraciones generales finales de diseño de Datacenters

Los Data Centers propios, ya sea externalizados en una sola o en diferentes ubicaciones, proporcionan un beneficio único a nivel de ahorros económicos, de empleados y en algunos casos, suponen una vía de ampliación de la experiencia propia de cada empresa.

Las ubicaciones externas de Data Centers son cada vez más populares para el hosting de aplicaciones en forma del llamado cloud computing. Estos modelos permiten a varios clientes compartir servicios e instalaciones de telecomunicaciones, encontrándose sus equipos en un espacio proporcionado por su proveedor de servicios. Se puede liberar una banda ancha interna de la compañía para otras aplicaciones corporativas.

Los Data Centers tanto de gestión propia o externalizada están creciendo rápidamente, permitiendo a las compañías ahorrar en costes de funcionamiento del Data Center o en inversiones como generadores, equipos de refrigeración o UPS. A medida que aumentan los servicios de centros de procesos de datos, muchos proveedores ofrecen diferentes modelos dependiendo de las necesidades del arrendatario. La combinación de estos modelos da como resultado una amplia red de términos y servicios de nueva creación. La infraestructura en forma modular presenta beneficios para cualquiera de los tipos de modelos derivados.

Data centers externalizados

En esta opción las empresas alquilan una combinación de espacio e instalaciones de un proveedor para todas o una parte de sus aplicaciones corporativas y funciones de

proceso de datos. Resultan una opción atractiva para las empresas que cuentan con innumerables plataformas y aplicaciones aliviando la continua necesidad de formación para la actualización de múltiples productos, parches, cambios de hardware, cambios de plataformas de software, etc. Como precisan de asistencia in situ, las empresas verán como su personal de informática deja de preocuparse de las actualizaciones constantes y centran sus recursos en otras tareas que reportan un mayor valor añadido a la empresa. Estos Data centers pueden ser propios o compartidos por varias compañías.

Instalaciones de colocación

Las instalaciones de colocación están divididas en sub-espacios, espacios en armarios y en algunos casos los armarios pueden estar divididos para alojar pequeños elementos de infraestructura. Similar a un centro de datos compartido entre varias empresas, pueden suponer una solución para elementos críticos o como solución temporal cuando un CPD está a plena capacidad para algunas aplicaciones mientras se preparan las nuevas instalaciones.

Entornos cloud

Cloud computing es un nuevo concepto pero en realidad puede ser una IaaS, PaaS, SaaS o una combinación de éstas. En muchos entornos cloud, un usuario final alquila el espacio, banda ancha o potencia para los equipos según vaya necesitando.

Cada proveedor de servicios cloud dispone de una serie de herramientas que les permiten contar con una interface con el hardware dentro de su site. Los cloud residen tanto en Datacenters corporativos privados, como en combinación híbrida.

El entorno cloud puede ser pensado como clusters de servicios y no depender así de la ubicación para proporcionar, almacenar y/o combinar estas necesidades.

Las soluciones, los contratos de servicios, fiabilidad y garantía/confianza en la seguridad son uno de los factores más importantes en el proceso de toma de decisiones. Es difícil gestionar lo que no controlamos.

Se debe tener en cuenta múltiples consideraciones:

Evaluación del espacio

Al evaluar un espacio externalizado, la seguridad debe ser considerada un factor primordial. La seguridad debe incluir biometría, acceso acompañado, posibilidad de acceso fuera de horarios de oficina, aislamiento y videovigilancia, como mínimo. En espacios compartidos, existe la posibilidad de acceder a información de otras empresas. Es importante, por tanto, acceder a las instalaciones acompañado de personal de la compañía de outsourcing, proporcionando un nivel extra de seguridad que garantiza que los datos críticos de nuestra organización no se vean comprometidos. El personal que trabaja en espacios adyacentes también supone un riesgo para el equipo y servicios. Sistemas Inteli-

gentes de gestión de infraestructuras proporcionan monitorización online remota de todas las conexiones del equipo físico, auditando todos los cambios y modificaciones. En entornos de almacenamiento y gestión de información crítica el uso de estos sistemas es un nivel de vigilancia extra que garantiza la seguridad de la infraestructura física. Puede instalarse tanto en el espacio total como dentro de los sub-espacios propios de la compañía en entornos compartidos. Proporciona alarmas en tiempo real que permiten restaurar los servicios en el mínimo tiempo posible.

Mantenimiento de las instalaciones

El mantenimiento de las instalaciones también es un factor crítico; ha de estar adecuadamente determinado cada cuánto tiempo deben revisarse los generadores, los SAIs, y los mecanismos a prueba de fallos. También son críticos los sistemas de detección de incendios. El centro debería proporcionar informes de unidades de refrigeración y PDUs y explicar sus procesos y procedimientos para probar y auditar todos los sistemas así como sus planes de recuperación de desastres. También es interesante que se utilicen suministros energéticos que proporcionen una monitorización de la potencia consumida. Los sistemas sobrecargados no podrán dar una correcta respuesta a un posible fallo cuando se conectan sistemas adicionales. Cada vez se da más importancia en estos centros al uso de energía procedente de fuentes renovables.

Refrigeración

Otro aspecto a considerar es el sistema de refrigeración y el plan de mantenimiento del mismo en el espacio contratado. Si estos equipos no se revisan a menudo, pueden producirse vibraciones y otros efectos adversos sobre los equipos, además de falta de refrigeración. Una gestión de la canalización de cables y espacios adecuada también influye en la refrigeración, además de afectar al rendimiento de los equipos e instalaciones. Debe existir un estándar en el que se indique cómo se ubica el cableado en las bandejas superiores o bajo el suelo técnico. Conviene conocer qué políticas de gestión de cableado se aplican. Un exceso de cables en las bandejas puede provocar problemas de refrigeración, también en espacios de otros usuarios, sobre los que no tenemos control. Un arrendatario debería poder instalar su cableado preferido o pedir que lo haga una compañía de instaladores concreta, siempre que la compañía instaladora respete las políticas del centro. Si es preciso aceptar que haga la instalación la compañía del centro, no olvide solicitar referencias. Como a menudo no se da la importancia necesaria al cableado de red, es posible que la compañía escogida por el centro sea la más económica, así como los componentes que seguramente no ofrecerán el rendimiento deseado. Las soluciones pre terminadas en fábrica y la fibra óptica son las soluciones que mejor se adaptan a estos entornos, ya que pueden ser reutilizadas si es necesario realizar modificaciones.

También puede darse el caso que los proveedores de estas soluciones de entorno cloud exijan que los componentes estén certificados y hayan pasado las pruebas correspondientes, así como que sean de una categoría determinada que proporcione un mayor rendimiento.

Es importante garantizar que los sistemas de cobre y de fibra de la empresa fuera del Data center estén también certificados según una la categoría especificada. Algunos proveedores de sistemas cloud pueden requerir que sus clientes tengan los sistemas certificados e incluso actualizados en una categoría de rendimiento superior para eliminar la posibilidad de que los problemas de SLA (nivel de servicio, Service Level Agreement) sean causados desde dentro del centro de datos.

Potencial de crecimiento

El potencial de crecimiento también debe ser considerado. En algunas instalaciones puede ser difícil, incluso imposible, proporcionar crecimiento en espacios adyacentes, como resultado de que el equipo esté ubicado en múltiples niveles o en múltiples racks, lo que tendría efectos adversos para tecnologías de mayor velocidad con limitaciones de distancia, y podría repercutir en una reconfiguración de los sub-espacios, o en la necesidad de aumentar los costes en equipamiento. También hay que tener en cuenta que el potencial de crecimiento en los espacios adyacentes podría causar problemas de refrigeración o flujo de aire en el suyo propio. Han de mantenerse pasillos fríos y calientes entre los espacios. Los mejores centros contarán con una planificación del espacio. Conviene también tener en cuenta la inmunidad frente al ruido. Los cableados más adecuados para estos entornos serían las categorías apantalladas, y además presentan mejor rendimiento a las altas temperaturas. Como las velocidades de red se incrementan hasta y por encima de 10 Gigabit Ethernet, son más susceptibles al ruido externo como por ejemplo la diafonía con otros cables. El ruido externo es eliminado con un sistema blindado de categoría 7A que, gracias a su inmunidad al ruido, puede proporcionar el doble de capacidad de datos que un sistema de cableado no blindado, soportando 10GBASET.

Del mismo modo, los sistemas blindados de categoría 6A eliminan los problemas de ruido y son más populares que los equivalentes UTP. Como las instalaciones de colocation incrementan las temperaturas para ahorrar energía, los arrendatarios deben evaluar la reducción de la longitud de sus sistemas de cableado.

Cuanto más caliente sea el aire que se le proporciona al equipo, más caliente será el aire que exhale el equipo. Los equipos activos soportan las temperaturas de entrada mayores. En la parte trasera de los armarios, por donde se exhale el aire caliente, es el lugar donde habitualmente encontramos el cableado.

El plan de mantenimiento del centro debe incluir también una sencilla revisión pa-

ra las tomas de tierra.

Planificación energéticamente eficiente

Las opciones y planificación ecológica y energéticamente eficiente están tomando cada vez más importancia. Las empresas demandan energía sostenible, equipos con componentes energéticamente eficientes, certificaciones ISO 14001 y cumplimiento de los estándares RoHS y otras certificaciones como LEED, BREAM o Green Star en algunos casos. El proveedor debe aportar documentación que certifique que el entorno cumple con los requisitos de eficiencia energética.

No es necesario mencionar que, por supuesto, la empresa debe asegurarse de que el centro cumple con los requisitos de velocidad, direcciones IP, etc., que cubra las posibles demandas futuras de sus sistemas actuales y futuros. Algunos Data Centers están cambiando su configuración a cloud cuando los costes de potencia son inferiores en otros emplazamientos, o cuando la velocidad de los circuitos de telecomunicaciones son mayores, o dónde se encuentren las mejores infraestructuras de operadores, mientras que algunos se cambian sencillamente para huir del caos que actualmente tienen en su Data Center. Si se tienen en cuenta estas consideraciones, un espacio para externalizar sus datos puede ser una buena solución permanente o temporal. Además, como algunos ofrecen servicios administrativos puede ser también una solución para trasladar personal a estos nuevos centros.

1.5 Necesidad de un canal de comunicación de alta velocidad

Esta necesidad, nace del requerimiento continuo de mayor información a transmitir. La tecnología de la fibra óptica ha avanzado muy rápidamente y en la actualidad es posible incrementar la capacidad de una fibra y aumentar la distancia de propagación. La introducción de los EDFAs ha hecho posible de los sistemas de fibra óptica de hoy en día operen a 10 Gbps. Los EDFAs abrieron el camino para WDM (Wavelength Division Multiplexing) o multicanalización por división de longitud de onda. WDM es el proceso de dividir el espectro de la fibra óptica en un número de longitudes de onda sin traslaparse una con la otra. Cada longitud de onda es capaz de soportar un canal de comunicaciones de alta velocidad.

Otra tecnología innovadora en las fibras ópticas es el DWDM (WDM denso). Con esta tecnología se pueden soportar más de 16 longitudes de onda. En la actualidad los sistemas pueden soportar más de 320 longitudes de onda equivalente a 320 canales de alta velocidad por fibra. Se están haciendo desarrollos para que en un futuro cercano se puedan transmitir más de 15,000 longitudes de onda por fibra con la tecnología conocida como "chirped-pulse WDM" de los laboratorios Bell. Con esta tecnología las fibras ópticas tendrán una capacidad inimaginable.

La fibra óptica como medio de transmisión en el área de las telecomunicaciones ha demostrado su potencialidad al cursar por éstas casi todo el tráfico de voz y datos del mundo, así como el tráfico de Internet.

1.6 La luz, óptica y la Fibra Óptica

Normalmente llamamos luz a la radiación electromagnética que el ojo humano puede percibir, pero en física el término luz se usa en un sentido mucho más amplio, abarcando el rango entero de radiación conocido como espectro electromagnético, quedando la expresión luz visible para denotar la radiación en el espectro visible.

La óptica es la rama de la física que estudia el comportamiento de la luz, sus características y sus manifestaciones. Veremos entonces el comportamiento de la luz en una guía de onda llamada Fibra Óptica.

La fibra óptica está compuesta por tres capas diferentes: un material transparente de forma cilíndrica llamado núcleo en el que se propagan las ondas luminosas, el revestimiento que cubre el núcleo y que confina la luz dentro de él, y el recubrimiento que dota de protección al revestimiento. El núcleo y el revestimiento están formados por material dieléctrico (óxido de sílice ultra puro SiO_2), que permiten la propagación a través de una propiedad de la luz llamada reflexión interna total, mientras que el recubrimiento es un plástico o una cubierta acrílica (ver fig. 1.8).

Núcleo (Core): La parte interna que conduce la luz.

Revestimiento (Cladding): la capa media que sirve para confinar la luz en el centro.

Buffer ó Recubrimiento: la capa exterior que sirve como un "amortiguador" para proteger al núcleo y al revestimiento.

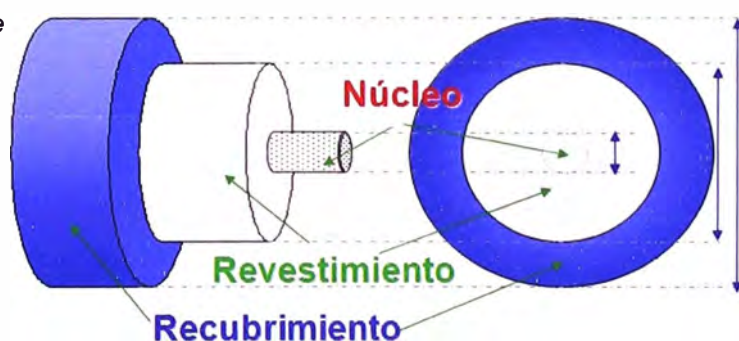


Figura 1.8 Estructura de un cable de fibra óptica.

1.6.1 La Fibra Óptica como canal de transmisión

Las telecomunicaciones ópticas en la atmósfera libre presentaban mucha atenuación por lo que se pensó en 1966 en el uso de guías de onda de luz, es decir la fibra óptica. Sin embargo, esta utilización necesitaba el logro de adelantos tecnológicos tanto a nivel de las fibras como de las fuentes y detectores de luz. A principios de la década de

1960 ya se había inventado el laser pero los rayos aún eran demasiados voluminosos para ser empleados en la fibra óptica.

La invención del diodo semiconductor antes y su desarrollo después de los 70 permitió la aparición de fuentes que emitían longitudes de onda entre 800 y 900 nm justamente en el rango en que las fibras presentan baja atenuación. Asimismo el avance en la tecnología de fabricación de la fibra óptica con baja atenuación aunada al desarrollo de fuentes de luz con longitudes de onda para las cuales la fibra presenta un mínimo de atenuación dio origen a las telecomunicaciones por fibra óptica que se conocen actualmente.

1.6.2 Sistema de comunicación por fibra óptica

La estructura básica general de un sistema de comunicación por fibra óptica tiene cinco elementos fundamentales (ver fig. 1.9).

Diagrama en bloques de un sistema de comunicación por fibra óptica

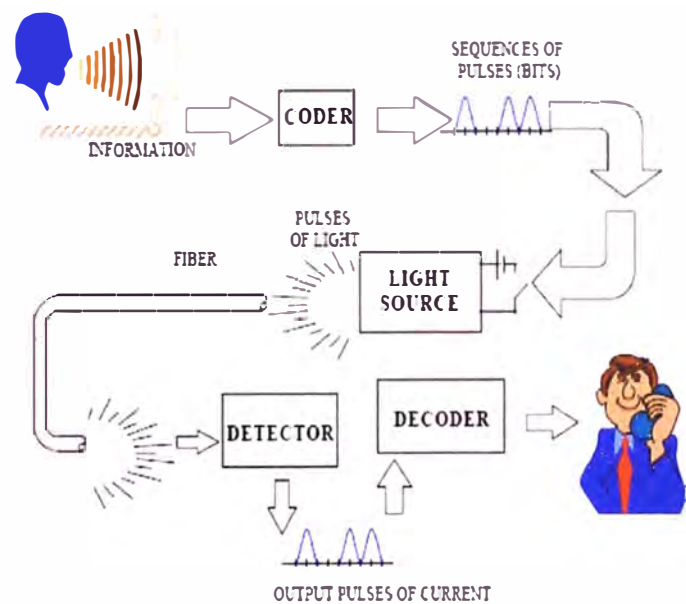


Figura 1.9 Sistema de comunicación por fibra óptica.

- Un módulo de codificación (CODER), que convierte la información en una señal eléctrica en forma de secuencia de pulsos o bits.
- Un módulo de emisión de la fuente de luz (LIGHT SOURCE) que convierte la secuencia de pulsos en una señal en forma de luz.
- Un canal de transmisión de la luz, que en nuestro caso es la fibra óptica (FIBER).
- Un módulo de detección (DETECTOR) que transforma la señal óptica recibida nuevamente en señal eléctrica en forma de pulsos.
- Un módulo decodificador (DECODER) que convierte la señal eléctrica nuevamente en información.

1.6.3 Ventajas y desventajas con relación a los sistemas tradicionales

Los sistemas de transmisión por fibra óptica tienen ventajas potenciales con respecto a los sistemas tradicionales de comunicación, sin embargo tiene también impedimentos que deben tenerse en cuenta al tomar la decisión de su instalación.

Ventajas

Baja atenuación. Esto nos permite acrecentar la distancia de transmisión, disminuyendo o eliminando la necesidad de repetidoras, lo cual incrementa la confiabilidad del sistema. Para la fibra mono-modo, la atenuación es aproximadamente 0.25 dB/Km en tercera ventana (1550 nm) y 0.4 dB/Km en segunda ventana (1310 nm).

Gran banda de paso. Su gran capacidad de banda pasante permite reemplazar varios canales de transmisión clásicos, lo que es un importante logro técnico y económico. Dos fibras ópticas pueden transmitir simultáneamente 60,000 conversaciones mientras que un enlace por microondas puede llevar solo 2,000.

Interferencia eléctrica. Las fibras se hacen de materiales dieléctricos, aislantes eléctricos (vidrio, plásticos), lo que hace que las interferencias electromagnéticas o de radio frecuencias externas no perturben la transmisión en la fibra y no genera por si misma interferencia.

Aislamiento. Debido a que la fibra es un dieléctrico, ésta elimina la necesidad de corrientes eléctricas para el camino de la comunicación y por tanto puede suministrar aislamiento eléctrico normal para una variedad de aplicaciones.

Peso y dimensiones. Un cable de fibra óptica es por lo menos 10 veces más compacto y más ligero que un cable coaxial clásico, lo cual lo hace ideal para instalaciones en donde el espacio es escaso y el peso es crítico.

Seguridad. La fibra óptica no se puede intervenir por medio de mecanismos eléctricos convencionales como conducción superficial o inducción electromagnética, y es muy difícil de intervenir ópticamente, y si la intervención fuera exitosa, se podría detectar monitoreando la señal al final de la fibra.

Desventajas

Conversión electro-óptica. En el extremo de transmisor se tiene que realizar la conversión de la señal eléctrica a óptica y en el extremo del receptor de óptica a eléctrica haciendo uso de tecnología de estado sólido. El costo del equipamiento para esta conversión es alto por lo que se tiene que considerar al momento de tomar la decisión.

Deformación geométrica. El tendido del cable de fibra requiere de canalizaciones o soportes sobre postes lo que puede causar daños mecánicos a la fibra en forma de deformaciones geométricas produciendo pérdidas por atenuación que pueden aumentar con el tiempo.

Instalación especial. Debido a que el cable de fibra óptica está compuesto principalmente por vidrio, se requieren procedimientos o técnicas especiales para su instalación para lo que se requieren técnicos entrenados y equipamiento adecuado para probar y poner en servicio los enlaces.

Reparaciones. Al dañarse un cable de fibra, su reparación no es fácil, se requieren de equipamiento especial y técnicos con mucha experiencia en los procedimientos de reparación y en el manejo de los equipos.

Componentes no versátiles. Si con el paso del tiempo se deseara cambiar de ventana de transmisión, los componentes instalados tienen que ser reemplazados casi en su totalidad ya que éstos cambian significativamente.

1.6.4 Aplicaciones frecuentes

Los campos de aplicación de la fibra óptica son numerosos, los siguientes son algunos de ellos.

a) Telefonía:

- Enlaces entre centrales telefónicas.
- Enlaces interurbanos.
- Enlaces transoceánicos.
- Transmisión de datos.

b) Televisión:

- Distribución por cable.
- Sistemas de seguridad.
- Teleconferencias.
- Enlaces cámara-estudio.

c) Informática:

- Enlaces entre computadoras.
- Enlaces entre computadoras y periféricos.
- Enlaces de alta velocidad en data centers.

Debido a la rápida evolución de ésta tecnología, constantemente se encuentran nuevas aplicaciones de las fibras ópticas.

1.7 Óptica Geométrica

La luz se compone de ondas electromagnéticas que transportan energía y que se caracterizan por su frecuencia de oscilación f y su longitud de onda λ , que se relacionan entre sí mediante la siguiente ecuación 1.1.

$$\lambda = v / f \quad (1.1)$$

Donde v es la velocidad de propagación de la onda en el medio en el que se propaga.

Si solo se tienen en cuenta las trayectorias seguidas por la luz (los rayos), sin considerar la naturaleza física de las ondas electromagnéticas, su estudio pertenece al campo de la óptica geométrica. Por lo tanto, una aproximación para el análisis de la propagación de la luz en una fibra óptica es la óptica geométrica.

1.7.1 Reflexión y refracción de la luz

La luz, puede transmitirse, reflejarse o refractarse cuando incide sobre una superficie de separación entre dos medios distintos, es decir que su dirección inicial sufre un cambio.

Reflexión de la luz. Cuando un rayo de luz que se propaga a través de un medio homogéneo encuentra en su camino una superficie incidente bien pulida, se refleja en ella con un ángulo de reflexión igual al ángulo de incidencia. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal pertenecen a un mismo plano llamado plano de incidencia (ver fig. 1.10). Este fenómeno se conoce como reflexión regular.

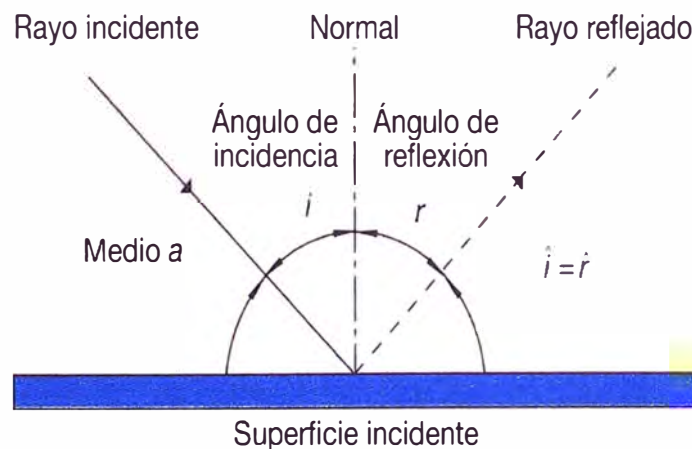


Figura 1.10 Reflexión de la Luz

Refracción de la luz. Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro, ésta cambia de dirección, conociéndose a este fenómeno como refracción de la luz. El cambio de dirección de la luz depende del índice de refracción de los dos medios (ver fig. 1.11). El índice de refracción es igual a la velocidad de la luz en el vacío ($c=299,792.458$ Km/s) dividida entre la velocidad de la luz en el material (v). El índice de refracción (n) nos representa cuánto el material refracta la luz y está definido por la ecuación 1.2:

$$n = c / v \quad (1.2)$$

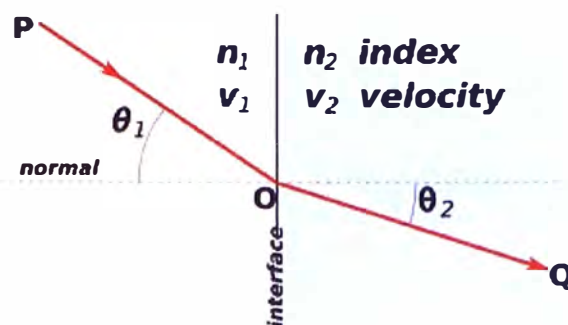


Figura 1.11 Refracción de la luz

La relación entre el seno del ángulo de incidencia θ_1 y el seno del ángulo de refracción θ_2 es constante, se define por la ley de Snell y está dado por la ecuación 1.3:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2 \quad (1.3)$$

1.7.2 Reflexión total interna

Cuando un rayo de luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro con menor índice de refracción, la luz se doblará alejándose de la normal. De acuerdo a la ley de Snell, existe una particularidad en un ángulo de incidencia llamado ángulo crítico θ_{1c} cuando el ángulo θ_2 del rayo refractado es 90° .

$\text{sen } \theta_1 = (n_2/n_1) \text{ sen } \theta_2$, si en ésta ecuación reemplazamos $\theta_2 = 90^\circ$ encontraremos un valor del ángulo θ_1 crítico (θ_{1c}) de tal manera que cualquier rayo con ángulo de incidencia mayor no se refractará sino que se reflejará completamente (ver fig. 1.12). A este fenómeno se conoce como reflexión total interna y es lo que permite la transmisión de luz en una fibra óptica de acuerdo a la ecuación 1.4.

$$\theta_{1c} = \text{arcsen} (n_2/n_1) \quad (1.4)$$

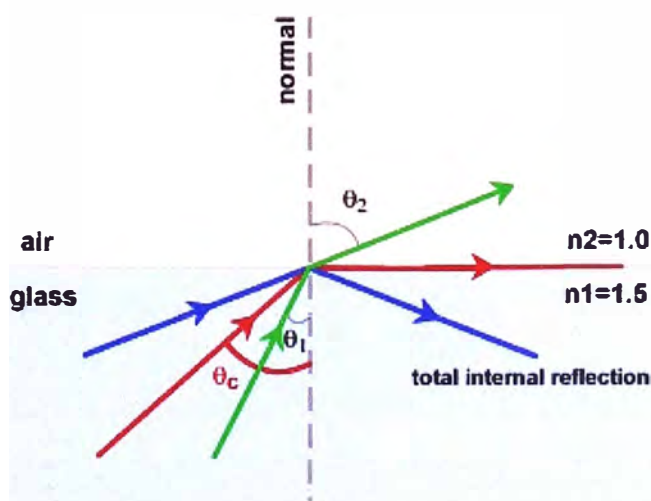


Figura 1.12 Reflexión total interna

1.7.3 Ángulo máximo de aceptación

El ángulo máximo de aceptación θ_a (ver fig. 1.13) es el máximo ángulo con el que pueden ingresar los rayos de luz a la fibra que garantiza la reflexión total interna. Este ángulo cumple la relación 1.5:

$$n_0 \text{ sen } \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (1.5)$$

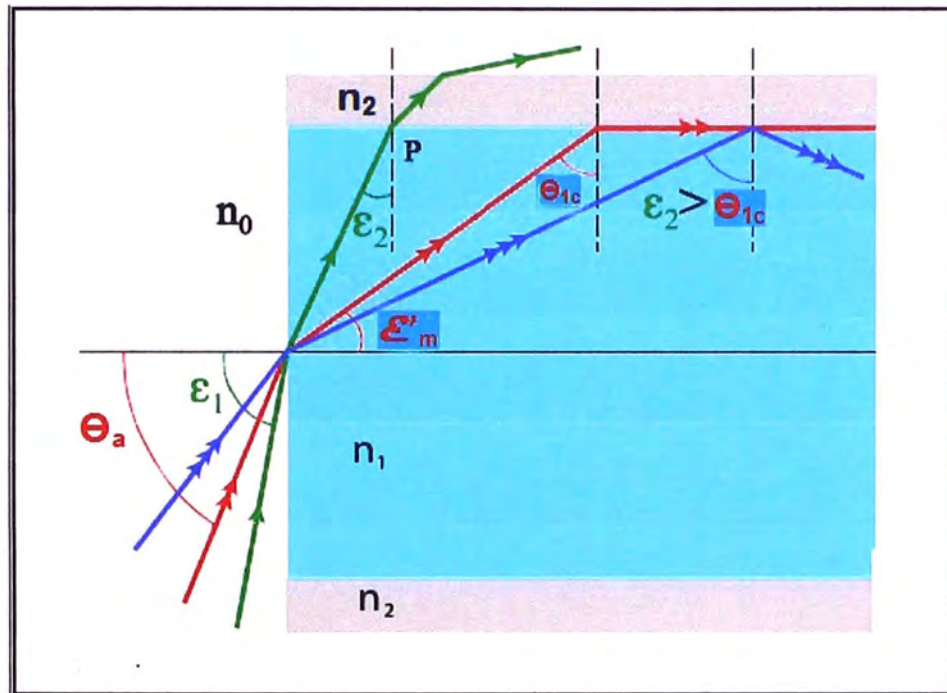


Figura 1.13 Ángulo máximo de aceptación

1.7.4 Apertura numérica

Se define un parámetro llamado apertura numérica geométrica de la fibra AN y está dada por la relación 1.6 :

$$AN = n_0 \text{ sen } \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (1.6)$$

La apertura numérica es un concepto de mucha importancia, ya que corresponde a la propiedad de la fibra para recolectar luz y propagarla. Es un valor que depende solo de los índices de refracción del núcleo (n_1), de la cubierta (n_2) y del medio que la rodea (n_0) pero no de sus dimensiones.

1.7.5 Número de reflexiones en la fibra

El número de reflexiones en la fibra de acuerdo a la nomenclatura de la figura 1.14 y realizando cálculos geométricos viene dado por la relación 1.7:

$$N = [L \text{ tg } (90 - \theta_1)] / a \quad (1.7)$$

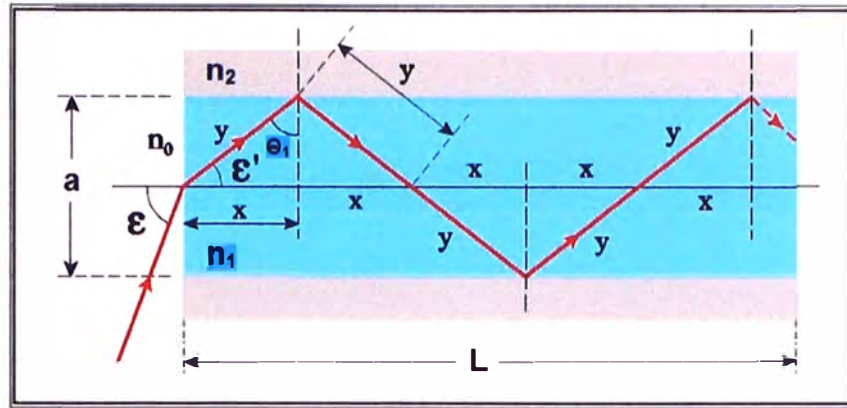


Figura 1.14 Número de reflexiones en la fibra óptica.

1.7.6 Camino óptico recorrido por la luz

De acuerdo a la figura 1.14 se demuestra que el recorrido mínimo y máximo están dadas por las relaciones 1.8 y 1.9:

$$L_{\min} = L \quad (1.8)$$

$$L_{\max} = L (n_1/n_2) \quad (1.9)$$

1.7.7 Dispersión temporal geométrica

Usando también como referencia la figura 1.14 podemos deducir que el rayo que recorre la distancia L_{\min} tardará menor tiempo en llegar al otro extremo de la fibra que el rayo que recorre la distancia L_{\max} , lo que nos da dos tiempos de llegada conforme a las relaciones 1.10 y 1.11.

$$t_{\min} = L (n_1/c) \quad (1.10)$$

$$t_{\max} = L n_1^2 / (cn_2) \quad (1.11)$$

La diferencia entre el tiempo empleado por el rayo más lento y el tiempo empleado por el rayo más rápido es la dispersión temporal τ según la siguiente relación 1.12.:

$$\tau = (Ln_1/cn_2)(n_1-n_2) \quad (1.12)$$

1.8 Óptica ondulatoria

El enfoque de la óptica geométrica es sin embargo insuficiente, ya que no da información sobre las propiedades energéticas de la luz, además la óptica geométrica resulta menos válida cuando la luz tiene una longitud de onda comparable a las dimensiones del medio en que se propaga. En tal caso es necesario usar la teoría ondulatoria de la luz. La naturaleza ondulatoria de la luz hace que existan interferencias entre diversas ondas en el interior de la fibra. Por tanto para que exista propagación efectiva de energía, estas

interferencias deben ser constructivas, es decir, que no provoquen la anulación del campo eléctrico o magnético y por consecuencia de la energía.

1.8.1 Modos de propagación

Cuando dos ondas se encuentren en un punto determinado dentro de la fibra va a existir un desfase de una con respecto a la otra que podemos expresarla de la siguiente manera de acuerdo a 1.13.:

$$\varphi = k \varphi_1 + \varphi_2 = 2\pi m \quad (1.13)$$

k es un número entero que representa la cantidad de reflexiones totales de una onda antes de encontrarse con la otra.

φ_1 es el desfase introducido por una reflexión total.

φ_2 es el desfase introducido por la diferencia en el recorrido.

m para que la interferencia sea constructiva, φ tiene que ser múltiplo de 2π .

El resultado de φ para una guía de onda plana de espesor "a" que es igualmente válido para las guías de ondas circulares nos da la relación 1.14.

$$\varphi = k \varphi_1 + (4\pi n_1 \cos \theta_1)(a/\lambda) = 2\pi m \quad (1.14)$$

A cada valor de m le corresponde un valor de θ_1 y estos valores permitidos constituyen los modos de propagación, resultado que no se podría haber obtenido con la óptica geométrica.

1.8.2 Frecuencia normalizada

Para poder comparar los fenómenos de propagación entre fibras de diferentes características se ha introducido un parámetro llamado frecuencia normalizada V que está dado por la relación 1.15:

$$V = (2\pi a/\lambda)(AN) \quad (1.15)$$

1.8.3 Potencia transportada

La teoría electromagnética nos muestra que toda la energía lumínica no viaja a través del núcleo de la fibra óptica (ver fig. 1.15). El diámetro de campo modal **MFD** (modal field diameter) representa la distribución de la luz que viaja a través del núcleo y la que viaja en las vecindades de la interface núcleo-revestimiento.

1.8.4 Acoplamiento de modos, distancia de equilibrio, micro curvaturas y difusión

Cuando se inyecta un rayo de luz en una determinada dirección se piensa que se recuperará solo este modo al final de la fibra, sin embargo en la práctica la fibra presenta ciertos defectos que hacen que se produzcan cambios en la dirección del rayo y consecuentemente una mezcla entre los diferentes ángulos de propagación. A este fenómeno se le conoce como acoplamiento de modos. A partir de cierta distancia en la fibra la dis-

tribución de los modos no depende tanto de las condiciones de inyección de los modos como de la propia fibra, a esa distancia se le conoce como distancia de equilibrio. Las causas principales de este acoplamiento de modos son las microcurvaturas y la difusión.

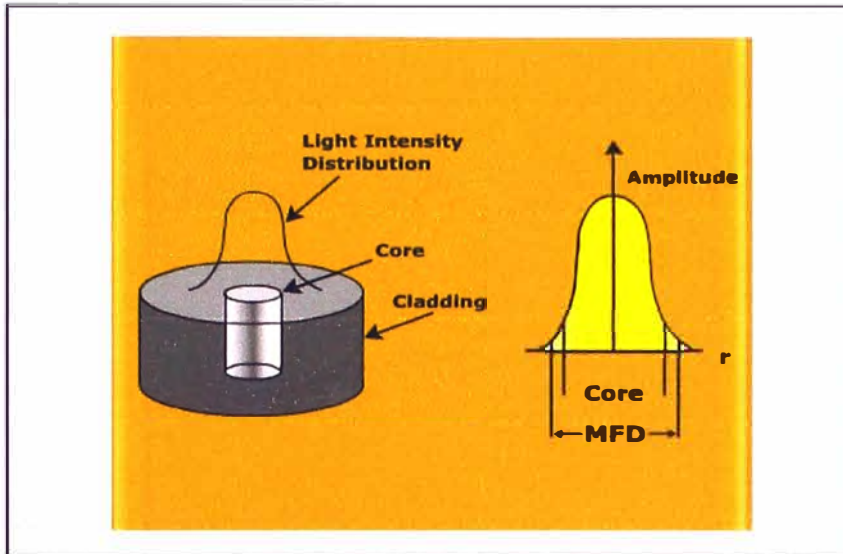


Figura 1.15 Potencia transportada.

Microcurvaturas. Ocasionadas en el proceso de fabricación o por exceso de macrocurvaturas. Pueden ocasionar tanto acoplamiento de modos como atenuación ya que algunos rayos pierden su condición de reflexión total (ver fig. 1.16). La atenuación es pequeña pero puede empeorar con el tiempo.

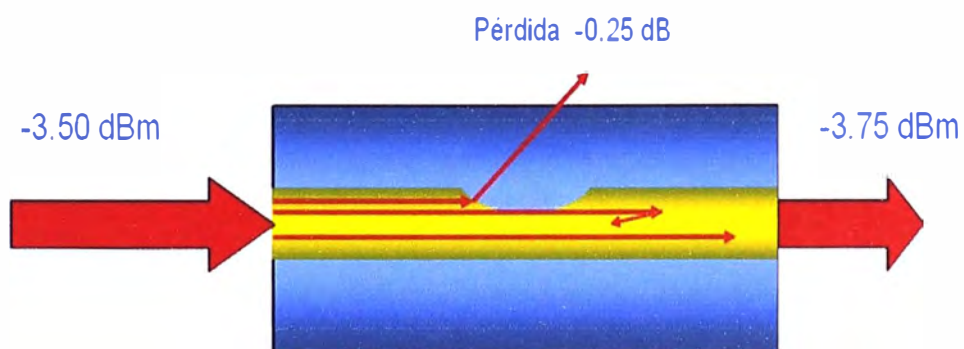


Figura 1.16 Microcurvaturas

Difusión. Los defectos en el núcleo de la fibra (ver fig. 1.17) pueden reaccionar como centros de difusión, transformando un solo modo en muchos, consecuentemente acoplamiento de modos y atenuación ya que solo continuarán los que cumplan con la ley de reflexión total.

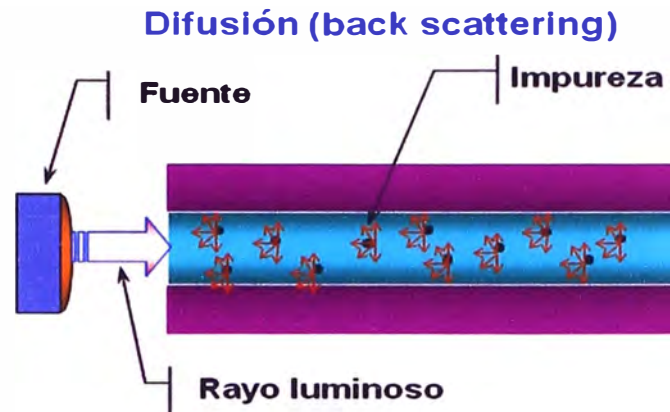


Figura 1.17 Difusión

1.9 Dispersión temporal en una fibra óptica

La dispersión en una fibra óptica es un fenómeno por el cual la señal transmitida se deforma a medida que se va propagando a través de ella, debido a que los diferentes componentes de la señal luminosa viajan a diferentes velocidades, motivo por el cual llegan en distintos momentos de tiempo ocasionando a la salida un ensanchamiento del pulso de entrada.

Existen varios tipos de dispersión (ver fig. 1.18):

- Dispersión modal o intermodal
- Dispersión cromática o intramodal
- Dispersión por polarización de modo

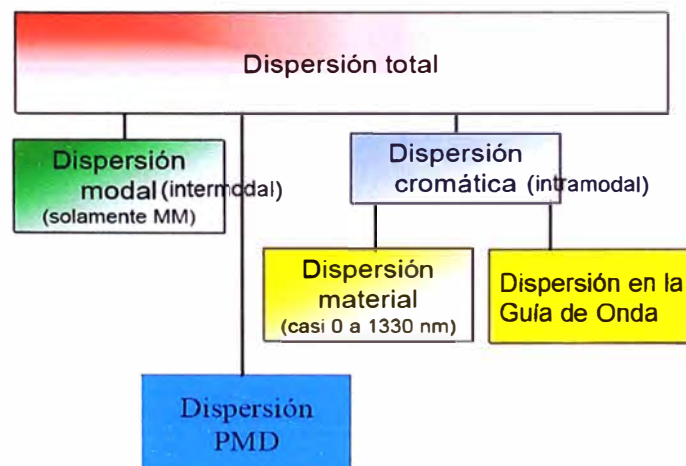


Figura 1.18 Tipos de dispersión.

1.9.1 Dispersión modal o intermodal

Como indicamos en la sección 1.7.7 la dispersión temporal τ está dada por la relación 1.12: $\tau = (Ln_1/cn_2)(n_1 - n_2)$

Esta dispersión solo se presenta en fibras multimodo ya que no todos los modos se propagan siguiendo las mismas trayectorias, trayendo como consecuencia que los pulsos, al llegar en diferentes tiempos, formen pulsos mas dispersos en el receptor (ver fig. 1.19).

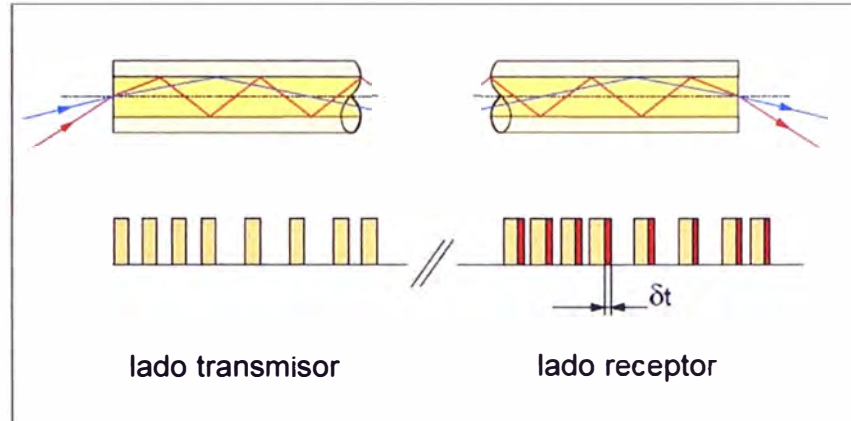


Figura 1.19 Dispersión intermodal.

1.9.2 Dispersión cromática o intramodal

Se presenta en las fibras monomodo y su principal causa es que cada pulso de luz transmitido no es enteramente monocromático sino que tiene un ancho espectral que depende del transmisor. Esta dispersión se divide en dispersión del material y dispersión en la guía de onda, ambos efectos prácticamente se cancelan en la proximidad de los 1310 nm donde la dispersión total cromática es casi cero (ver fig. 1.20).

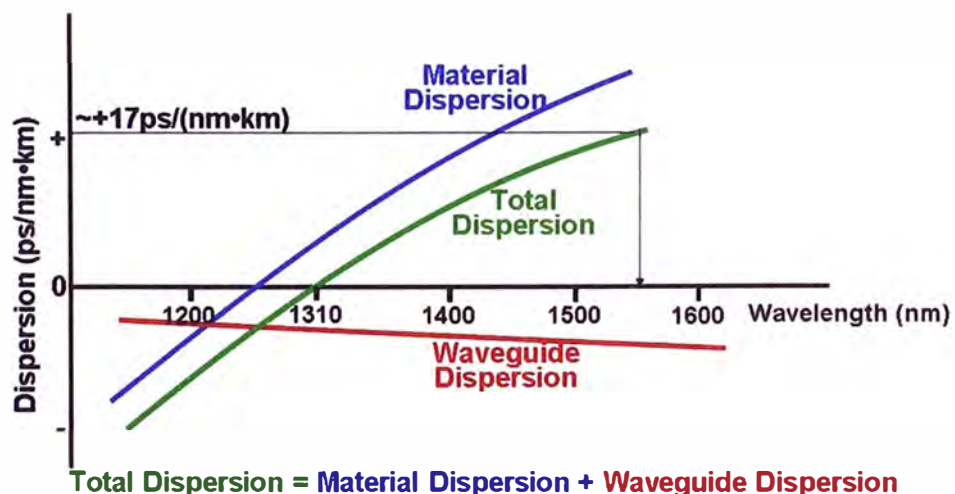


Figura 1.20 Dispersión cromática total.

Dispersión del material. Es el principal causante de la dispersión cromática total y se produce debido a que el índice de refracción de la fibra varía con respecto a la longitud de onda y consecuentemente las diferentes longitudes de onda viajan a diferentes velocidades (ver fig. 1.21). El valor de la dispersión cromática del material está dado

por la relación 1.16:

$$\sigma = D_c \sigma_\lambda L \quad (1.16)$$

Donde σ = dispersión cromática (ps), σ_λ = valor rms de la anchura espectral de la fuente de luz (nm), D_c = coeficiente de dispersión cromática del material ps/(nm x km) y L = Longitud de la fibra (Km).

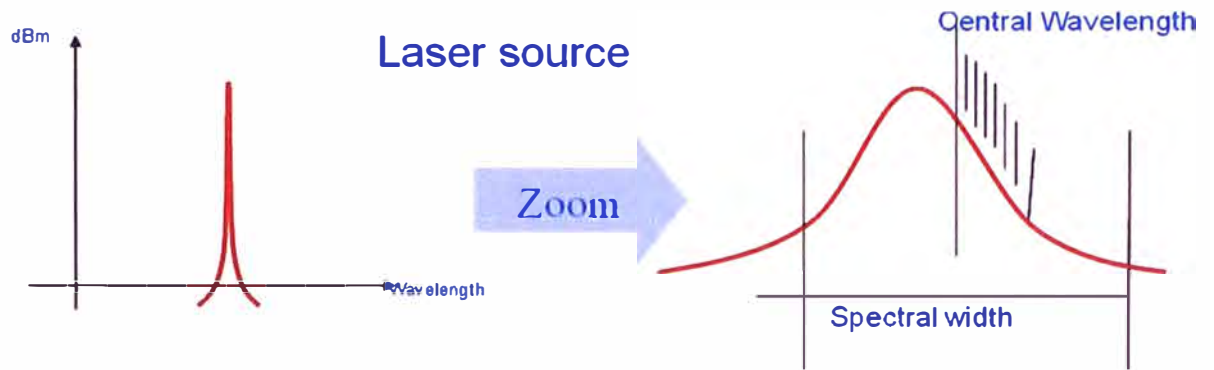


Figura 1.21 Dispersión cromática del material.

Dispersión en la guía de onda. Como sabemos, parte de la energía del pulso óptico se propaga por el núcleo y parte por el revestimiento de acuerdo al punto 1.8.3 con el concepto del diámetro del campo modal (MFD), por lo tanto, si la mayor potencia se transmite por el núcleo entonces el índice de refracción tendrá un valor cercano al índice de refracción del núcleo y viceversa. Esta distribución de onda de la potencia cambia en relación a la longitud de onda de la señal y por lo tanto se tendrán diferentes índices de refracción y diferentes velocidades de propagación, ocasionando nuevamente el ensanchamiento de los pulsos a la llegada al receptor, es decir una distorsión (ver fig. 1.22).

Conforme aumenta la longitud de onda mayor potencia penetra en el revestimiento

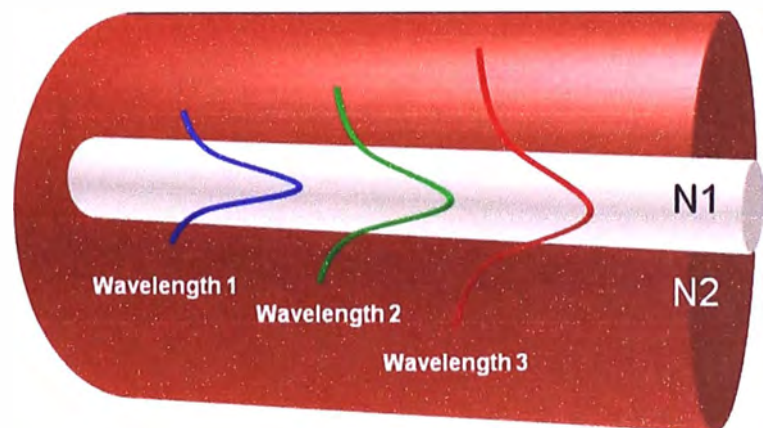


Figura 1.22 Dispersión en la guía de onda.

1.9.3 Dispersión por polarización de modo (PMD)

Este fenómeno se presenta por la asimetría de los componentes químicos de los cristales, generando en la luz en propagación dos polarizaciones ortogonales entre sí perpendiculares a dicha dirección de propagación. Las dos polarizaciones de la luz no se propagan igual a lo largo de la fibra sino a diferentes velocidades (birrefringencia). Esta dispersión depende mucho de la temperatura y de la humedad por lo que varía con el tiempo y es difícil de corregir. Solo se ve cuando se eliminan las dispersiones clásicas. Es función de la raíz cuadrada de la distancia por lo que no es crítico para grandes distancias (ver fig. 1.23). Responde a la siguiente ecuación 1.17:

$$\sigma_{\text{pmd}} = D_p \sqrt{L} \quad (1.17)$$

Donde D_p es un coeficiente de dispersión en ps/ $\sqrt{\text{Km}}$. y L la distancia en Km.

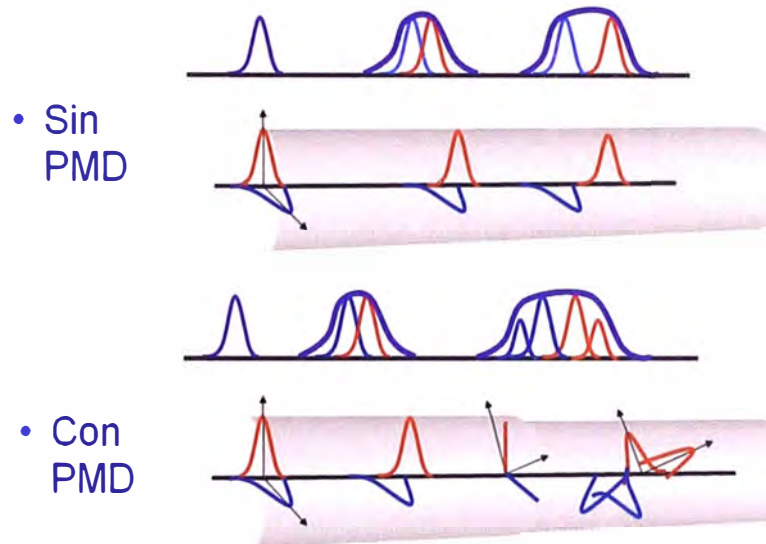


Figura 1.23 Dispersión por polarización de modo.

1.9.4 Reducción de la dispersión

Podemos entonces inducir que la dispersión nos impone límites en la capacidad de una fibra para transmitir información. Hay una frecuencia máxima por arriba de la cual, en la recepción, se perderá la información transmitida a causa de la superposición de dos pulsos sucesivos. Como el retardo aumenta con la distancia, la frecuencia de transmisión máxima disminuye a medida que la distancia aumenta. Esta es la razón de la importancia de reducir la dispersión en la fibra, es decir aumentar la capacidad de transmisión de la misma. Para el caso de la dispersión modal, con el fin de igualar los tiempos de recorrido de los diferentes modos, se emplean fibras cuyo índice de refracción del núcleo varía de forma gradual desde el centro del núcleo hasta la cubierta. A esta variación del índice de refracción con respecto a la distancia se le conoce como perfil del índice de refracción. También se puede actuar sobre las dimensiones físicas de la fibra o sobre los índices de

refracción del núcleo y del revestimiento.

1.10 Principales tipos de fibra

Todas las alternativas existentes traen como consecuencia el diseño de los siguientes principales tipos de fibra (ver fig. 1.24).

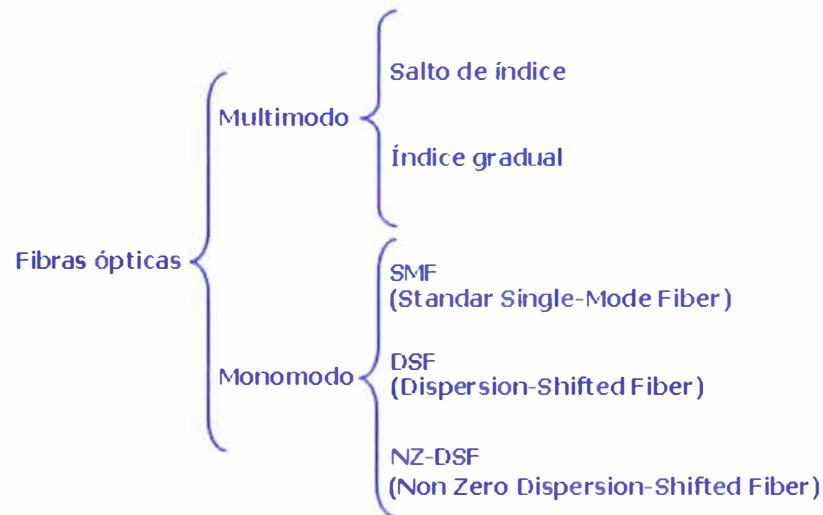


Figura 1.24 Tipos de fibra óptica.

Fibras multimodo. El diámetro del núcleo es aproximadamente 50 μm (índice escalón) o 62.5 μm (índice gradual). La luz se propaga siguiendo múltiples caminos, cada uno de los cuales se le conoce como modo de propagación. Normalmente operan en 850 nm y 1300 nm. (Ver fig. 1.25).

Fibras Monomodo. El diámetro del núcleo es más pequeño, aprox. 9 μm . La luz se propaga en un solo camino o modo. Normalmente operan en 1310 nm y 1550 nm. (Ver fig. 1.25).

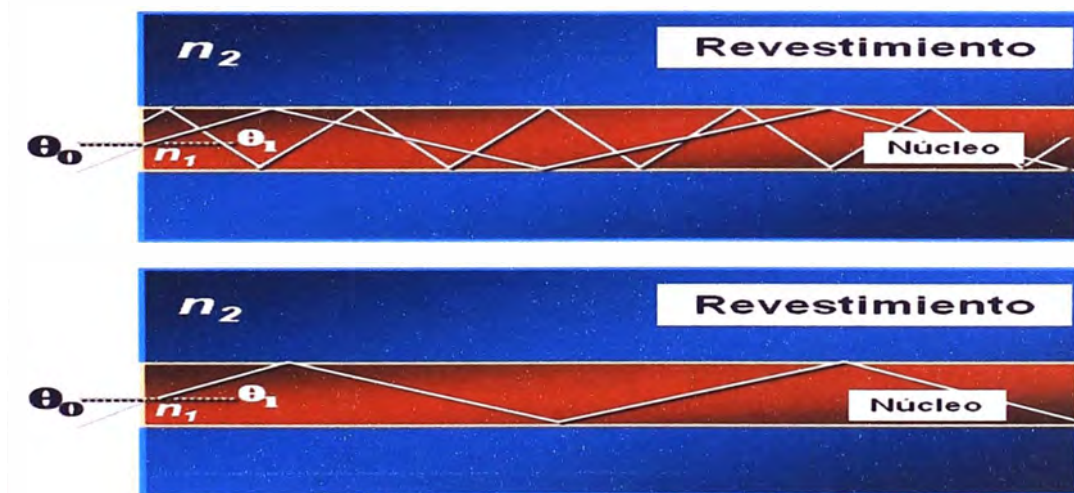


Figura 1.25 Fibras multimodo y monomodo.

1.10.1 Fibras de índice escalonado

A la fibra clásica se le llama fibra de índice escalonado o de salto de índice ya que el índice de refracción experimenta un salto de n_1 a n_2 cuando pasa del núcleo al revestimiento (vea fig. 1.26). Los rayos siguen una trayectoria recta (ver fig. 1.27) y son usados para uniones de corta distancia.

Fibras de salto de índice y de índice gradual

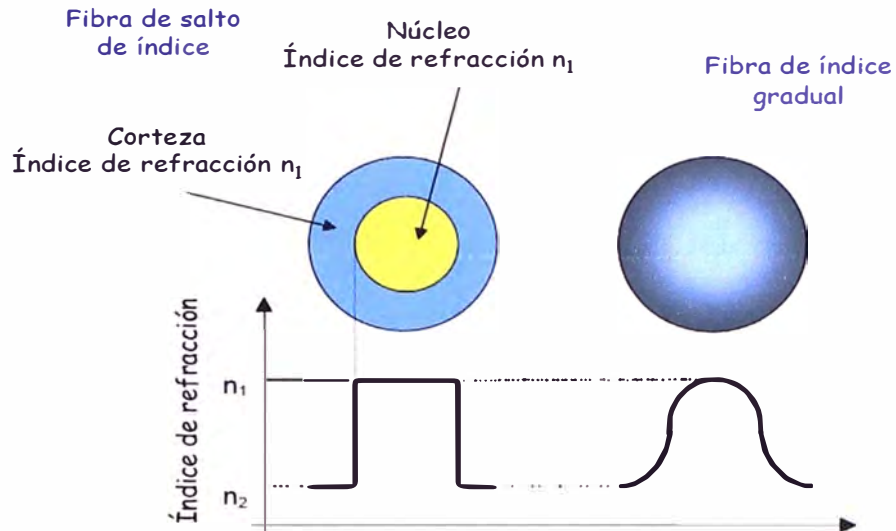


Figura 1.26 Fibras de salto de índice y de índice gradual.

1.10.2 Fibras de índice gradual

Cuando el perfil de índice de refracción es de forma parabólica se le llama fibra de índice gradual (ver fig. 1.26). Los rayos tienen una curvatura gradual continua y todos los modos tardan el mismo tiempo en recorrer la fibra y en consecuencia se reduce drásticamente la dispersión modal (ver fig. 1.27).

Trayectorias de los rayos en los distintos tipos de fibras

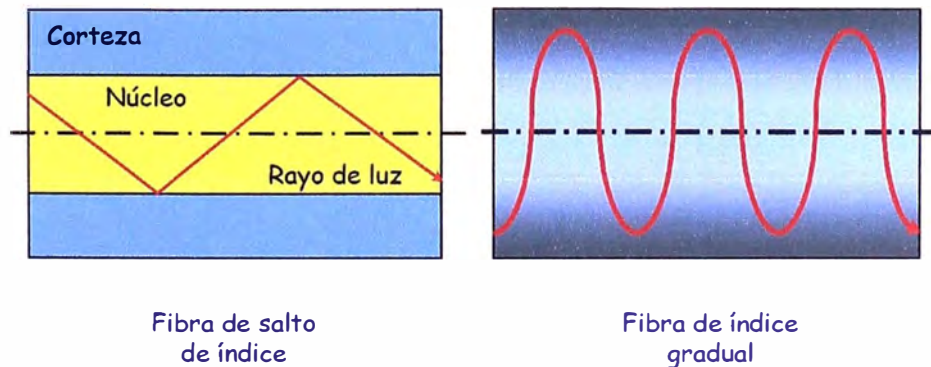


Figura 1.27 Trayectoria de los rayos en los distintos tipos de fibra.

1.10.3 Fibras monomodo estándar SMF

También se le conoce por sus siglas del inglés SMF (Single Mode Fiber) Si la dispersión modal en una fibra se debe a que los modos recorren trayectorias diferentes, una solución es buscar la manera en que la fibra tenga un solo modo de transmisión. La teoría modal nos dice que cuando la frecuencia normalizada $V = (2\pi a/\lambda)(AN)$ es igual o inferior a 2.405, la fibra no puede transportar más que un solo modo de propagación. El diámetro es de 8 μm , mientras que el diámetro de la cubierta es de 125 μm . Recuerde que una fibra no es monomodo más que a una cierta longitud de onda. Tiene una atenuación promedio de 0.2 dBm/Km y una dispersión total cromática de 16 ps/(Km x nm) en tercera ventana.

1.10.4 Fibras monomodo DSF (Dispersion Shifted Fiber)

Estas fibras están fabricadas de tal manera que se logra tener una dispersión cromática total cero en tercera ventana, pero como desventaja su atenuación aumenta hasta un promedio de 0.25 dBm/Km. Su gran inconveniente es que tiene efectos no lineales como el de mezclado de cuarta onda que impiden su uso en sistemas WDM.

1.10.5 Fibras monomodo NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)

Para resolver los problemas de la fibra anterior surge esta fibra con un valor de dispersión cromática cercano a cero pero no cero para lograr compensar los efectos de los fenómenos no lineales mediante la dispersión cromática.

(Ver fig. 1.28).

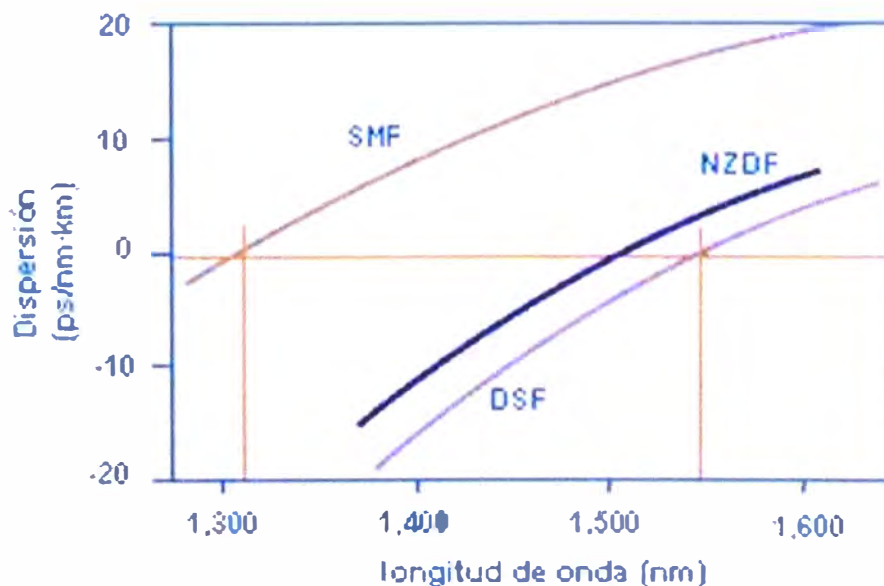


Figura 1.28 Fibra monomodo NZDSF.

1.11 Tecnología de fabricación

Se utilizan vidrios transparentes dentro de la gama de longitudes de onda de 0.6 y 1.6 μm y están constituidos por mezclas de óxidos metálicos. Los principales que pueden formar un estado vítreo son el óxido de silicio, de germanio, de fósforo y de boro que son denominados elementos formadores. Estos se mezclan con otros óxidos llamados elementos modificadores como el óxido de sodio, de calcio, de bario y de potasio. De esta mezcla resultan infinidad de vidrios con diferentes propiedades físicas (temperatura de fusión, índice de refracción, etc.) y químicas. Los pasos para la fabricación incluyen la etapa de la fabricación de la preforma y la etapa de la formación de la fibra.

Una preforma es una barra cilíndrica que prefigura la geometría de la fibra que se estira inmediatamente para formar la fibra final. La relación entre el diámetro del núcleo y el de la cubierta así como el perfil de índice es igual en la preforma como en la fibra. A parte del método de doble crisol, existen otros métodos para fabricar la preforma que usan depósito químico en fase de vapor, llamado comúnmente el método CVD (Chemical Vapour Deposition). Existen dos grandes técnicas que se originan de este método, la obtenida por depósito interno (MCVD) y la obtenida por depósito externo (OVD y VAD).

1.11.1 Método de doble crisol

En este método (ver fig. 1.29), donde se obtiene el núcleo y la cubierta así como el perfil de índice en una sola operación, se usan dos crisoles cilíndricos concéntricos cada uno de los cuales está con material de índice de refracción correspondiente. Cuando los vidrios alcanzan el punto de fusión los vidrios se unen en la base exterior y la fibra se obtiene por arrastre. Se fabrican por este método fibras de índice escalonado y también de índice gradual haciendo uso del fenómeno físico de intercambio iónico por difusión.

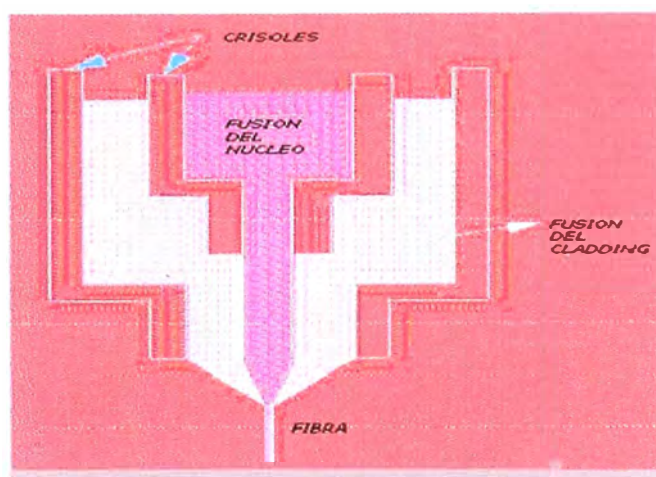


Figura 1.29 Método de doble crisol.

1.11.2 Preforma obtenida por depósito interno

Conocida como la técnica **MCVD** (Modified CVD) o bien IVPO (Inside Vapour Phase Oxidation). Utiliza un tubo de cuarzo puro de donde se parte y es depositado en su interior la mezcla de dióxido de silicio y aditivos de dopado en forma de capas concéntricas. Luego el tubo se instala en un torno giratorio. El tubo es calentado hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 1.400 °C y 1.600 °C mediante un quemador de hidrógeno y oxígeno. Al girar el horno, el quemador comienza a desplazarse a lo largo del tubo. Por un extremo del tubo se introducen los aditivos de dopado. La deposición de las sucesivas capas se obtienen de las sucesivas pasadas del quemador mientras el torno gira, quedando de ésta forma sintetizado el núcleo de la fibra óptica. La operación que resta es el colapso, se logra igualmente con el continuo desplazamiento del quemador, solo que ahora a una temperatura comprendida entre 1.700 °C y 1.800 °C (ver fig. 1.30). Precisamente es ésta temperatura la que garantiza el ablandamiento del cuarzo, convirtiéndose así el tubo en el cilindro macizo que constituye la preforma.

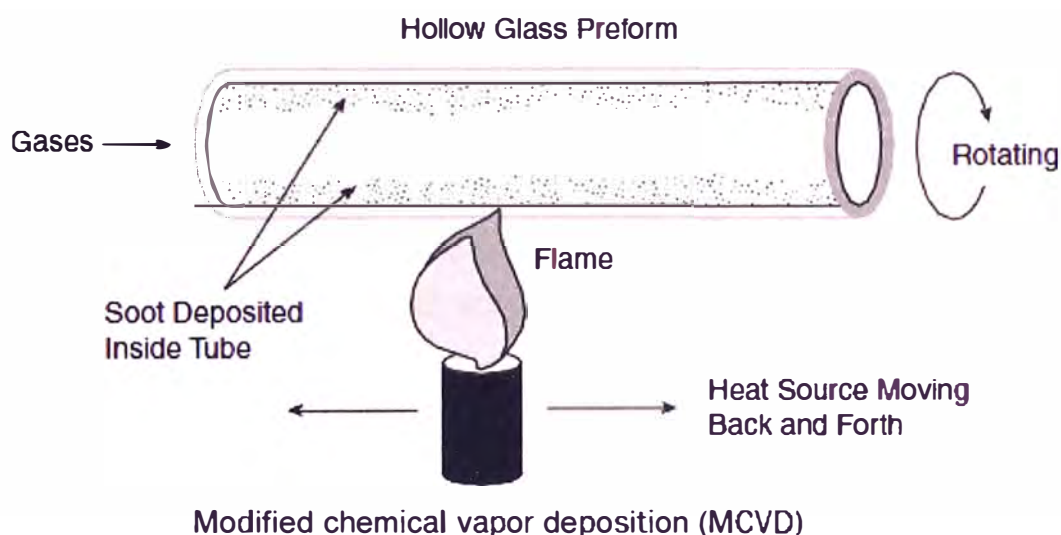
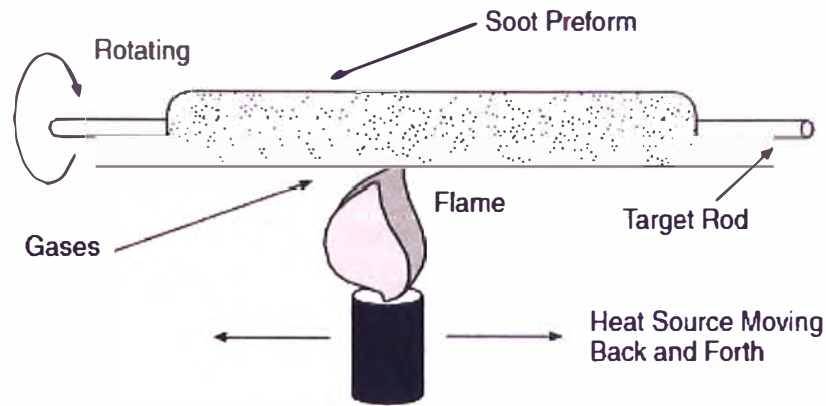


Figura 1.30 Preforma obtenido por depósito interno.

1.11.3 Preforma obtenida por depósito externo

Existen dos técnicas en este tipo de depósito:

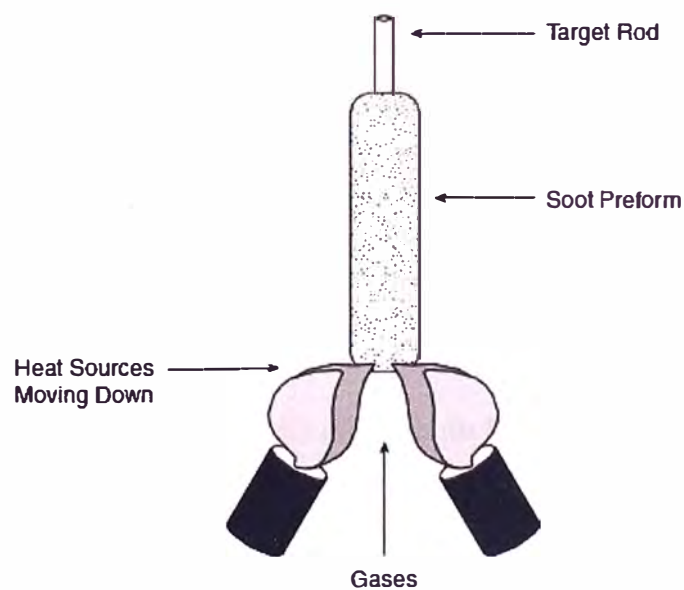
Método OVD (Outside Vapour Deposition), consiste en el uso de una barra objetivo que es colocada en una cámara y girada rápidamente en un torno. Una mezcla de gases controlado por computadora es aplicada entre el final de la barra y la fuente de calor (ver fig. 1.31). En cada pasada de la fuente de calor una pequeña cantidad de gas reacciona y se funde en la superficie exterior de la barra. Luego que las capas suficientes han sido construidas, la barra objetivo es retirada dejando la preforma de hollín contraída en una barra sólida.



Outside vapor deposition (OVD).

Figura 1.31 Preforma por el método OVD.

Método VAD (Vapor Axial Deposition), que usa el mismo principio que el método OVPO pero formándose esta vez el núcleo de la fibra y la cubierta al mismo tiempo. El núcleo se forma con un soplete axial mientras que la cubierta se forma con un soplete lateral. Utiliza una barra objetivo de vidrio muy corta suspendida por un extremo. Una mezcla de gases controlado por computadora es aplicada entre el final de la barra y la fuente de calor (ver fig. 1.32). La fuente de calor es lentamente retrocedida en la medida que la preforma aumenta de longitud debido a la construcción de un revestimiento de hollín causado por la reacción de los gases con el calor y la fusión en la parte final de la barra. Luego de haberse formado una longitud suficiente de la barra, ésta es retirada del extremo dejando la preforma de hollín. El agujero se cierra por retracción en el horno de formación.



Vapor axial deposition (VAD).

Figura 1.32 Preforma obtenida por el método VAD.

1.11.4 Formación de la fibra

Este es el proceso mediante el cual la preforma se convierte en fibra. Esto se consigue calentando la preforma a una temperatura tal que se pueda estirar por tracción mecánica. Este proceso consta principalmente de los siguientes pasos: Calentamiento de la preforma, estiramiento del vidrio fundido, control del diámetro de la fibra, aplicación del revestimiento protector de la fibra y finalmente el enrollado de la fibra en un tambor.

1.11.5 Atenuación en una fibra óptica

Como sabemos, las ondas electromagnéticas transportan energía. Cuando esta energía interacciona con la materia, la energía se modifica. Puede ser absorbida, transformándose en calor o puede ser difundida en cuyo caso la energía es distribuida en todas direcciones. Estos dos fenómenos contribuyen a la atenuación de la luz que se propaga en una fibra óptica.

1.11.6 Medida de la atenuación

La atenuación en una fibra óptica entre dos puntos determinados de ella la podemos medir comparando la potencia de salida con la potencia de entrada, de donde se deducen las siguientes relaciones 1.18 y 1.19.

$$A = 10 \text{ Log } (P_s/P_e) \quad (1.18)$$

$$P_s = P_e \exp(-\alpha L) \quad (1.19)$$

Así mismo podemos definir un coeficiente de atenuación de acuerdo a 1.20 como:

$$\alpha = A / L \quad (1.20)$$

Donde L es la longitud de la fibra.

Debido a que existen variadas causas de atenuación en la fibra, cada una de ellas tienen coeficientes de atenuación diferentes por tener causas independientes, el coeficiente de atenuación total será entonces la suma de los coeficientes de atenuación individuales. No se tomará en cuenta la atenuación debido a la absorción de los rayos ultravioleta e infrarrojo ya que su porcentaje de participación en el total es prácticamente despreciable.

1.11.7 Pérdidas por absorción

Es causado por un factor propio del proceso de fabricación de la fibra. Puede ser intrínseca, atribuible al propio vidrio o extrínseca, debido a la presencia de impurezas. La intrínseca puede ser causada por la transición electrónica causada por el fotón de luz o por la frecuencia de vibración propia de los átomos del vidrio. La extrínseca es debida a los iones de los metales de transición y a los iones OH⁻ que provienen de los residuos de agua. Tiene su propio coeficiente de atenuación $\alpha = \alpha_a$.

1.11.8 Pérdidas por difusión

Si al pasar la luz por una fibra se encuentra con una irregularidad de dimensión igual o inferior a su longitud de onda, ésta se difunde en todas las direcciones. Esto se conoce como **Difusión de Rayleigh**. Debido a que muchas de las direcciones de difusión no cumplen con la ley de reflexión total, una parte se pierde, trayendo como consecuencia una atenuación. Su coeficiente de atenuación está dado por la relación 1.21.

$$\alpha_d = A/\lambda^4 \quad (1.21)$$

1.11.9 Ventanas de transmisión

La figura 1.33 muestra la atenuación neta en una fibra de vidrio y las principales ventanas de operación. Un parámetro extrínseco de la fibra óptica es la ventana óptica de transmisión, es decir la longitud de onda central que utilizamos para transmitir la información a lo largo de la fibra. Las más usadas son la primera ventana a 850 nm, la segunda ventana a 1310 nm y la tercera ventana a 1650 nm que son las longitudes de onda en las cuales la atenuación presenta sus valores más bajos. El hecho que se acostumbre a usar la primera ventana en la transmisión de una señal es debido a los menores costos de las fuentes y receptores luminosos utilizados al ser más sencillo su fabricación.

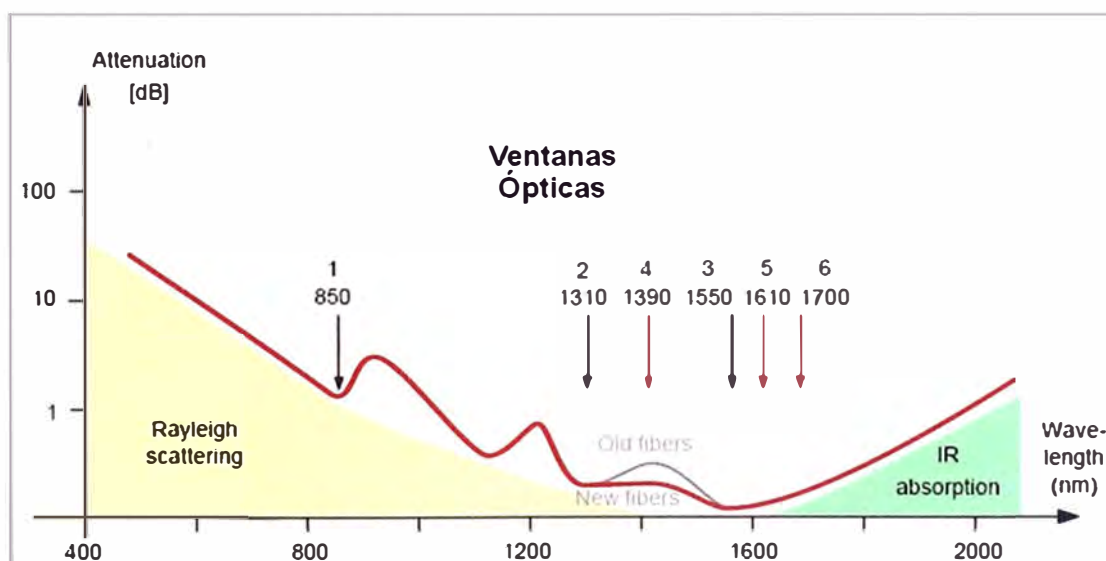


Figura 1.33 Ventanas de transmisión.

1.12 Fuentes de radiación

Las fuentes de radiación óptica son transductores que convierten las señales eléctricas en señales luminosas. Estas señales luminosas están moduladas análoga o digitalmente y se inyectan a la fibra. Estas fuentes emiten luz a una longitud de onda concordante con una de las ventanas de transmisión. Otros requisitos que deben cumplir son: Bajo consumo, alta fiabilidad con los cambios de temperatura, tamaño pequeño, tiempo

rápido de respuesta, alta potencia de salida, pureza espectral y debe soportar modulación a la velocidad de transmisión del sistema. Los dos tipos de fuentes más usados son el diodo de emisión de luz (LED) y el LASER semiconductor de inyección.

Diodo de emisión de Luz (LED)

Es un diodo semiconductor con una unión p-n de emisión espontánea. Estos diodos usan dopadores de tal manera que el proceso de recombinación electrónica sea radiactivo y se genere luz. Al tratarse de un proceso aleatorio es muy probable que las ondas emitidas no estén en fase. Debido a la gran dispersión de luz y la dispersión espectral amplia (ver fig. 1.34), se usa en transmisiones cortas y poca potencia.

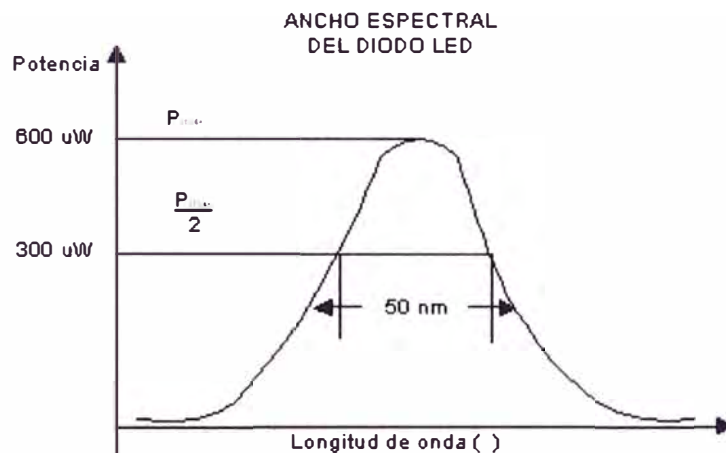


Figura 1.34 Ancho espectral del Diodo LED

Existen básicamente dos tipos de LED:

Los **SELED** (Surface Emission LED) llamados Burrus por su descubridor, adecuados para corta distancia en baja potencia y con fibra multimodo en primera ventana. Usan lentes ópticas para lograr concentrar las emisiones de luz con patrón Lambertian (ver fig. 1.35).

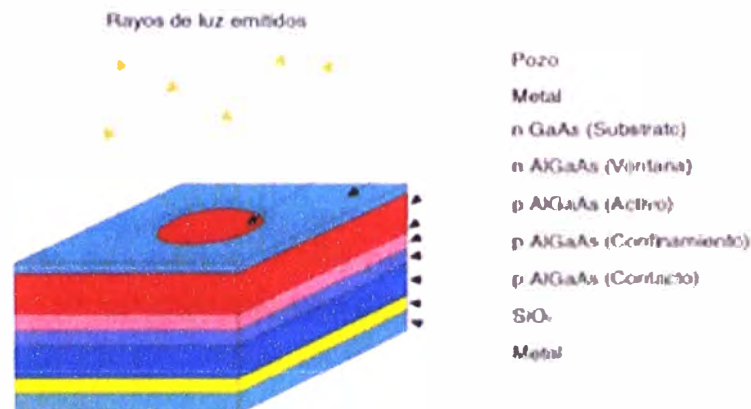


Figura 1.35 Diodo SELED

Los **EELED** (Edge Emission LED) con mayor potencia y patrón de emisión elíptico de mejor patrón de dirección que el SELED. Trabaja con fibras multimodo en primera o segunda ventana y distancias de mediana a grande (ver fig. 1.36).

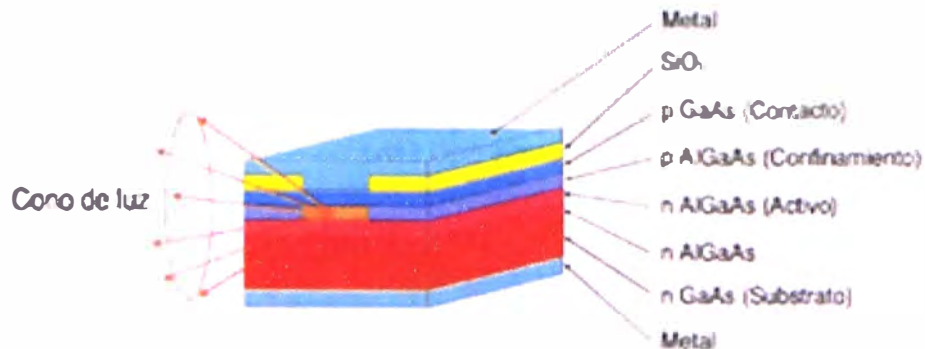


Figura 1.36 Diodo EELED

Observemos algunas características de los diodos LED en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Características de los diodos LED [13]

CARACTERISTICA	LED	ELED
Longitud de onda (nm)	850-1300	850-1300
Anchura spectral (nm)	30-110	10-50
Corriente de excitación (mA)	20-300	20-300
Potencia Media de salida (mW)	1	<3
Anchura de banda (MHz.Km)	10-50	50-200
Temperatura máxima admisible	60°	60°
Vida media (horas)	10 ⁷	10 ⁷

Diodo LASER de inyección

Es un diodo semiconductor de emisión estimulada que polarizado directamente emite luz coherente, monocromática y con un ancho espectral estrecho (ver fig.1.37).

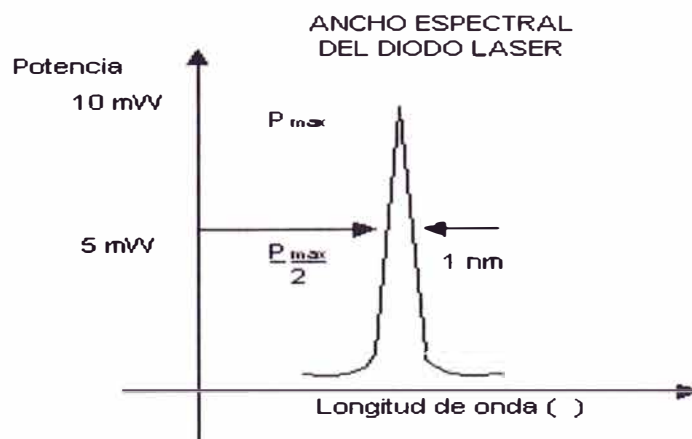


Figura 1.37 Ancho espectral del diodo LASER.

Consta básicamente de una unión p-n y contactos metálicos. Se pueden emplear eficientemente para transmisiones a mucha distancia y con frecuencias muy superiores a 300 MHz. (ver fig. 1.38). Es muy dependiente de la temperatura por lo que se tienen que emplear circuitos de control de corriente de polarización o bien mantener el LASER en un ambiente térmicamente estable. Al aumentar la temperatura el espectro de emisión varía desplazándose a mayores longitudes de onda.

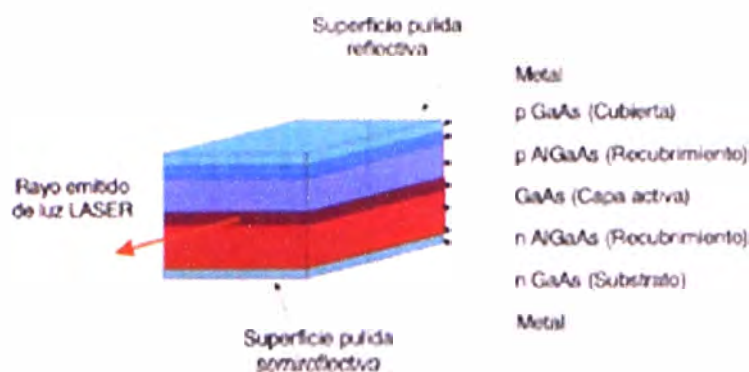


Figura 1.38 Diodo LASER de inyección.

Existen 2 tipos de LASER:

Diodos LASER de franjas de óxidos (DL) GaAlAs/GaAs para una emisión de aproximadamente 0.82 μm .

Diodos LASER con control por índice (IDL) GaInAsP/InP para una emisión entre 1.1 y 1.6 μm .

1.13 Detectores de radiación

Estos dispositivos activos convierten la señal óptica que procede de la fibra en señal eléctrica como primera parte del proceso de recepción, a continuación la señal se regenera, bien para llevarla a un equipo terminal o para ser incorporada a la siguiente etapa de un repetidor óptico. Básicamente es una unión p-n cuya banda prohibida es pequeña, lo que facilitará que la energía de un fotón incidente sea suficiente para crear un par electrón-hueco, circulando ambos portadores en sentidos opuestos creando una fotocorriente en el circuito externo. Se usan dos tipos de detectores, los fototransistores y los fotodiodos.

Los fototransistores tienen buena sensibilidad pero no permiten altas velocidades de transmisión lo que limita su aplicación.

Los fotodiodos son diodos semiconductores que actúan polarizados inversamente tal que cuando son iluminados los fotones son absorbidos generando pares electrón-

hueco que en presencia de un campo eléctrico generan corriente eléctrica.

Los usados actualmente son los Fotodiodos PIN y los de avalancha (APD).

Fotodiodos PIN. Básicamente es una unión p-n con una capa intrínseca entre las dos, escasamente dopada (ver fig. 1.39). La luz entra al diodo por una ventana muy pequeña siendo absorbida por el material intrínseco. En su fabricación se usa el germanio y últimamente el GaAs, GaInAs e InP con muy buenos resultados. Indicados para uso en segunda y tercera ventana, presentan altos tiempos de vida y bajas tensiones de operación.

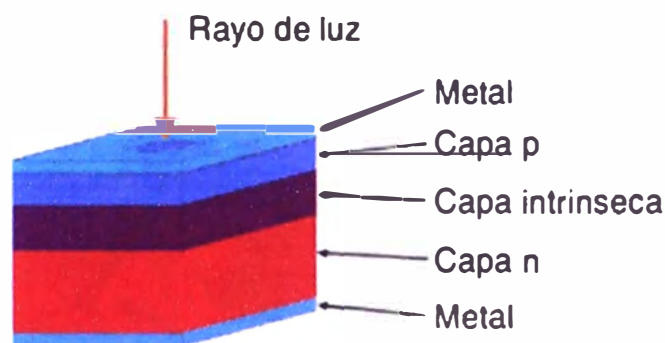


Figura 1.39 Estructura del fotodiodo PIN.

Fotodiodo de avalancha (APD). Es una estructura de semiconductores ordenados de la forma p-i-p-n (ver fig. 1.40). La luz que entra es absorbida por la capa n haciendo que algunos electrones pasen de la banda de valencia a la banda de conducción. Debido al gran campo eléctrico generado por la polarización inversa los electrones adquieren velocidades muy altas y al chocar con electrones de otros átomos hacen que estos se ionicen, ionizando a su vez a otros átomos desencadenando un efecto de avalancha de corriente fotoeléctrica. Su tensión de alimentación es muy alta (200-300 voltios).

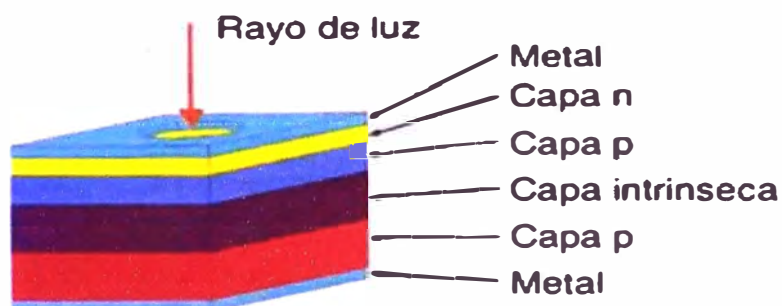


Figura 1.40 Estructura de un fotodiodo APD

1.13.1 Amplificadores ópticos

Se utilizan para lograr grandes distancias de transmisión evitando que la señal se

degeneren. Son usadas con fibras monomodo con generadores de luz láser y operando con longitudes de onda de 1310 y 1550 nm. Los amplificadores ópticos son tipos especiales de láseres que refuerzan directamente la intensidad de la señal óptica sin convertirla en señal eléctrica. Los dos principales tipos de amplificadores ópticos son los **SOAs** (Semiconductor Optical Amplifiers) y los **DFAs** (Doped fiber Amplifiers). El fundamento de un amplificador óptico es el proceso de emisión estimulada al igual que un láser (ver fig. 1.41).

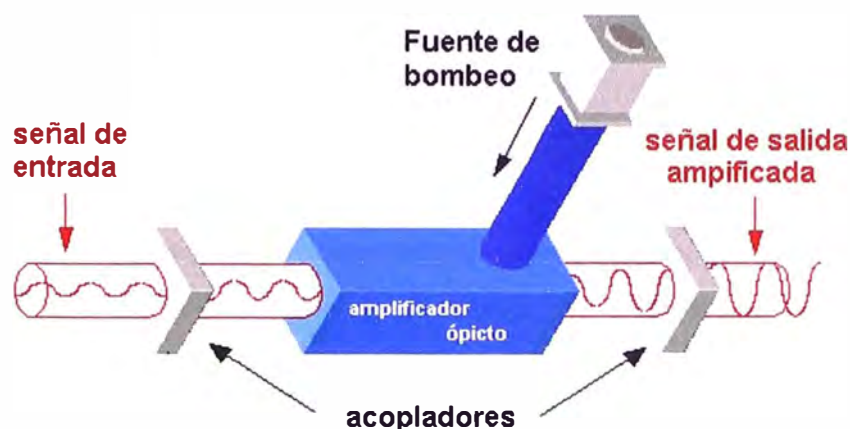


Figura 1.41 Amplificador óptico.

Una fuente de bombeo inyecta una energía a la zona activa del amplificador la cual es absorbida por los electrones que aumentan sus niveles de energía produciéndose la inversión de la población. Al ser alcanzados estos electrones por los fotones de la señal óptica de entrada caen a unos niveles energéticos más bajos dando lugar a la emisión de otro fotón, este es el proceso de emisión estimulada, produciéndose así la ampliación de la señal.

1.14 Instalación de la fibra óptica

Los cables de fibra óptica, dependiendo de su aplicación, pueden ser instalados:

En exteriores, planta externa.-

- Subterránea en ductos.
- Directamente enterrado.
- Aéreo

En interiores, planta interna.-

Se usa una combinación de ductos, canaletas, cajas de empalme, paneles de conexión, racks, etc.

El proceso de instalación de la fibra consta de 3 etapas bien marcadas que son: El tendido del cable por la ruta elegida para el paso de la fibra, los empalmes en los diver-

los tramos existentes en su recorrido y el conexionado final.

1.14.1 Estructuras de la fibra óptica

Materiales de la estructura de la fibra óptica (ver fig. 1.42):



Figura 1.42 Estructura de la fibra óptica.

Cubierta exterior: Polietileno (PE) y para cables de interiores normalmente PVC (Polo-Vinyl Clorídrico).

Acero: en su forma corrugada da protección anti roedores y anti balística a las fibras.

Ripcord: usado para desgarrar el cable sin que se maltraten las fibras ópticas.

Cubiertas plásticas especiales como la cero halógenos o retardantes al fuego.

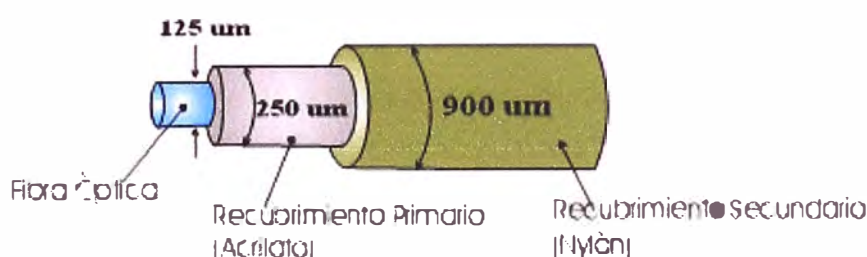
Fibras de aramidás (kevlar) para proteger el cable y para tirar del cable durante su instalación.

Fibra de vidrio, usado normalmente como elemento central para dar rigidez al cable.

Gel, llena los mini tubos y espacios libres para bloquear el ingreso de agua, éste debe ser removido antes de trabajar con las fibras.

Tipos de estructura:

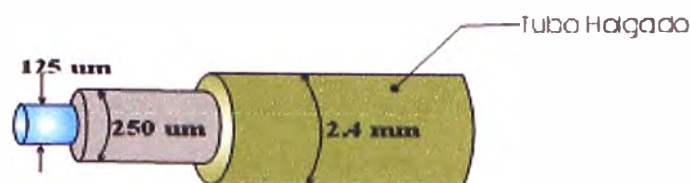
Estructura apretada (Tight Buffer).- Los recubrimientos van unos encima del otro, se usan en planta interna en aplicaciones de campus como backbone (ver fig. 1.43).



Estructura Apretada

Figura 1.43 Estructura apretada.

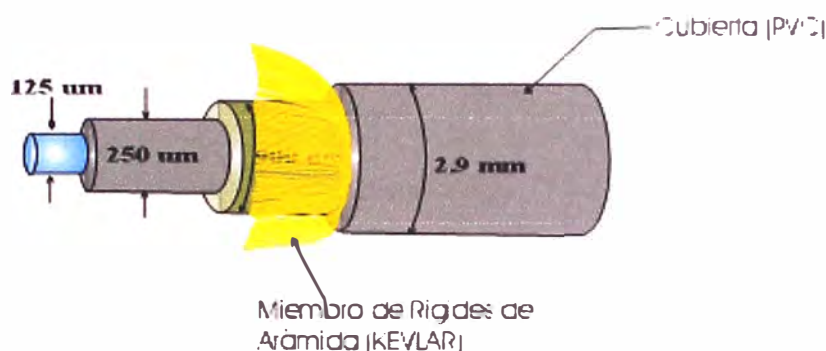
Estructura holgada (Loose Tube).- El recubrimiento externo no hace contacto con el recubrimiento primario, el espacio puede ser rellenado con gel. Son usados normalmente en planta externa para tendidos largos (ver fig. 1.44).



Estructura Holgada

Figura 1.44 Estructura holgada.

Estructura breakout.- Usados en lugares que requieren gran flexibilidad, con espacios reducidos y muchos obstáculos, como edificios, gabinetes, patch cords etc. (ver fig. 1.45).



Estructura Breakout

Figura 1.45 Estructura breakout.

Otros cables frecuentemente usados en sistemas compartidos con línea de energía son:

OPGW (Optical Ground Wire).- Es un cable aéreo que sirve para dos propósitos, es decir que sirve como cable de guarda o protección contra descargas eléctricas atmosféricas y con el beneficio adicional de llevar en su parte central a la fibra óptica.

ADSS (All-dielectric self-supporting).- Es un cable aéreo auto soportado que no contiene elementos metálicos por lo que no requiere de puesta a tierra cuando es instalado.

1.14.2 Tendido del cable de fibra óptica

Dos de los factores que hay que tener en mente durante una instalación del cable de fibra óptica son el radio de curvatura mínima del cable y la tensión de tendido, arrastre o tracción.

El radio de curvatura mínimo, viene especificado por el fabricante tanto para condiciones de carga como para condiciones sin carga. El de curvatura sin carga es más

pequeño y varía con el diámetro del cable y a menudo se especifica como un múltiplo del diámetro del cable (20 veces el diámetro externo del cable).

La tensión de tendido, es más baja en los cables de fibra que la que tienen los cables convencionales y vienen dadas por el fabricante. La mayor carga de tensión en un cable tiene lugar en una instalación vertical y viene dado por el peso del cable.

El cuidado general debe mantenerse en todo momento, no se debe torcer el cable, hay que evitar deformar el cable con abrazaderas, soportes, cinturones, guías o cosas parecidas. Los cables deben instalarse en bandejas planas o en conductos exclusivos para los cables de fibra. El cable de fibra óptica no se debe cortar bajo ninguna circunstancia, salvo con el consentimiento de los responsables de la instalación, ya que debe instalarse con un mínimo de empalmes para evitar la atenuación.

1.14.3 Empalmes del cable de fibra óptica

El empalme de fibra óptica es una técnica que se usa para unir permanentemente en una conexión de bajas pérdidas. Este empalme se puede realizar usando uno de dos métodos: empalme por fusión o empalme mecánico.

Empalme por fusión. Proporciona la conexión con pérdidas más bajas, para realizar el empalme de la fibra, esta técnica usa un dispositivo denominado empalmadora de fusión, que alinea con precisión las dos fibras, generando un pequeño arco eléctrico para soldar las dos fibras. Este método proporciona pérdidas menores a 0.1 dB para fibras monomodo o multimodo.

Empalme mecánico. Es una alternativa de empalmado que no requiere de la empalmadora de fusión. Usa un pequeño empalme mecánico aproximadamente de 6 cm de largo y de 1 cm de diámetro que enfrenta y une permanentemente las dos fibras ópticas. Existen este tipo de empalmes para fibras monomodo y multimodo con pérdidas que están en el rango comprendido entre 0.1 y 0.8 dB.

1.14.4 Conexionado

Según sea el extremo, en un enlace por fibra óptica siempre existe una fuente óptica por acoplar con una fibra o una fibra por acoplar con un detector óptico. Este procedimiento se hace por medio de conectores. También se debe permitir la transferencia de información entre varios puntos diferentes, por medio de acopladores. Todos estos dispositivos pasivos, van instalados sobre lo que se llaman **ODFs** (Optical distribution frame), que es un gabinete donde se ubican las bandejas de empalmes y las bandejas de conectores (ver fig. 1.46).

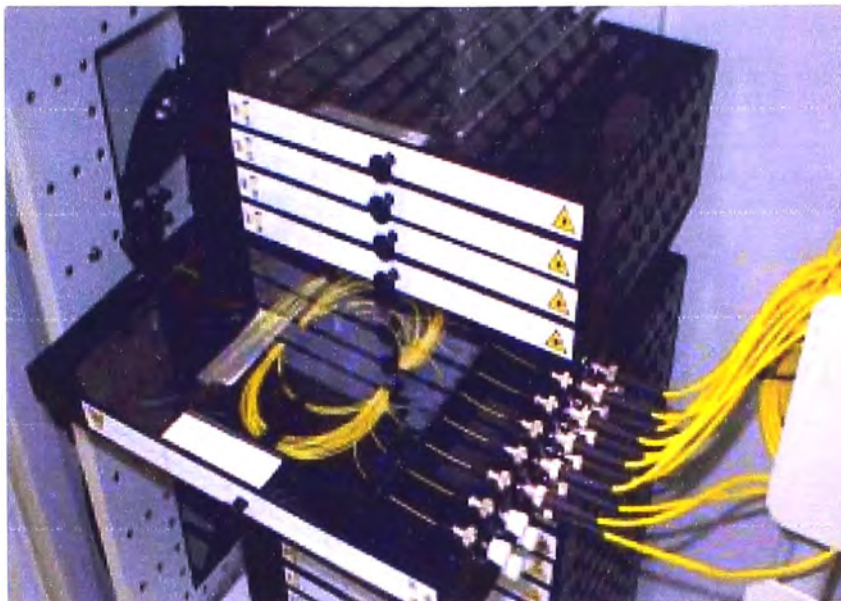









Figura 1.46 Gabinete ODF.

Conectores. Los conectores permiten el acoplamiento mecánico entre dos fibras, siendo este acoplamiento temporal o permanente, con pérdidas típicas entre 0.10 a 0.25 dB. A continuación muestro los conectores más comunes y los tipos de pulido para el conector FC (ver tabla 1.2 y fig. 1.47).

Tabla 1.2 Conectores más comunes. [14]

Simplex Connectors							
							
Connector Name	FC	ST	SC	E2000	D4	SMA	BICONIC
Typical IL (not APC) in dB	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.25	0.3
Typical ORL in dB	65(APC) 50 (UPC)	50	65(APC) 50 (UPC)		45	30	30
Polishing	SPC/UPC/ APC	SPC/UPC	SPC/UPC/ APC	SPC/UPC/ APC	SPC/UPC	FLAT	FLAT

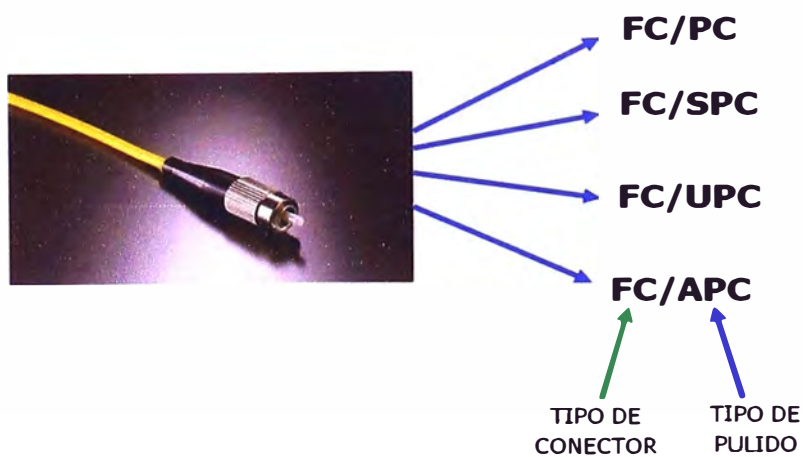


Figura 1.47 Tipos de pulido.

Acopladores. Los acopladores permiten unir dos o más conectores para darle continuidad a la luz. Existen conectores híbridos para poder unir dos tipos de conectores distintos (ver fig.1.48) .

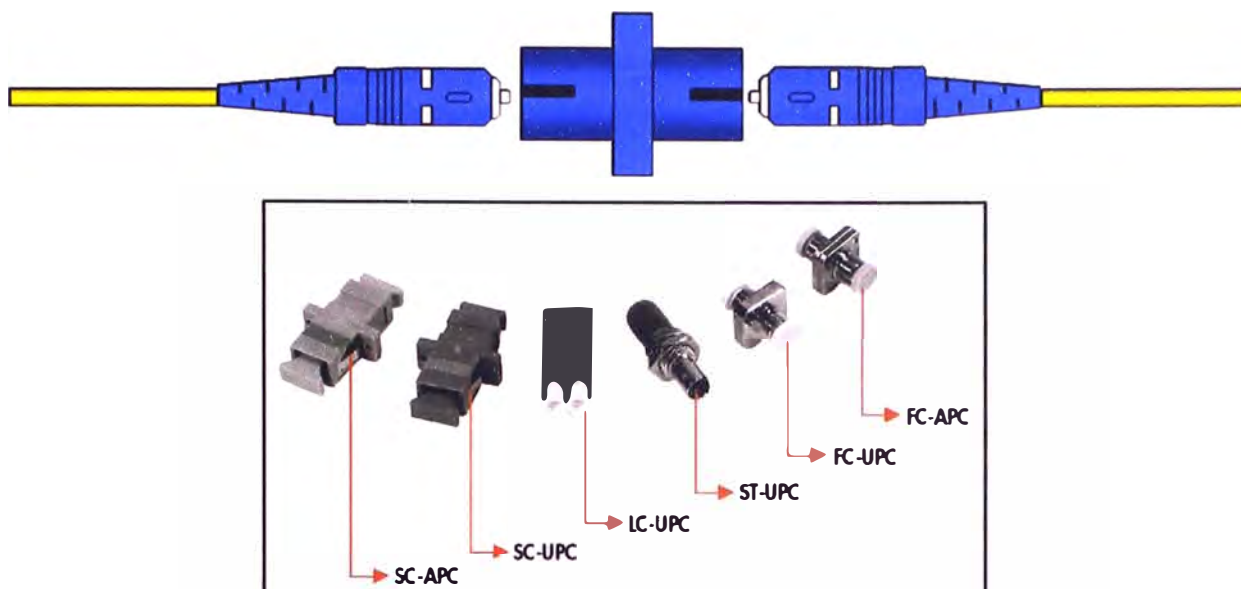


Figura 1.48 Tipos de acopladores.

1.15 Evaluación de un enlace de fibra

La atenuación y el retro esparcimiento son dos de las pruebas más usadas en la evaluación de un enlace de fibra óptica. Esta evaluación debe realizarse usando la misma longitud de onda que el equipo real de comunicaciones.

1.15.1 Medida de la atenuación

Si tomamos como referencia un tramo de fibra, la atenuación en ese tramo es la pérdida de la potencia que ingresa en un extremo hasta llegar a otro. Esto se debe a factores como la absorción interna, la difusión, las microcurvaturas, las macro curvaturas, las conexiones y las discontinuidades. También se le conoce como pérdida (loss) y se calcula como la diferencia entre la potencia emitida (P_1) menos la potencia recibida (P_2), (ver fig. 1.49).

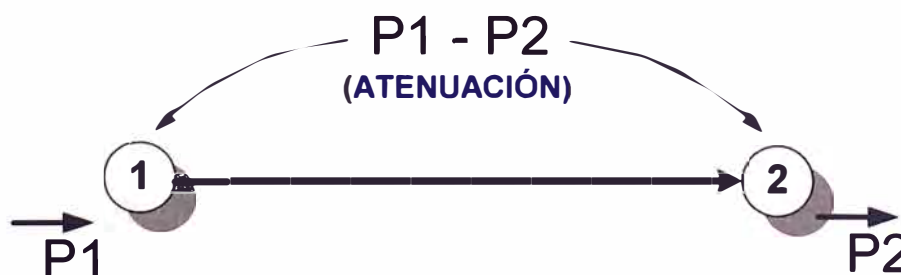


Figura 1.49 Medida de la atenuación.

En el diseño se acostumbra a dar un margen de seguridad de 3 dB, es decir:

$A(\text{diseño}) = A(\text{max. Permisible}) - 3$, consecuentemente:

$A(\text{diseño}) = A(\text{fibra}) + A(\text{empalmes}) + A(\text{conexiones}) - 3$

Las mediciones se realizan con un OLTS (Optical loss test set) que permite medir la atenuación del enlace requerida por las normas, haciendo uso de una fuente óptica y un medidor de potencia óptica.

1.15.2 El retro esparcimiento

Se hace uso de un OTDR (Optical domain reflectometer) que realiza mediciones para la detección y localización de fallas. La medición depende del MFD de cada uno de los lados del empalme por lo que para minimizar este efecto se realiza la medición en ambos sentidos y luego se promedia. La fig. 1.50 muestra un ejemplo típico de una gráfica de un OTDR.

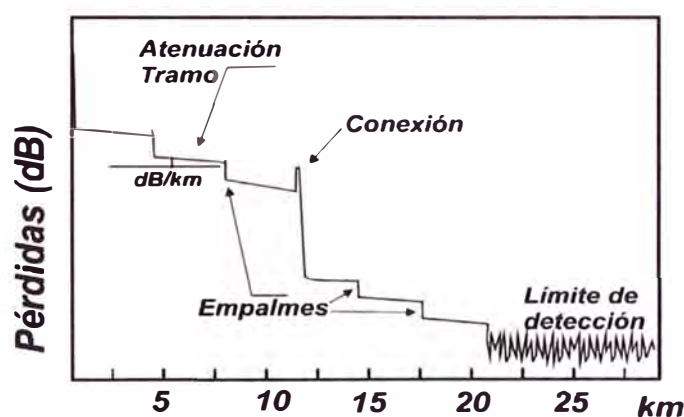


Figura 1.50 Gráfica de un OTDR.

1.16 Multicanalización óptica

Frecuentemente se hace necesario transmitir al mismo tiempo varias señales, a este proceso se le llama multiplexación óptica o multicanalización. En la transmisión óptica no es posible modular la frecuencia de la luz que sirve como portadora, solo se puede modular su amplitud. Existen técnicas como la Modulación de frecuencia (FDM), división de tiempo (TDM) y por división de longitudes de onda (WDM). Por su importancia solo describiré la WDM.

1.16.1 WDM (Wave Division Multiplexer)

Este método es específico para telecomunicaciones ópticas. Se usan varias fuentes ópticas moduladas, cada una de las cuales emite una longitud de onda particular las cuales son introducidas en una sola fibra haciendo uso de acopladores o filtros ópticos (Mul-

tiplexores ópticos). En el otro extremo la luz se filtra en sus diferentes longitudes de onda (Demultiplexor óptico) y se transforma en una señal eléctrica gracias a los detectores ópticos (ver fig. 1.51).

Se presentan dos tipos de WDM.

CWDM (Coarse WDM) se caracteriza por soportar pocas longitudes de onda y su uso está orientado a entornos metropolitanos. Usa 18 longitudes de onda en el intervalo de 1270 a 1610 nm con un espaciado de frecuencia de 2.5 Ghz (20 nm) y su ancho de banda es de 2.5 Gbps., se usa para el transporte de señal de video CATV en cable multimodo.

DWDM (Dense WDM) soporta muchas longitudes de onda y es usado para grandes distancias. Tiene una separación de frecuencia de 100 Ghz (0.8 nm). Este sistema requiere un mejor control de la estabilidad de la longitud de onda ya que existe poco espacio de separación entre ondas.

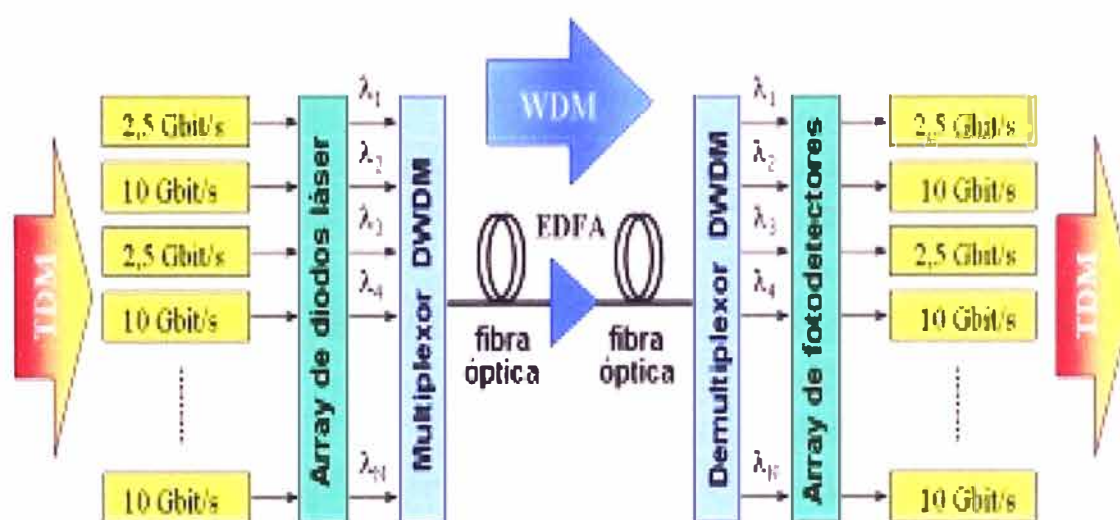


Figura 1.51 Multiplexor por división de onda.

1.17 Adquisición de la fibra

Antes de adquirir un cable de fibra se deben considerar detalles de su instalación y del equipamiento necesario con el objeto de adquirir el mejor cable para la aplicación. Existen cables estándar así como también hechos a medida, naturalmente los cables estándares son más económicos y tienen tiempos de entrega cortos.

1.17.1 Ejemplo de especificaciones de una fibra óptica

Presento un ejemplo de una hoja de especificaciones de una fibra óptica típica de un fabricante de fibras (ver tabla 1.3).

Tabla 1.3 Especificaciones de una fibra óptica. [1]

Especificación	Valores	Explicación
Diámetro del núcleo	62.5 μm	Diámetro del núcleo de una fibra multimodo
Diámetro del revestimiento	125 μm	No incluye el recubrimiento
Diámetro del recubrimiento	250 μm	Recubrimiento de plástico coloreado
Diámetro del campo modal		Este valor solo se usa para SMFO
Máxima atenuación a:		
850 nm	3.5 dB/km	Pérdidas máximas por kilómetro
1310 nm	1.0 dB/km	Menor atenuación a mayores longitudes de onda
Ancho de banda:		
850 nm	160 MHz x km	Ancho de banda modal de una fibra óptica multimodo a 850 nm
1310 nm	500 MHz x km	Ancho de banda modal de una fibra óptica multimodo a 1310 nm
Dispersión cromática	0.1 ns/nm x km	Este factor también limita el ancho de banda de una fibra multimodo
Longitud de onda de corte		Longitud de onda más corta que se propaga en una fibra (solo para fibra monomodo).
Fabricante de la fibra	Compañía	Nombre del fabricante de la fibra óptica

1.17.2 Ejemplo de especificaciones de un cable de fibra óptica

Presento un ejemplo de una hoja de especificaciones de un cable de fibra óptica típica de un fabricante de fibras (ver tabla 1.4).

Tabla 1.4 Especificaciones de un cable de fibra óptica. [1]

Especificación	Valores	Explicación
Tipo de cable	Estructura holgada	
Número de fibras	18	3 tubos activos, 6 fibras por tubo
Peso nominal	166 kg/km	
Diámetro	14.4.mm	Generalmente varia un 5%
Rango de Temperaturas:		
Almacenamiento	- 40 a 70 °C	Almacenamiento del cable en una bobina
Operación	- 40 a 70 °C	Temperatura de trabajo durante la instalación
Instalación	- 30 a 50 °C	Durante la instalación y manejo
Máxima tensión Aplicada:		
Instalación	2700 N	Máxima durante la instalación
Permanente	600 N	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación
Mínimo radio de curvatura:		
Instalación	22.5 cm	Mientras se está instalando el cable
Permanente	15.0 cm	Operacional, ningún cambio medido en la atenuación
Resistencia a la compresión	220 N/cm	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación
Máxima elevación	247 m	No requiere Sujeciones ni anillas
Pares de cobre	Ninguno	Usados para las comunicaciones durante la instalación
Cubierta	Polietileno	Material frecuente
Miembro central	Dieléctrico	Miembro central de refuerzo

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

2.1 Introducción

El presente informe pretende resolver de una manera práctica el procedimiento para la elección de una tecnología del canal de comunicaciones en un Data center.

El Data center, por lo expuesto, tiene requisitos específicos que cumplir en su diseño; entre otras de gran importancia se tiene:

- Alta disponibilidad de sus componentes.
- Seguridad para el acceso a sus recursos.
- Seguridad contra riesgos externos a la información (Ej. El fuego).
- Alto rendimiento y eficiencia.
- Mínimo impacto ambiental.
- Eficiencia energética.
- Redundancia, etc...

El estándar **TIA-942** establece claramente las características mínimas que deben cumplir los componentes de la infraestructura para los diferentes grados de disponibilidad (TIERS) de un Data center. Adicionalmente divide la infraestructura del Data center en cuatro subsistemas básicos, desarrollando para cada uno de ellos una serie de ítems (ver tabla 2.1).

Por tanto, un proceso completo de diseño de un Data Center, debe considerar muchos factores, correspondiendo en este informe desarrollar, en el subsistema de telecomunicaciones, la elección del canal de comunicaciones idóneo para nuestro caso. También en nuestro caso incluiré de ser aplicable en el criterio de elección, la velocidad de transmisión, la atenuación del enlace, el medio ambiente, los tipos de cables, tipos de fibras, equipamiento disponible, tipos de interfaz eléctricos, conectores ópticos, empalmes y otros.

Pero, todo este proceso se puede simplificar siguiendo las instrucciones del fabricante y las normas vigentes a la hora de la elección e instalación de cada uno de los elementos de los subsistemas básicos ya que éstas nos brindan una información suficiente para sele

ccionar por ejemplo la fibra óptica adecuada como será en este caso.

Tabla 2.1 Subsistemas básicos de un Data Center. [15]

Telecomunicaciones	Arquitectura	Eléctrica	Mecánica
Cableado de racks	Selección del sitio	Cantidad de accesos	Sistemas de climatización
Accesos redundantes	Tipo de construcción	Puntos únicos de falla	Presión positiva
Cuarto de entrada	Protección ignífuga	Cargas críticas	Cañerías y drenajes
Área de distribución	Requerimientos NFPA 75	Redundancia de UPS	Chillers
Backbone	Barrera de vapor	Topología de UPS	CRAC's y condensadores
Cableado horizontal	Techos y pisos	PDU's	Control de HVAC
Elementos activos redundantes	Área de oficinas	Puesta a tierra	Detección de incendio
Alimentación redundante	NOC	EPO (Emergency Power Off)	Sprinklers
Patch panels	Sala de UPS y baterías	Baterías	Extinción por agente limpio (NFPA 2001)
Patch cords	Sala de generador	Monitoreo	Detección por aspiración (ASD)
Documentación	Control de acceso	Generadores	Detección de líquidos
	CCTV	Transfer switch	

Por lo tanto, procederé en este informe a seguir los pasos para elegir una tecnología del canal de comunicaciones de una manera simple, siguiendo las recomendaciones del fabricante y las normas técnicas vigentes.

2.2 Descripción del problema

Nos encontramos frente a las instalaciones de una empresa que tiene una gran cantidad de usuarios de diferentes características y necesidades en cuanto al tráfico en la red. La topología de la red se muestra en la figura 2.1.

Como en la mayoría de los casos, se cuenta con un Data Center en una ubicación física centralizada con 04 servidores que soportan todas las aplicaciones requeridas por la empresa. Debido a la cantidad de usuarios, al volumen de información y a la importancia de la misma, se tiene una red SAN (Storage Area Network) que es un sistema que conecta a los servidores principales con las matrices de discos y las librerías de soporte que mantienen información relevante de la empresa y que es consultada por muchos usuarios.

Los servidores se conectan, por otro lado, a un switch de core desde donde salen tres enlaces hacia los switches de distribución ubicados cada uno de ellos aproximadamente a 200 metros de distancia. Cada switch de distribución se conecta a la vez con switches de acceso que finalmente están conectados a los usuarios finales del sistema, como se muestra en el diagrama de topología.

Figura 2.1 Topología de la red.

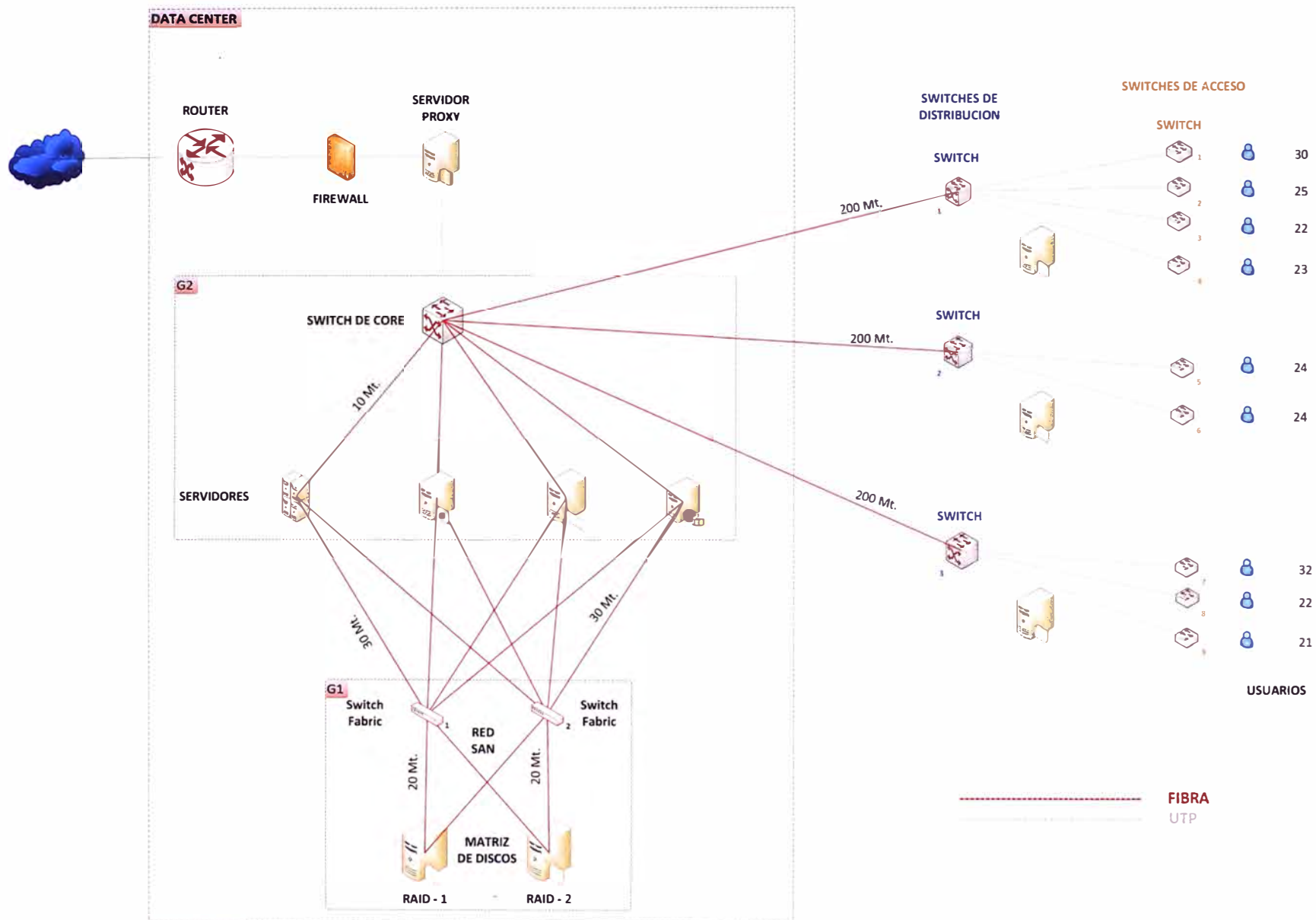


FIGURA 2.2.1

A pesar que tiene como función la comunicación de manera rápida y segura de los elementos que conforman el Data Center, se tiene comúnmente el problema de una deficiente elección del canal de comunicación entre servidores, sistema de almacenamiento y switches de conexión que hacen que la performance de la red sea deficiente y es precisamente el problema que queremos entender y resolver.

2.3 Objetivo del informe

El presente informe de suficiencia tiene por objetivo resolver el problema de elección del canal de comunicaciones dentro de un Data Center mostrando de una manera práctica el cálculo de tráfico, como punto de partida para la toma de decisiones, y la final decisión del tipo de hardware de comunicaciones a seleccionar y la tecnología del canal de comunicaciones más adecuado a recomendar. Este resultado validará el uso de la fibra óptica como la tecnología del canal de comunicaciones que se usa actualmente en este tipo de sistemas.

2.4 Aporte

Uno de los inconvenientes que se tienen al momento de evaluar el uso de una tecnología del canal de comunicaciones es el desconocimiento que se tiene acerca del tráfico que existirá en una red dinámica.

Actualmente existen equipos que analizan éste tráfico cuando la red ya está en funcionamiento, pero antes de ello no tenemos un punto de partida referencial para la elección del canal de transmisión. Es por ello que a través del presente informe de suficiencia pretendemos aportar un procedimiento ordenado para ejecutar una estimación práctica del tráfico de la red y que usaremos como punto de partida para la elección de la tecnología del canal de comunicaciones como alternativa de solución.

Tengamos en cuenta la necesidad de confiabilidad del sistema de comunicaciones (TIER X) al momento de tomar la decisión sobre la elección del mismo ya que de acuerdo con el estándar TIA 942 debemos considerar que la clasificación global del data center será igual a la de aquel subsistema que tenga el menor número de TIER.

2.5 Síntesis del informe

El presente informe de suficiencia, elabora los pasos prácticos para la elección de una tecnología óptima del canal de comunicaciones dentro de un Data Center propuesto, obteniendo, con cálculos aproximados iniciales, el tráfico de la red para el peor caso.

Así mismo recomienda como práctica rutinaria de mantenimiento preventivo de la red, el monitoreo del tráfico en los diferentes tramos para estar seguros que las características del canal de comunicación elegido esté y se mantenga dentro de los márgenes permitidos y la performance de la red no se deteriore.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Introducción

En el presente informe de suficiencia seguiremos los siguientes pasos para la elección de la fibra óptica en los enlaces correspondientes dentro del Data center.

TOMA DE DATOS	CÁLCULOS BASICOS	ELECCIÓN DEL CABLE DE FIBRA
---------------	------------------	-----------------------------

3.2 Toma de datos

Tomaremos los datos correspondientes a los usuarios y a las tarjetas de red disponibles para la matriz de discos, switches fabric, servidores, switch de core y switches de distribución. Los enlaces de salida en la etapa de los switches de distribución se considerarán como UTP ya que la suma de los tráficos individuales no justifica un canal de comunicación de mayor ancho de banda.

Tráfico de la red. Debido a que no es posible determinar con precisión cuál es la cantidad de tráfico que existirá en una red dinámica haremos una estimación razonable, para lo cual seguiremos los siguientes pasos:

- Clasificaremos y agruparemos a las estaciones de trabajo de la red de acuerdo a las actividades generales que realizan sus usuarios, es decir ingeniería, diseño, administración, etc.
- Estimaremos la cantidad de tráfico para la estación más crítica y la asumiremos como estándar para todos los usuarios de la red.
- Multiplicaremos por el número de estaciones totales de la red para calcular el valor estimado del tráfico de la red.

En este caso, consideraremos que el usuario del área de diseño, debido a su trabajo de generación y almacenamiento de archivos multimedia, es el que transfiere y recibe archivos más grandes que deben transportarse a través de la red de acuerdo a la siguiente información adquirida de la organización:

Tamaño promedio de los archivos de trabajo	=	1000	kB
Tamaño promedio de programas de aplicación	=	150	MB
Tamaño promedio de los archivos de Datos	=	15	MB
Tamaño promedio de los archivos e-mail	=	20	kB
Usuarios conectados en el switch 1	=	30	
Usuarios conectados en el switch 2	=	25	
Usuarios conectados en el switch 3	=	22	
Usuarios conectados en el switch 4	=	23	
Usuarios conectados en el switch 5	=	24	
Usuarios conectados en el switch 6	=	24	
Usuarios conectados en el switch 7	=	32	
Usuarios conectados en el switch 8	=	22	
Usuarios conectados en el switch 9	=	21	
TOTAL DE USUARIOS DE LA RED	=	223	

Hardware del Data center. Finalmente, el tráfico que hallaremos como resultado de nuestro cálculo, debe ser soportado por las tarjetas de red disponibles para los equipos de comunicaciones del Data center; veamos las características de los estándares en la tabla 3.1. Las tecnologías encontradas en las interfaces de comunicaciones son:

Switches de acceso	=	Puertos 100/1000 BASE T
Switches de distribución	=	Puertos 1000BASE T + 1000 BASE SX
Switch de core	=	Puertos 1000BASE-SX/1000BASE-LX
Servidores	=	Puertos 1000BASE-SX/1000BASE-LX
Switches fabric	=	Puertos 1000BASE-SX/1000BASE-LX
Matriz de discos	=	Puertos 1000BASE-SX/1000BASE-LX

Tabla 3.1 Estándares de referencia. [16]

ESTÁNDAR	CABLE	LASER	DISTANCIA MÁXIMA
100BASE-T (802.3u)	UTP,CAT5	N/A	100 m
1000BASE-T(802.3ab)	UTP,CAT5,4PARES	N/A	100 m
1000BASE-SX(802.3z)	FIBRA MULTIMODO	850 nm	MENOR 550 m
1000BASE-LX(802.3z)	FIBRA MONOMODO	1310 nm	MENOR 5 km

3.3 Cálculos básicos

Los cálculos básicos del tráfico en la red los reflejaremos en la tabla 3.2, considerando un número promedio de transmisiones máximas por hora de los usuarios.

Tabla 3.2 Cálculos básicos del tráfico. [De acuerdo a datos para la empresa]

EMPRESA	TAMAÑO (GB)	TRANS-MISIONES POR HO-RRA	USUARIOS	TOTAL (GB/h)
Solicitud de Archivos de trabajo	0.001	6	223	1.34
Carga de Programas de aplicación	0.15	3	223	100.35
Carga de Archivos de datos	0.015	5	223	16.73
Grabación de archivo de datos	0.015	5	223	16.73
Envío/Recibo de e-mail	0.00002	3	223	0.013
TOTAL				135.16

Consecuentemente, el tráfico total es estimado en 135.16 GB/h. Dividiendo este resultado entre 3600 nos dará el tráfico estimado por segundo.

Tráfico de la red = $(135.16 \text{ GB /h}) / (3,600 \text{ s/h}) = 0.0375 \text{ GB/s}$

Luego, multiplicando por 8 para dar el resultado en Gbps:

Tráfico máximo de la red = 0.30 Gbps

Este resultado, ya nos permite tomar la primera decisión:

Para los tramos de máximo tráfico, donde se concentran los equipos de alta velocidad, **servidores a switch de core**, no podemos usar un hardware con tecnología de 100Mbs sino, debemos usar hardware de comunicación de 1Gbps.

Cálculo del Porcentaje de Utilización (PU) de la red

Por tanto, usando tarjetas de red de 1 Gbps se tiene: **PU = $(0.30/1) \times 100 = 30\%$**

Normalmente un porcentaje de utilización de la red de 50% es considerado como una carga pesada para una red Ethernet, 30 % es considerado normal, pero si este valor excede 60% la performance de la red se deteriora considerablemente.

Elección de Tecnología 1000BASE T o 1000BASE SX/LX

El tramo más largo, 200 m desde el switch de core a los switches de distribución, limita el uso de la tecnología 1000BASE T que trabaja hasta una distancia máxima de 100 m, por tanto, teniendo en cuenta la distancia, elegiré la tecnología 1000BASE SX que trabaja a 850 nm con fibra multimodo y cumple con el requisito de distancia correspondiente, trabaja hasta 550 m., de acuerdo a la tabla 3.1.

Los tendidos desde los switches de distribución hacia los switches de acceso y en adelante usarán la tecnología 100BASE T y/o 1000BASE T, es decir comunicación sobre cobre, ya que los usuarios están a menos de 100 m y el tráfico es menor a 0.1 Gbps.

Ahora bien, considerando, la confiabilidad del tendido de fibra, la mayor seguridad de la información, la inmunidad a las interferencias electromagnéticas, excelente aislamiento eléctrico y homogenización de los tendidos de alta velocidad tomaré la decisión de, a pesar de ser tramos cortos, **usar la tecnología 1000BASE-SX en todos los canales de comunicación dentro del Data center.**

3.4 Elección del cable de fibra

Seleccionaré el tipo de cable de fibra teniendo en cuenta la tecnología elegida para la aplicación, velocidad de transmisión y la distancia entre los elementos de conexión para el peor caso.

Documentos consultados:

TIA/EIA 568-B Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 1: General Requirements Mayo 2001.

UIT G.955 Sistemas de línea digital basados en las jerarquías de 1544 kbit/s y 2048 kbit/s en cables de fibra óptica Noviembre 1996.

UIT G.957 Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona Marzo 2006.

ISO 11801:2002 Estándar que especifica los cableados genéricos para los sistemas de telecomunicaciones.

Veamos la tabla 3.3 correspondiente a la Tabla E1 de la Norma TIA/EIA 568-B y sus respectivas anotaciones en la tabla 3.4.

De acuerdo a la tabla 3.3 y la tecnología determinada por los cálculos básicos (1000BASE-SX), teniendo en cuenta asimismo la velocidad de transmisión máxima (1 Gbps) y distancia del tramo más largo (200 m), podemos definir el tipo de cable a usar.

Para la tecnología 1000BASE-SX tenemos la fibra óptica multimodo que trabaja a una longitud de onda de 850 nm, en primera ventana.

Podemos usar entonces una fibra de diámetro 62.5/125 μm , con una distancia máxima de 220 m y atenuación máxima de 3.2 dB. ó una fibra de diámetro 50/125 μm , con una distancia máxima de 550 m y atenuación máxima de 3.9 dB.

Veremos que la elección final será por la fibra de diámetro 50/125 μm pero aclaremos el porqué de esta elección con el cálculo de la atenuación correspondiente.

Así mismo, el estándar ISO11801 nos define las categorías de cable de fibra multimodo de la siguiente manera, tabla 3.5.

Tabla 3.3 Norma TIA/EIA 568-B [17]

Table E-1
Supportable distances and channel attenuation for optical fiber applications by fiber type

Application	Wave Length (nm)	Maximum Supportable Distance ² (m)			Maximum Channel Attenuation ² (dB)		
		62.5/125 μm	50/125 μm	Single-Mode ⁷	62.5/125 μm	50/125 μm ¹	Single-Mode ⁷
10BASE-FL (Ethernet)	850	2000		NST	12.5	7.8	NST
Token Ring 4/16	850	2000		NST	13.0	8.3	NST
Demand Priority ³ (100VG-AnyLAN)	1300	2000		NST	7.0	2.3	NST
	850	500		-	7.5	2.8	-
100BASE-FX (Fast Ethernet)	1300	2000		NST	11.0	6.3	NST
FDDI (Low Cost)	1300	500		NST	7.0	2.3	NST
FDDI (Original)	1300	2000		40 000	11.0	6.3	10.0 to 32.0
ATM	52	3000		15 000	10.0	5.3	7.0 to 12.0
	155	2000		15 000	10.0	5.3	7.0 to 12.0
	155 ⁸	1000		-	7.2	7.2	-
	622	500		15 000	6.0	1.3	7.0 to 12.0
	622 ⁸	300		-	4.0	4.0	-
Fibre Channel	266	1500	1500	10 000	6.0	5.5	6.0 to 14.0
	266 ⁸	700	2000	-	12.0	12.0	-
	1062 ⁸	300 ⁴	500	-	4.0	4.0	-
	1062	-	-	10 000	-	-	6.0 to 14.0
1000BASE-SX (Gigabit Ethernet)	850	220 ⁵	550 ⁶	-	3.2 ⁹	3.9 ⁹	-
1000BASE-LX (Gigabit Ethernet)	1300	550	550	5000	4.0 ⁹	3.5 ⁹	4.7 ⁹

Tabla 3.4 Anotaciones de la Norma TIA/EIA 568-B [17]

- 1.- Una pérdida por acoplamiento del peor caso de 4.7 dB es usado cuando se acopla una fibra de 50/125 um a una fuente LED optimizada para uso con una fibra de 62.5/125 um. Esta pérdida por acoplamiento está basada en la máxima pérdida por acoplamiento teórica. 10 BASE-FL especifica una pérdida máxima por acoplamiento de 5.7 dB en fibra de 50/125 um. Token Ring, FDDI (bajo costo), FDDI y 100BASE-FX especifica una pérdida máxima por acoplamiento de 5 dB en fibras de 50/125 um.
- 2.- Las entradas "NST" (Non-Standard) indica dónde este estándar no especifica soporte para el medio, pero donde el equipo es comúnmente disponible para convertir las señales de la aplicación nativa a una forma compatible con el medio no nativo.
- 3.- La aplicación especifica la fibra de 62.5/125 um con un ancho de banda de 200 MHz-Km a 850 nm.
- 4.- Capacidad de 300 m (984 ft) especificada en la actualización del canal de fibra, FC-PH-2.
- 5.- Para fibras de 62.5/125 um, la IEEE especifica 220 m (721 ft) para un ancho de banda modal de 160/500 MHz-Km y 275 m (902 ft) para fibra con ancho de banda modal de 200/500 MHz-Km.
- 6.- Para fibras de 50/125 um, la IEEE especifica 500 m (1640 ft) para un ancho de banda modal de 400/400 MHz-Km y 550 m (1804 ft) para un ancho de banda modal de 500/500 MHz-Km.
- 7.- El presupuesto de potencia y la capacidad del alcance depende de la opción de clasificación del transmisor y receptor. La distancia esta especificada para la opción de presupuesto de potencia más alta.
- 8.- Esta es una aplicación basada en tecnología LASER. Cuando no está anotado de esta manera, las aplicaciones multimodo están basadas en tecnología LED.
- 9.- Atenuación máxima del canal basado en las perdidas por inserción del canal mas un margen no localizado del IEEE 802.3z.
- 10.- Las distancias para implementaciones especificas deben ser verificadas con los estándares de la aplicación.

OBSERVACIÓN:

Para instalaciones nuevas, el diseño del sistema puede ser verificado usando una relación basada sobre las especificaciones de componentes mínimos establecidos por el estándar ANSI/TIA/EIA-568-B.3, que indica lo siguiente:

La atenuación del canal debe ser menor o igual a la máxima atenuación del canal de la tabla 3.3 (E-1 del estándar).

Tabla 3.5 Estándar ISO 11801 [18]

Cabled multimode optical fibre Category specifications

Cabled optical fibre Category	Optical fibre of BS EN/IEC 60793-2-10	Maximum attenuation (dB/km)		Minimum modal bandwidth MHz×km		
				Overfilled launch		"Laser" launch
		A1a or A1b	850 nm	1 300 nm	850 nm	1 300 nm
OM1	A1a or A1b	3,5	1,5	200	500	not specified
OM2	A1a or A1b	3,5	1,5	500	500	not specified
OM3	A1a.2	3,5	1,5	1 500	500	2 000
OM4	A1a.3	3,5	1,5	3 500	500	4 700

Luego, de acuerdo a la tabla 3.5, teniendo en cuenta el ancho de banda modal para la categoría OM1 la longitud máxima es de 200 m (límite de nuestro peor caso), mientras que para la categoría OM2 la longitud máxima es de 500 m. Por lo tanto podemos definir que el cable a usar será de categoría OM2, faltando solo por definir el diámetro de la fibra óptica.

Hardware disponible:

En la siguiente tabla 3.6 hago una descripción del hardware disponible (interfaces de comunicaciones) del equipamiento que se considera en el diagrama de topología (Fig. 2.1) del Data Center.

Tabla 3.6 Interfaces de comunicaciones del Data Center. [19]

	MARCA	MODELO	INTERFACE DE RED	NÚMERO DE INTERFACES
ROUTER	CISCO	7304 / SPA-2GE-7304	1000BASE T	2(1000BASE T)
SWITCH CORE	CISCO	Catalyst 4503 / Supervisor Engine II - Plus - TS	10/100/1000 PoE; SFP (GLC - T - 1000BASE T, GLC - SX - MM Gigabit Ethernet SFP SX Transceivers)	12 10/100/1000 Poe + 8 SFP
SWITCH DISTRIBUCION	CISCO	Catalyst 3560 / WS C3560G - 24TS - S	10/100/1000BASE T; SFP (GLC - SX - MM Gigabit Ethernet SFP SX Transceiver)	24 10/100/1000BASE T + 4 SFP
SWITCH ACCESO	CISCO	Catalyst 2948G - GE - TX	10/100/1000BASE T; SFP	48 10/100/1000BASE T + 4 SFP
SWITCH FABRIC	CISCO	Catalyst 6500 / WS - X6816 - GBIC / SE 720	1000BASE - SX	16 1000BASE - SX
MATRIZ DE DISCOS	HP	P6500 EVA Dual Controller FC array	SFP (1000BASE T transceivers)	4 SFP
SERVIDOR	HP	rp3440 / AD393A	1000BASE T; (1000BASE - SX)x2	1 1000BASE T + 4 1000BASE - SX

Rutas y características del cableado:

Teniendo en cuenta que la tecnología a usar es la 1000Base-SX, velocidad de transmisión de 1 Gbps, y considerando una homogenización del cableado de fibra óptica

a usar en todas las instalaciones, determinamos usar para toda la red, cables de fibra óptica multimodo OM2, de acuerdo a los correspondientes criterios de selección usados.

Como la distancia entre los equipos dentro del data center son relativamente cortas por estar éstos en un mismo gabinete o ambiente, se instalarán puentes ópticos (Jumpers) directos entre ellos, lo cual implica que se requieren 8 jumper multimodo OM2 de 20 m entre la Matriz de Discos y los Switches Fabric.

Se requieren 16 jumpers multimodo OM2 de 30 m para la conexión de los Servidores con los Switches Fabric, 8 jumpers multimodo OM2 de 10 m, para la conexión de los Servidores al Switch de Core del Data Center y 6 Jumpers multimodo OM2 de 2 m entre el Switch de Core y el ODF.

Para la conexión del Switch de Core del Data Center a cada Clóset de Distribución, se requieren de 600 m de cable de acometida de fibra óptica multimodo de 2 fibras ópticas.

Para estos 3 clósets de distribución, se empleará redundancia o backup (cable de 4 FO) en éste tramo del canal de comunicación de fibra óptica debido a que el camino físico por donde pasará es de riesgo para la conservación de la fibra.

Para la conectividad, se requiere de un Distribuidor Optico (ODF) de 12 fibras ópticas para rack de 19" en el Gabinete G2 del Data Center, donde llegarán los 3 cables de acometida de cada clóset de distribución y se unirán al Switch de Core del Data Center.

A continuación realizaremos el cálculo de la atenuación para la peor condición, lo que nos permitirá definir el diámetro de fibra a utilizar teniendo siempre como referencia el cumplimiento de la norma TIA/EIA 568-B.

Cálculo de la atenuación según normas:

El OLB (Optical Link Budget) establecido por la TIA/EIA 568 y el ISO/IEC 11801 establecen la siguiente fórmula 3.1:

$$\text{OLB} = \text{Atenuación del enlace} = \text{Pérdida} = \text{Coeficiente de Atenuación del cable (dB/Km)} \times \text{Longitud del cable (Km)} + \text{Número de pares conectores} \times \text{Pérdida por par de conector (dB)} + \text{Número de empalmes} \times \text{Pérdida por empalme (dB)} \quad (3.1)$$

Para los coeficientes de atenuación y pérdidas por par de conector y empalme a usar para el cálculo de la pérdida, las normas consultadas nos dan los coeficientes mostrados en las siguientes tablas 3.7 y 3.8:

TIA / EIA-568-A

Tipo de Fibra	Longitud de onda	Coefficiente de atenuación del cable	Pérdida por conector	Pérdida por empalme
62.5/125	850 nm	3.75 dB/km	0.75 dB	0.3 dB
62.5/125	1300 nm	1.5 dB/km	0.75 dB	0.3 dB
50/125	850 nm	3.75 dB/km	0.75 dB	0.3 dB
50/125	1300 nm	1.5 dB/km	0.75 dB	0.3 dB
Monomodo	1310 nm	1.0 dB/km	0.75 dB	0.3 dB

Tabla 3.8 ISO / IEC 11801 [21]

ISO / IEC 11801

Tipo de Fibra	Longitud de onda	Coefficiente de atenuación del cable	Pérdida por conector	Pérdida por empalme
62.5/125	850 nm	3.5 dB/km	0.75 dB	0.3 dB
62.5/125	1300 nm	1.5 dB/km	0.75 dB	0.3 dB
50/125	850 nm	3.5 dB/km	0.75 dB	0.3 dB

La peor condición es la distancia de 200 m del Switch de Core al clóset de distribución.

Entonces, tenemos 200 metros de cable de fibra óptica multimodo tipo OM2, donde la atenuación de este cable tanto para el de diámetro 62.5/125 um como para el de 50/125 um es de 3,5 dB/km para la longitud de onda de 850 nm en la primera ventana.

Si usamos 01 ODF en el Gabinete del servidor y 01 ODF en el lado del switch de distribución, como primer escenario, tendremos que considerar:

- 04 pares de conectores LC con pérdidas de inserción de 0.75 dB por par de conectores.
- 02 empalmes con pérdidas de inserción de 0.3 dB por empalme.

Luego, la atenuación del enlace sería de:

$$\text{Atenuación} = A = 0.200 \times 3.5 + 4 \times 0.75 + 2 \times 0.3 = 4,3 \text{ dB}$$

Con este resultado, de acuerdo a la tabla 3.3 (Norma TIA/EIA 568-B), podemos darnos cuenta que excedemos la atenuación máxima del canal (3.2 dB y 3.9 dB para fibra de 62.5/125 um y 50/125 um respectivamente); por tanto, tomamos la decisión de no usar

ODF para el lado de los switches de distribución sino simplemente usar rosetas ópticas como segundo escenario.

Con este cambio dejamos de usar un par de conectores y un empalme (en el ODF dejado de usar), lo que se traduce en el recálculo de la pérdida por atenuación de la siguiente manera:

$$\text{Atenuación} = A = 0.200 \times 3.5 + 3 \times 0.75 + 1 \times 0.3 = 3.25 \text{ dB}$$

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de las pérdidas en ambos escenarios y observando la tabla 3.3 (Norma TIA/EIA 568-B), podemos definir que la fibra a usar será la de 50/125 um de diámetro que tiene una atenuación máxima por canal de 3.9 dB, lo que satisface la atenuación del canal obtenida de 3.25 dB del segundo escenario.

Validación matemática considerando las características técnicas de las interfaces del equipamiento:

Los datos mostrados a continuación son tomados de las hojas técnicas de un fabricante del producto GLC - SX - MM Gigabit Ethernet SFP SX Transceiver (6COM TECHNOLOGY CO.,LTD) correspondiente al equipamiento mostrado en la tabla 3.6.



$$P_{\text{TX-MAX}} = -3 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{TX-MIN}} = -9 \text{ dBm}$$

$$\text{Sensitividad} = S = -18 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{RX-MAX}} = -3 \text{ dBm}$$

$$\text{Rango dinámico} = P_{\text{RX-MAX}} - S = -3 \text{ dBm} - (-18 \text{ dBm}) = 15 \text{ dBm}$$

$$A_{\text{MAX-PERMISSIBLE}} = P_{\text{TX-MIN}} - S = -9 \text{ dBm} - (-18 \text{ dBm}) = 9 \text{ dBm}$$

$$A_{\text{MIN-PERMISSIBLE}} = P_{\text{TX-MAX}} - P_{\text{RX-MAX}} = -3 \text{ dBm} - (-3 \text{ dBm}) = 0 \text{ dBm}$$

Si consideramos un margen de seguridad de diseño de -3 dBm, tendremos:

$$A_{\text{DISEÑO}} = A_{\text{MAX-PERMISSIBLE}} - 3 \text{ dBm} = 9 \text{ dBm} - 3 \text{ dBm} = 6 \text{ dBm}$$

Entonces, el cálculo matemático nos permite una atenuación de 6 dBm que está por encima de la atenuación obtenida para el segundo escenario de 3.25 dBm y que nos lleva a validar la elección de la fibra 50/125 um para el cumplimiento de la norma TIA/EIA 568-B.

Por lo tanto, y finalmente, considerando los valores obtenidos de atenuación, y considerando los requerimientos de distancia (200m) y velocidad (1Gbps), la elección final del cable será de una Fibra Óptica Multimodo categoría OM2 50/125 μm , longitud de onda 850 nm, para la tecnología 1000BASE-SX .

Resumen de Materiales:

Los materiales correspondientes a los requerimientos del cable de fibra óptica y accesorios para su instalación sin considerar los requerimientos de canalización del tendido, tanto interno como externo, se resumen en la tabla 3.9.

Para todos los casos de la tabla 3.9, el cable de fibra óptica y accesorios estarán de acuerdo con las características del canal de comunicaciones seleccionado, es decir, Fibra Óptica Multimodo categoría OM2 50/125 μm , 850 nm.

3.5 Recursos humanos y equipamiento

La selección del recurso humano o empresa responsable de este tipo de trabajos es de vital importancia para el logro de los objetivos de calidad, tiempo y costo del proyecto propuesto.

La instalación y puesta en servicio de un cableado estructurado de fibra óptica requiere de personal altamente capacitado para que los trabajos de tendido, empalmes y conectorización se realicen eficientemente desde la primera vez.

Para estos trabajos de instalación de este tipo de redes requiere de un equipamiento específico con los que se pueda trabajar los diferentes elementos disponibles de la red. Los equipos necesarios más importantes son:

La fusionadora, que nos permitirá unir las fibras por medio de un arco voltaico que logra atenuaciones en todos los casos menores a 0.05 dB.

Un sistema de empalme mecánico, que enfrentará y fijará las fibras mecánicamente haciendo uso de un sistema de posicionamiento preciso y patentado por cada fabricante consiguiendo atenuaciones del orden de 0.5 dB.

Terminaciones Pigtail, cable de fibra óptica con un conector ensamblado de fábrica en uno de sus extremos.

Conectores y acopladores de acuerdo a los requerimientos del cableado.

Equipos de medida como OTDR, fuentes de luz y medidores de potencia e identificadores de fibras activas.

Tabla 3.9 Resumen de materiales. [De acuerdo a topología de la RED, fig. 2.1]

No.	CANT.	PRODUCTO	MED	COMENTARIO
1	03	Cable de Acometida de Fibra Óptica	200 m	Instalado entre el ODF del switch de core y el switch de distribución.
2	06	Jumper de fibra óptica LC-LC	03 m	Instalado entre el switch de core y su correspondiente ODF.
3	08	Jumper de fibra óptica LC-LC	10 m	Instalados entre el switch de core y los servidores.
4	08	Jumper de fibra óptica LC-LC	20 m	Instalados entre los switches fabric y la matriz de discos.
5	16	Jumper de fibra óptica LC-LC	30 m	Instalados entre los servidores y los switches fabric.
6	06	Pigtails LC	01 m	Instalado en el ODF.
7	06	Protectores termocontraíbles de empalme por fusión.	C/U	Instalado en el ODF.
8	06	Acopladores LC-LC	C/U	Instalado en el ODF.
9	01	Distribuidor óptico (ODF)	KIT	De 12 FO
10	03	Rosetas ópticas	KIT	Instalados para el lado de los switches de distribución.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Introducción

El análisis y los resultados obtenidos en este estudio están directamente relacionados con la elección de la fibra óptica como canal de comunicación y en la elección final del tipo de cable de fibra a instalar. Los resultados de la performance obtenida en esta instalación no se muestran debido a que aún no se ha concretado la instalación del data center para la topología propuesta.

4.2 Análisis de la información obtenida como resultado del estudio

El presente informe de suficiencia nos ha servido para aplicar los conocimientos teóricos relacionados con el estudio de las características ópticas de los cables de fibra en un proceso práctico de selección de un cableado para un Data center.

Se han usado algunos estándares que norman el uso de las diferentes tecnologías relacionadas con las telecomunicaciones digitales que facilitan enormemente el proceso de selección, no solamente del canal de comunicaciones sino de los productos complementarios a él como los que están considerados en la infraestructura general del Data center.

4.3 Resultados obtenidos en relación con los elementos usados en la práctica

Podemos mencionar que los resultados obtenidos en cuanto a la elección del tipo de canal de comunicaciones coincide con el creciente uso de la fibra óptica en los Data Centers que soportan un número de usuarios y aplicaciones como las referidas para el presente estudio y que cada vez requieren más recursos y velocidades de transmisión. El método de elección pues, es una forma práctica de cómo elegir las características generales de un canal de comunicaciones, en este caso de fibra óptica, en un Data Center antes de su implementación.

REQUERIMIENTO DE MATERIALES

No.	CONCEPTO	U/M	Cant.	P/U	Precio Total	Observaciones
I	MATERIALES					
1	Cable de acometida de 4 FO MM OM2	m	600	\$1,50	\$900,00	Multimode 50/125 µm Corning® ClearCurve® OM2 Fiber
2	Jumper OM2 LC-LC Duplex 3 metros	c/u	3	\$21,12	\$63,36	LC-LC Duplex - 50 µm -FIS
3	Jumper OM2 LC-LC Duplex 10 metros	c/u	4	\$28,32	\$113,28	LC-LC Duplex - 50 µm -FIS
4	Jumper OM2 LC-LC Duplex 20 metros	c/u	4	\$38,64	\$154,56	LC-LC Duplex - 50 µm -FIS
5	Jumper OM2 LC-LC Duplex 30 metros	c/u	8	\$59,28	\$474,24	LC-LC Duplex - 50 µm -FIS
6	Pigtails OM2 LC duplex 1 metro	c/u	3	\$10,56	\$31,68	Pigtails LC-LC Duplex- 50 µm -FIS
7	Manguito ProtectorTermocontraible	c/u	6	\$1,74	\$10,44	Splice Protection Sleeve FIS
8	Adaptadores LC-LC	c/u	6	\$3,30	\$19,80	LC Adapters FIS Duplex Multimode
9	Repartidor Optico 12 FO 19" (ODF)	Kit	1	\$71,94	\$71,94	FIS F1-RM12BLK - 1U
10	Rosetas Opticas	Kit	3	\$38,88	\$116,64	Coyote® DTC PLP
	Total de Materiales			Total	\$1.955,94	
II	INSTALACION					
1	Instalación de rack 19" (Switch de Core)	c/u	1	\$51,89	\$51,89	
2	Instalación de Switch de Core	c/u	12	\$51,89	\$622,64	
3	Instalación de ODF	c/u	1	\$10,38	\$10,38	
4	Instalación de Roseta Optica	c/u	3	\$7,78	\$23,35	
5	Cableado Externo	m	600	\$0,83	\$498,11	
6	Cableado Interno	m	369	\$0,83	\$306,34	
7	Preparacion de cables	c/u	6	\$25,94	\$155,66	
8	Empalme de Fibra optica	c/u	6	\$9,86	\$59,15	
9	Pruebas de enlaces ópticos (certificación)	c/u	38	\$3,11	\$118,30	
10	Prueba de enlaces en operación	c/u	38	\$7,78	\$295,75	
	Total de Instalación			Total	\$2.141,58	
III	TOTAL MATERIALES + INSTALACION				\$4.097,52	

Tabla 4.2 Materiales y presupuesto. [14]

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- 1.- Los cables de fibra óptica tienen ventajas comparativas con relación a los cables de par trenzado para los canales de comunicación de datos de grandes distancias y en las de corta distancia que requieran alto tráfico de información.
- 2.- Es muy importante conocer el tráfico que generarán los potenciales usuarios de un sistema de cómputo, ya sea basado en Data Center u otras topologías porque serán los puntos de partida para el análisis del tráfico crítico total esperado en dicho sistema y que nos permitirá una adecuada selección de los equipos de comunicaciones.
- 3.- Los cálculos de pérdidas por atenuación son de vital importancia para la toma de decisiones al momento de seleccionar el tipo de fibra a utilizar.
- 4.- La solución en los tramos cortos menores a 30 m que usen fibras ópticas, solo pasa por un análisis de tráfico de información y pérdidas en empalmes, conectores y acopladores ya que las pérdidas y atenuaciones por distancia son despreciables.

RECOMENDACIONES:

- 5.- Es muy importante considerar un buen sistema de mantenimiento preventivo de la fibra óptica que incluyan la elaboración de estadísticas de las mediciones de tráfico por tramos para evitar que el porcentaje de utilización sea mayor del 50%, punto a partir del cual la red comienza a ser ineficiente.
- 6.- Es muy importante seguir muy de cerca las recomendaciones de la norma TIA 942 en sus diferentes TIER para asegurar que las instalaciones de las comunicaciones dentro del Data center tengan la disponibilidad esperada.
- 7.- Buscar siempre el recurso humano, propio o externo, bien capacitado en este tipo de instalaciones ya que del grado de conocimiento que se tenga sobre los procedimientos y técnicas de instalación de la fibra óptica dependerá mucho la calidad y confiabilidad de la instalación final.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bob Chomycz, "Instalaciones de Fibra Óptica", Fundamentos, técnicas y aplicaciones, McGraw-Hill, Inc. USA, 1998.
- [2] Le Nguyen Binh, "Optical Fiber Communications Systems", CRC Press, USA, 2010.
- [3] Jean Pierre Nérou, "Introducción a las Telecomunicaciones por Fibra Óptica", editorial Trillas, México, 1991.
- [4] TIA 942, "Telecommunications Infrastructure Standard for Datacenters", 2005.
- [5] Fiber Optics For Sale Co., "Complete Supply Solutions", <http://www.fiberoptics4sale.com/>.
- [6] Transition Networks, "Gigabit 1000BASE-T & 1000BASE -X", http://www.transition.com/transitionnetworks/resources/en/pdf/gigabit_wp.pdf.
- [7] INICTEL-UNI, "Redes de Fibra Óptica", Dirección de Proyectos y Transferencia de Conocimientos.
- [8] NUBEBLOG, "Qué son los TIERS en un centro de datos. El ANSI/TIA-942", 2010, <http://www.nubeblog.com/2010/10/11/que-son-los-tiers-en-un-centro-de-datos-el-ansi-tia-942/>.
- [9] ADC, "Cómo diseñar un centro de datos óptimo", 2005, <http://www.osrami.com/webdocuments/libre/adc/data%20centers/como%20disenar%20un%20data%20center%20adc.pdf>.
- [10] Elisabeth García Antón, "La Fibra Óptica", 2008, <http://es.scribd.com/doc/7360485/034-Fibra-Optica-y-Dispositivos>.
- [11] ETICSA, "Data Centers", 2010, <http://www.eticsa.cl/wp-content/uploads/downloads/2010/10/Brochure-Data-Center.pdf>.
- [12] SIEMON, "Soluciones de Cableado de Fibra Óptica para Data Centers", 2011, <http://www.siemon.com/la/datacenter/fiber.asp>.
- [13] ESPE, Escuela politécnica del Ejército, "Metodología de Diseño de Redes de Fibra Óptica", Capitulo V, <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2448/7/T-ESPE-014122-5.pdf>.

- [14]** TELMARK PERÚ SAC, “Comunicaciones Ópticas”, 2008, <http://www.telmarkperu.com>
- [15]** Gustavo García Enrich, “El estándar TIA-942”, 2007, <http://www.areadata.com.ar/pdf/EI%20standard%20TIA%20942%20-vds-11-4.pdf>
- [16]** IEEE Standard, 802.3x Ethernet Working Group.
- [17]** ANSI/TIA/EIA-568-B.1-2001, “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard”, 2001.
- [18]** FIA, The Fibre Optic Industry Association, “Understanding OM1, OM2, OM3, OS1, OS2 and more”, 2009.
- [19]** Cisco System Inc., <http://www.cisco.com> .
- [20]** ANSI/TIA/EIA-568-B.3-2000, “ÓPTICAL Fiber Cabling Components Standard”, 2000, Revision of TIA/EIA-568-A.
- [21]** School of Electronic and Communications Engineering, “Introduction to optical fibre principles”, https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:wZAk7tlvRuIJ:www.electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_2/Unit_1.ppt+fiber+optics+cable+attenuation+coefficient+%2B+iso+11801&hl=es&gl=pe&pid=bl&srcid=ADGEEsghTJgpX8liiBEIP0SZrgqCHFk0Wo4HtC2Ga2U4IYo-6qU6kE42zUnc5axKtcp3aGDOLm-AK9MSgVVsluv0I5J2zA5YWsvlaHVMZYWJEKDnoLXRqpr8KMjQKbmBz8uBj-SIbE2E&sig=AHIEtbRoyMdv-gvX0Ku2TaAUFMatiHoXkw .