

**UN PASEO POR
FIBRE CHANNEL**

**Soporte Técnico OEM
FUJITSU ESPAÑA**

Marzo de 2000

INDICE

INTRODUCCION

NIVEL 1 (ELEMENTAL)

ARQUITECTURA

- DOMINIO FC
- ULP (Upper Level Protocol)

NODOS

- N_PORT
- NL_PORT
- LOGIN/LOGOUT
- NOMBRES FC

SUBSISTEMA DE INTERCONEXION

- ENLACE
- TOPOLOGIA Y DIRECCIONAMIENTO
 - Punto-a-Punto
 - Conmutada (Fabric)
 - Arbitrated Loop (FC-AL)

PROTOCOLO DE COMUNICACION

- EXCHANGE
- SEQUENCE
 - Clases de Servicio y Calidad de Servicio (QoS)
- FRAME
 - Control de Flujo y Crédito
- MODOS DE COMUNICACION
 - Full-Duplex.
 - Half-Duplex
 - Simplex

NIVEL 2 (AVANZADO)

NIVELES FC

FC-0

- ENLACES OPTICOS
- ENLACES ELECTRICOS
- IDENTIFICACIÓN DE LOS CABLES
- VELOCIDAD EFECTIVA DE DATOS
- TOPOLOGÍAS PUNTO-A-PUNTO, FABRIC, ARBITRATED LOOP (FC-AL) E HÍBRIDA FABRIC/FC-AL

FC-1

- CODIFICACIÓN 8B/10B
- ORDERED SETS
- SERVICIOS DE CONTROL DE ENLACE

FC-2

- SESION
- EXCHANGE
- SEQUENCE
- FRAME
- CONTROL DE FLUJO Y CREDITO
- CLASES DE SERVICIO

FC-3

- SERVICIOS GENERALES FC

FC-4

- SCSI-FCP. FIBRE CHANNEL PROTOCOL FOR SCSI
 - SAM (SCSI-3 Architecture Model)
 - Niveles SCSI-3
 - SCSI-FCP
- FC-LE. FIBRE CHANNEL LINK ENCAPSULATION
 - Networking. Modelos de Referencia OSI
 - TCP/IP
 - Estándares IEEE 802
 - FC-LE
 - Diferencias entre los servicios de nivel MAC IEEE 802.X y FC-2

FC-AL: FIBRE CHANNEL ARBITRATED LOOP

- CARACTERISTICAS
 - Nodos
 - Hubs
 - Establecimiento del circuito
- INICIALIZACION DEL LOOP
 - Loops Publicos y Privados
- ARBITRACION
 - Single Arbitration Operation
 - Loop Tenancy
- PRESTACIONES DEL LOOP
- SISTEMAS DE ALTA DISPONIBILIDAD

PRIVATE LOOP DIRECT ATTACH (PLDA)

- FC-PH
- FC-AL
- SCSIFCP
- FUNCIONES PLDA

INTRODUCCION

Fibre Channel (FC) es una nueva tecnología desarrollada para transmisión de datos a alta velocidad entre mainframes, superordenadores, servidores de altas prestaciones y dispositivos de almacenamiento.

FC es un interfaz de transferencia de datos en serie que utiliza actualmente una velocidad de enlace de 1 Gigabit por segundo (1 Gbps) y que soporta diferentes protocolos de transporte, tanto de canal de periféricos (como puedan ser SCSI o IPI) como de paquetes de red (como puedan ser IP o ATM). Este soporte multiprotocolo permite reunir bajo una misma tecnología de interconexión las funcionalidades de las redes (networking) y las de E/S de alta velocidad (principalmente memorias de masa). Adicionalmente, esta conexión de ordenadores y dispositivos de almacenamiento directamente a la red, ha hecho posible el desarrollo de una nueva forma de implementar los servidores (SAN: Storage Area Network), en que los discos o cintas ya no están asociados físicamente a un servidor concreto, pudiendo incluso estar separados a bastante distancia. Esta tecnología tiene evidentes ventajas en cuanto a redundancia, disponibilidad del sistema, recursos compartidos, etc. (p.e. permite disponer de un conjunto de servidores con acceso a un conjunto de discos compartidos, realizar operaciones de mantenimiento sin apagar los servidores y sin impedir el acceso de éstos a otros dispositivos sobre la red, realizar copias de seguridad hacia dispositivos físicamente separados y situados en distintos lugares seguros, etc, etc.).

FC puede operar sobre cable y sobre fibra óptica a distancias de hasta 10 Kms sin uso de repetidores. Es una tecnología única en cuanto a las múltiples e interoperables topologías que soporta, que pueden ser Punto-a-punto, Fabric conmutado y Arbitrated Loop (FC-AL), y que ofrece diferentes Clases de Servicio para un mayor control sobre las prestaciones y características de transmisión de datos de cada aplicación particular. Las Clases de Servicio incluyen servicios orientados a conexión (conmutación de circuitos) y orientados a no conexión (conmutación de paquetes), pudiendo elegir combinaciones con notificación y sin notificación de entrega, circuitos virtuales con reserva de ancho de banda y especificación de latencia máxima (QoS) y funciones de multicast, broadcast y hunt groups (cualquiera-de-un-grupo-a-cualquiera-en-otro-grupo). Por último, el tamaño de paquete variable desde 0 hasta 2,112 octetos lo hace ideal para aplicaciones de almacenamiento, video, gráficos y grandes transferencias de información con memorias de masa.

La información adicional (overhead) introducida por el protocolo, incluyendo el factor introducido por la codificación serie, es tan bajo que a la velocidad de enlace (1.0625 Gbps exactamente) se obtienen tasas de transferencias reales de datos ligeramente por encima de los 100 MB/s, lo que significa casi un 80% de eficiencia. Adicionalmente, la tecnología FC utiliza fibras independientes para transmisión y recepción, lo que permite que los dispositivos full-duplex puedan transmitir y recibir simultáneamente y puedan llegar a realizar transferencias hasta a 200 MB/s. Comparado con protocolo SCSI Paralelo, en FC todas las transferencias se realizan a la velocidad máxima de enlace, al contrario de lo que sucede en SCSI en que sólo las transferencias de datos se realizan a la máxima velocidad, mientras que el resto de las fases (comando, estado, mensaje) se realizan de forma asíncrona y mediante la intervención del firmware de ambos dispositivos, por lo que la eficiencia es significativamente más baja que en FC. Comparado con protocolos de red basados en un stack SW, FC es un interfaz cuya arquitectura permite realizar una cantidad significativa de proceso en HW, con lo que se obtienen unas prestaciones superiores a las de aquéllos. Por último, actualmente ya están aprobadas velocidades de enlace a 2 y 4 Gbps sobre fibra óptica, lo que unido a que la tecnología de interconexión entre nodos evita por definición las colisiones (y las correspondientes pérdidas de tiempo) tan habituales en otras topologías, hacen de FC un interfaz realmente rápido.

Este conjunto de características de soporte multiprotocolo, conectividad y velocidad, unidas a la posibilidad de interconectar más de 16 millones de nodos en un dominio, hacen de FC una tecnología ideal para interconexión de sistemas (ordenadores y dispositivos de almacenamiento) a nivel de edificios y de campus. En caso necesario, FC permite la conectividad con otras redes a través de puertas de enlace (gateways), y cuando se precisen conexiones a muy larga distancia, FC permite que se puedan implementar los enlaces entre los conmutadores (ISLs, Inter-Switch Links) por medio de enlaces no FC, como por ejemplo, alquilando los servicios de un operador de telecomunicaciones, con lo que un dominio FC puede expandirse a nivel regional, nacional o internacional.

NIVEL I (ELEMENTAL)

ARQUITECTURA

- **DOMINIO FC**

Un Dominio FC lo forman dos o más **Nodos** interconectados a través de un **Subsistema de Interconexión**.

- **ULP (Upper Level Protocol)**

Un protocolo de Alto Nivel puede ser un Protocolo de Comando (para canales de periféricos, como SCSI, IPI, ESCON, etc.), o un Protocolo de Paquete (para redes, como IP y ATM). Son los ULPs los que definen qué Juego de Comandos o qué información concreta se transmite a través del nivel físico de FC, lo que hace posible transmitir paquetes de datos correspondientes a muy diferentes protocolos. Cada Protocolo ULP se compone de una o más Unidades de Información (Protocol Data Units o PDUs), y regula su uso, su número y su contenido.

NODOS

Cada Nodo se identifica por un nombre de 64 bits (Node Name) que lo distingue del resto de Nodos en el Dominio, dispone de al menos un puerto de conexión (Node Port o N_Port) y soporta al menos un Protocolo de Alto Nivel (ULP). En caso de disponer de varios N_Ports, éstos se pueden conectar al mismo o a distintos Subsistemas de Interconexión, y beneficiarse del Ancho de Banda acumulado (transferencias simultáneas a través de los varios N_Ports) y/o de la redundancia que ofrecen las múltiples conexiones que se pueden establecer entre Nodos a través de múltiples N_Ports y/o múltiples Subsistemas de Interconexión.

- **N_PORT**

Cada N_Port dispone de un transmisor y un receptor independientes (full-duplex), para establecer una conexión Punto-a-Punto con un Subsistema de Interconexión, y se identifica mediante un nombre (Port_Name) de 64 bits que se fija durante la fabricación o la instalación y no se modifica nunca. Cada N_Port tiene uno o más Identificadores de Dirección (N_Port ID) de 24 bits, que se asignan durante la inicialización del Subsistema de Interconexión, y puede cambiar si cambia la configuración del Subsistema o si el nodo se conecta en un punto distinto del mismo.

- **NL_PORT**

Es un N_Port que soporta el juego de protocolos específicos para conexión a un Subsistema de Interconexión tipo Arbitrated Loop.

- **LOGIN/LOGOUT**

En la inicialización, cada N_Port establece una Sesión de LOGIN con todos lo demás, para intercambiar información sobre las posibilidades de transmisión y recepción de tramas (Service Parameters), y los nombres de Nodo y de N_Port (Name e ID). A partir de entonces, y mientras dure la Sesión (hasta que alguno haga LOGOUT), se permiten las transferencias de los ULPs. Es equivalente a los procesos de negociaciones físicas en SCSI, previas a la ejecución de operaciones.

- FLOGI: Fabric Login. Un N_Port o NL_Port establece una sesión con el Fabric.
- PLOGI: Port Login. Un N_Port o NL_Port establece sesión con otro N/NL_Port. Puede cerrarse mediante LOGO (Logout).
- PRLI: Process Login. Un ULP en un Port establece una sesión con el ULP correspondiente en el otro Port. Puede cerrarse mediante PRLO (Process Logout) o TPRLO (Third Party Process Logout).
- Implícito/Explícito. El Login/Logout Implícito es una forma de adoptar unos Parámetros de Servicio conocidos implícitamente, sin necesidad de establecer la comunicación y el intercambio de información entre los Puertos. Posible en entornos muy cerrados.

- **NOMBRES FC**

Identificadores de 64 bits para Identificación Positiva de Entidades, independiente de su dirección. Se fija durante la fabricación de la Entidad y su denominación depende del tipo de Entidad: Node_Name, Port_Name (N_Port/F_Port), Fabric_Name. Existen distintos métodos de generación de NAMES, y el método concreto empleado para generar un cierto NAME se denomina NAA (Name Assignment Authority) y se codifica en los 4 bits altos del NAME:

- **WWN (World Wide Name):** El método de generación del NAME asegura que es único a nivel mundial, como las direcciones MAC asignadas a las tarjetas de red. Los NAA asignados actualmente son:
 - **NAA 1:** IEEE 802.1A 48 bits Universal LAN MAC Address (ULA). Asignable a N_Port, Node, F_Port y Fabric.
 - **NAA 4:** IP 32 bits. Asignable a Node. Simplifica la comunicación y rutado de tramas entre redes FC y no FC en entorno IP.
 - **NAA 5:** IEEE Registered. Utiliza 24 bits asignados por IEEE a cada fabricante registrado (OUI: Organization Unique Identifier), y deja los 36 bits restantes para que los asigne internamente el propio fabricante. Asignable a N_port, Node, F_Port, Fabric y otros objetos.
 - **NAA 6:** IEEE Registered Extended. Extensión de 64 bits asignables por el fabricante al formato IEEE Registered. Asignable a cualquier objeto FC, aunque la extensión de 64 bits no hay manera de comunicarla mediante los servicios de Enlace actuales (p.e. Login), ya que sólo permiten comunicar NAMES de hasta 64 bits.
- **FCN (FC Name):** El método de generación del NAME no asegura que sea único a nivel mundial. Los NAA asignados por ahora son:
 - **NAA 2:** IEEE Extended (extensión particular de FC a la dirección ULA de IEEE). Utiliza los 12 bits que el formato ULA deja sin utilizar. Asignable a N_Port o F_Port, normalmente para identificar los Ports asociados a un Node o Fabric con NAA IEEE ULA.
 - **NAA 3:** Asignado Localmente. Asignable por el fabricante a N_Port, Node, F_Port y Fabric. EL fabricante es responsable de la unicidad de NAMES dentro del dominio FC.

El NAME se utiliza también como parte de la dirección de red cuando se rutan tramas entre distintas redes FC o no FC.

- **NAME SERVER:** Función situada en un dirección estándar (Well-known Address), que mantiene una relación entre NAMES y direcciones de Entidades. Permite direccionar Entidades a través de su NAME en vez de por su dirección .

SUBSISTEMA DE INTERCONEXION

- **ENLACE**

Formado por dos líneas (Fibers) unidireccionales que establecen la Conexión Física entre dos Ports. Cada Fiber puede ser Optico (Fibra Optica, hasta 10 Km) o Eléctrico (S/E -coaxial- o Diferencial -twinax o par twistead-, hasta 30 m). El enlace es siempre Punto-a-Punto.

- **TOPOLOGIA Y DIRECCIONAMIENTO**

Forma de Interconexión de Nodos:

- **Punto-a-Punto**

Un enlace conecta dos N_ports. Un N_Port asigna automáticamente la dirección al otro N_Port. La expansión es posible añadiendo más N_Ports a los Nodos. En caso de Nodos con varios N_Ports, se pueden establecer varios enlaces entre 2 o más nodos, con lo que el rutado de tramas (elección de N_Port) lo debe hacer el propio Nodo.

- **Conmutada (Fabric)**

Fabric viene a querer significar "un conmutador o grupo de conmutadores interconectados". El Fabric dirige el tráfico de Frames desde el N_Port origen hasta el N_Port destino. Los Ports internos al Fabric pueden ser:

- F_Ports (Fabric_Port). Para los enlaces con los N_Ports. Realizan funciones distintas a los N_Ports (rutan las Frames en vez de generarlas o recibirlas).
- E_Ports (Expansion_Port). En configuración en cascada (multi-conmutador), los conmutadores se interconectan a través de ISLs (Inter-Switch Links) a través de Ports de Expansión (E_Ports). FC permite la interconexión de hasta 239 conmutadores. FC permite que se puedan implementar los ISLs por medio de enlaces no FC, como por ejemplo, alquilando los servicios de un operador de telecomunicaciones si los conmutadores están en distintas ciudades.
- G_Port (Generic_Port). Es un F_Port que puede funcionar también como E_Port.

La asignación de la dirección a cada N_Port lo realiza automáticamente el Fabric durante el FLOGI. El espacio de direccionamiento es de 24 bits y se maneja en 3 grupos de 8 bits:

- El grupo alto (dirección de Dominio), contiene la dirección asignada a cada conmutador. Permite hasta 239 (01h a EFh) conmutadores en el Fabric.
- El grupo intermedio (dirección de Área), contiene la dirección asignada a cada área dentro de un mismo conmutador (p.e. una controladora con un FL_Port o con varios F_Ports). Permite hasta 256 Áreas por Dominio.
- El grupo bajo (dirección de Puerto), contiene la dirección asignada a cada N/NL/E_Port con enlace a una determinada Área. Permite hasta 256 N/E_Ports por Área, o hasta 126 NL_Ports si se trata de un FC-AL ($239 \times 256 \times 256 = 15,663,104$ N/E_Ports, ó $239 \times 256 \times 126 = 7,709,184$ NL_Ports como máximo).

En caso necesario, se pueden manejar alternativamente las direcciones de Dominio, Área y Puerto para evitar la presencia de rangos de direcciones inutilizadas, y poder aprovechar todo el rango de direccionamiento previsto en FC ($2^{24} = 16,777,216$ Ports).

El Fabric permite dos métodos para el encaminamiento de tramas:

- Orientados a conexión (o conmutación de circuitos). FC lo soporta en las Clases de Servicio 1, 4 y 6.
- Orientados a no conexión (o conmutación de paquetes). FC lo soporta en las Clases de Servicio 2 y 3.

FC permite otras funcionalidades del Fabric, como:

- Asignar recursos (conmutar tramas o establecer circuitos) según un orden de prioridad. FC permite hasta 256 niveles de prioridad.
 - Preemption. Posibilidad de cerrar un circuito para asignar sus recursos a una nueva conexión de mayor prioridad.
 - Broadcast (Uno-a-Todos) y Multicast (Uno-a-Varios).
 - Hunt Groups (Cualquiera-del-Grupo-a-Cualquiera-en-otro-Grupo)
- **Arbitrated Loop (FC-AL)**

El transmisor de un Port se conecta al receptor del Port siguiente, y así sucesivamente hasta que se establezca un bucle cerrado (Loop). La información circula desde el Port origen a través del Loop, retransmitiéndose en cada Port intermedio, hasta que alcanza al Port destino. Esta funcionalidad de retransmisión y rutado es específico del Arbitrated Loop, por lo que los Ports que disponen de esta funcionalidad son distintos de los N_Ports y F_Ports normales, y se denominan:

- NL_Port, si se trata de un N_Port. Pueden conectarse hasta 126 NL_Ports a un Loop (126 AL_PAs válidas en el rango 01h a EFh).
- FL_Port, si se trata de un F_Port. Puede conectarse hasta 1 FL_Port a un Loop (AL_PA = 0)

Dentro del Loop, cada Port se identifica por una dirección de 8 bits (AL_PA o Physical Address) que se asigna automáticamente durante la inicialización del Loop, y que es la parte baja de los 24 bits de la dirección del Port.

Los 16 bits altos se asignan automáticamente durante el FLOGI si el Loop está conectado al Fabric y el N_Port decide establecer una sesión con el Fabric. En caso contrario los 16 bits altos permanecen a cero:

- Si un NL_Port establece la sesión con el Fabric se denomina Público, y puede establecer comunicaciones con N_Ports externos al Loop.

- Si un NL_Port no establece sesión con el Fabric se denomina Privado. No puede establecer comunicaciones con N_Ports externos al Loop.

Los Ports deben arbitrar para obtener el control del Loop y poder establecer una conexión con otro Port (Abrir un Circuito). Esto evita colisiones entre Ports. AL_PA 0 tiene la máxima prioridad y ésta va descendiendo para valores mayores de AL_PA, aunque el Loop dispone de un protocolo (Access Fairness) que reparte las oportunidades de ganar la arbitración igualmente entre todos los Ports:

- Una vez que un Port ha ganado una arbitración, no puede volver a arbitrar mientras haya otros Ports arbitrando.

Adicionalmente, el ganador puede cerrar un circuito y abrir otro sin dejar el control del bus:

- Transfer: Abrir nuevo circuito sin tener que rearbitrar. Ideal para Ports con tráfico con diferentes destinos (FL_Ports, SCSI Initiators, etc.)

El circuito establecido puede ser Full-Duplex o Half-Duplex, y se utiliza control de flujo Alternate_BB_Credit que se inicializa al abrir el circuito. El ancho de banda se comparte entre todos los Ports, ya que sólo se permite un circuito entre dos Ports en cada momento. Ideal para dispositivos de bajo ancho de banda (p.e. un conjunto de discos duros).

Para evitar que la caída de un Port deje inutilizable todo el Loop, existen dos opciones:

- Bypass, para "rodear" un posible Port que ha caído:
 - A nivel interno al equipo (p.e. dentro de un disk array o un JBOD).
 - A nivel de la interconexión externa (Loop Hubs). Permite la conexión en estrella, con todos los Ports conectados al hub, y permite utilizar cables estándar (que incluyen las dos fibras). Los hubs también pueden permitir mezclar líneas ópticas y eléctricas en el mismo Loop.
- Conectar un segundo Loop redundante.

PROTOCOLO DE COMUNICACION

• EXCHANGE

Manejo de una operación ULP entre dos puertos, mediante el intercambio de una o más Unidades de Información. Pueden existir múltiples Exchanges en el contexto de una Sesión de Login, que pueden ser secuenciales o concurrentes. Se compone de:

- IDs: OX_ID (Originator) y RX_ID (Responder)
- Protocol Type
- Exchange Error Policy

El ULP determina el número máximo de Exchanges concurrentes. Es el equivalente a los comandos con tag de SCSI.

• SEQUENCE

Conjunto de una o más tramas (Frames) necesarias para transmitir una Unidad de Información. El número de Sequences en un Exchange depende del número de Unidades de Información que haya que intercambiar durante la operación, y se procesan una a una. Se identifican mediante un SEQ_ID. Normalmente cada UI del ULP se corresponde con una Sequence (equivalente a cada una de las distintas Fases de un comando SCSI). El Port que envía una Sequence se denomina Sequence_Originator, y el Port que la recibe se denomina Sequence_Recipient. Las Sequences dentro de un Exchange pueden circular en un sentido o en otro, dependiendo del ULP (es half duplex). El Sequence_Originator es siempre el que autoriza la transmisión en sentido contrario (mediante la Transferencia de la Iniciativa de Secuencia), y el OX tiene siempre la iniciativa de transferencia de la primera Sequence.

Las Sequences se envían según unos conjuntos determinados de características u opciones de transmisión, denominados Clases de Servicio.

- **Clases de Servicio y Calidad de Servicio (QoS)**

La transmisión de cada tipo de información (datos, audio, video, tiempo real, time critical, etc.) implica unos requisitos concretos, tales como Ancho de Banda, Latencia y Opciones de Confirmación de Entrega. Una Clase de Servicio es un conjunto de características u opciones de transmisión, independiente de la topología, que tiene efecto a lo largo de todas las Frames de una Sequence:

- FC-PH: Clase-1 (conexión con confirmación de entrega), Clase-2 (no conexión y confirmación de entrega) y Clase-3 (no conexión y no confirmación de entrega).
- FC-PH2: Clase-4 (circuito virtual con confirmación de entrega, reserva de ancho de banda y limitación de latencia máxima -QoS-)
- FC-PH3: Clase-6 (conexión broadcast/multicast con confirmación de entrega)

Distintas Sequences pertenecientes al mismo Exchange pueden transmitirse con diferentes Clases de Servicio (se pueden mezclar las Clases 1, 2 y 4, pero no la Clase 3). Todas las Frames de una Sequence deben pertenecer a la misma Clase de Servicio. Las Clases 1 y 4 (orientadas a conexión) sólo se pueden establecer y finalizar en fronteras de Sequences.

- **FRAME**

Son los "sobres" utilizados para enviar información, análogos a los paquetes de red. El tamaño puede estar entre 0 y 2,112 bytes. Las Sequences pueden ser Single-Frame o Multi-Frame, dependiendo de la longitud de la Unidad de Información a transmitir. El empaquetamiento en Frames y reensamblaje de la Unidad de Información original se hace en los N_Ports, y es transparente al Nodo, que envía y recibe Unidades de Información completas. Se compone de:

- SOF: Start Of Frame (4 bytes). Indica Clase de servicio, si hay que Establecer una conexión o Activar un circuito virtual y si es primera (Initiate) o sucesiva (Normal) Frame dentro de la Sequence.
- Header (24 bytes, incluye entre otras el tipo de Frame (FT-0 -Link Control Frame- y FT-1 -Data Frame-), las direcciones de N_Ports origen y destino (S_ID, D_ID), OX_ID, RX_ID y SEQ_ID, Relative Offset para reensamblaje de Frames recibidas out-of-order, y SEQ_CNT (número de Frame dentro de la Sequence).
- Data Field (Payload), variable desde 0 hasta 2,112 bytes máximo, en incrementos de 4 bytes. La información puede ser byte-oriented, mediante el uso de Fill Words para completar al final un grupo de 4.
- CRC (4 bytes).
- EOF: End Of Frame (4 bytes). Indica si hay que Cerrar una conexión o Desactivar un circuito virtual, si es la última (Terminate) o no (Normal) Frame de la Sequence, si la Frame ha sido abortada por el transmisor (Abort), o si una entidad intermedia ha detectado un error en la Frame (Invalid).

(EJEMPLO: Una lectura FCP-SCSI se realizaría en un Exchange que contendría 3 Sequences para el envío de las Unidades de Información de Comando, Data-In (posiblemente Multi-Frame) y Estado).

- **Control de Flujo y Crédito**

Los Frames se transmiten de buffer a buffer entre N_Ports. Para minimizar la posibilidad de pérdida de Frames debido a falta de espacio en el receptor, FC establece dos niveles de Control de Flujo basados en el concepto de Crédito:

- A nivel de Enlace (entre un Port y su enlace): Buffer-to-Buffer Credit (BB_Credit) y Virtual Circuit Credit (VC_Credit). Evitan condiciones de overrun entre los dos Ports interconectados (dos N_Ports o N_Port y F_Port).
- A nivel de N_Port: End-to-End Credit (EE_Credit). Permite a los N_Ports controlar de qué otros N_Ports pueden recibir tramas.
 - CREDITO: Permiso concedido por un receptor a un transmisor para enviar un número determinado de Frames. El número concreto de Frames que se pueden enviar se denomina Available Credit. El Crédito se va agotando conforme se transmiten Frames, y se va reponiendo conforme se reciben respuestas. Si el Available Credit llega a cero, el transmisor se espera a tener nuevo Available Credit. El Crédito se puede obtener dependiendo de la topología:
 - Durante el proceso de Login (Login Credit, utilizado para inicializar el Available Credit).
 - En FC-AL, tanto durante el proceso de Login como dinámicamente tras el establecimiento de cada circuito (Alternate BB_Credit).

- **MODOS DE COMUNICACION**

- **Full-Duplex**

Al disponer de dos fibras independientes (transmisión y recepción), es posible la comunicación bidireccional simultánea de tramas tanto de datos como de control. En modos orientados a conexión, las tramas se intercambian entre los dos N_Ports miembros. En Clases orientadas a no conexión, es posible enviar tramas a un N_Port y recibir tramas de otro distinto.

- **Half-Duplex**

FC denomina Half-Duplex a un modo de comunicación en el que las tramas de datos sólo viajan en una dirección, permitiéndose sólo tramas de control en la dirección contraria. En Punto-a-Punto y en Fabric, sólo puede establecerse este modo de comunicación en Clases orientadas a conexión. En FC-AL, el propio protocolo del Loop determina si la comunicación es Full-Duplex o Half-Duplex, independientemente de la Clase utilizada.

- **Simplex**

Degeneración de Half-Duplex, donde las tramas de datos y de control tampoco son simultáneas.

NIVEL II (AVANZADO)

NIVELES FC

- **FC-0:** Interfaz Físico. Transmisores, receptores, cables, conectores, topologías
- **FC-1:** 8b/10b encode/decode, Ordered Sets y Servicios de Control de Enlace
- **FC-2:** Sesión, Exchange y Sequence, Frames de Datos y Frames de Control de Enlace, Clases de Servicio, Control de flujo y de errores
- **FC-3:** Servicios Comunes
- **FC-4:** Nivel de módulos de conexión con Protocolos de Alto Nivel (ULP), principalmente:
 - SCSI-FCP (FC Protocol for SCSI), para SCSI-3
 - FC-LE (FC Link Encapsulation): para IEEE802.2 LLC (Logic Link Control), enfocado principalmente sobre TCP/IP
 - FC-SBCCS (FC Single-Byte Command Code Sets): para ESCON (utilizado en mainframes y grandes empresas)
 - FC-FP (FC Framing Protocol): para el framing protocol de HiPPI (High Performance Parallel Interface, que describe un interfaz utilizado frecuentemente para transporte de comandos IPI (Intelligent Peripheral Interface) y paquetes IP (Internet Protocol))
 - FC-AE (FC Avionics Environment), enfocado a la comunicación entre subsistemas de aviación
 - FC-AV (FC Audio/Video), para distribución de Audio y Video de calidad, pensado para aplicaciones de estudio y distribución de televisión
 - Etc.

FC-0

- **ENLACES OPTICOS**
 - LED de Onda Larga (1,300 nm). Hasta 1.5 Km a 12.5/25 MB/s con Multimode Fiber.
 - Láser de Onda Larga (1,300 nm). Hasta 10 Km a 25/50/100 MB/s (2 Km a 200/400 MB/s) con Single-Mode Fiber
 - Láser de Onda Corta (780 nm). Utilizados en unidades de CD y MO.
 - Hasta 2 Km a 25 MB/s (150 m a 400 MB/s) con Multi-Mode Fiber de 50 um
 - Hasta 700 m a 25 MB/s (50 m a 400 MB/s) con Multi-Mode Fiber de 62.5 um
 - Single-Mode Fiber (9 um), utilizada con Láser de Onda Larga. Presenta la menor atenuación a 1,300 nm.
 - Multi-Mode Fiber (50 ó 62.5 um), utilizada con Láser de Onda Corta y con LED. Presentan una alta dispersión modal, lo que limita la distancia de uso. El transmisor puede incorporar o no un circuito OFC :
 - OFC (Open Fibre Control), para prevenir daños en la vista por exposición al láser en una fibra abierta
 - No-OFC, donde la potencia del láser se ha rebajado por debajo del límite tolerable (Clase-1 laser device)
 - Ambos tipos de cable NO pueden interoperar
- **ENLACES ELECTRICOS**
 - Single-Ended (no balanceado). Usa siempre cable coaxial, y puede alcanzar hasta 50/60 m a 100 MB/s.
 - Estilo-1, conectores BNC (TX) - TNC (RX)
 - Estilo-2, conectores SMA
 - Diferencial (balanceado). Puede utilizar cable twinaxial o pares twisteados apantallados, y puede alcanzar sobre 30 m a 100 MB/s.
 - Estilo-1: Conector DB-9 (pines 1-6 para TX y 5-9 para RX)
 - Estilo-2: Basado en conector HSSDC de AMP, similar al RJ-45
 - Otros para uso dentro de un cabinet. El SCA-2 de 40p se está utilizando ampliamente en el terreno de los discos duros.
- **IDENTIFICACIÓN DE LOS CABLES: A-B-C-D**

- A (velocidad en MB/s): 12 (eight), 25 (quarter), 50 (half), 100 (full), 200 (double), 400 (quad-speed)
 - B (Media): SM (Single-Mode Fiber), MM5 (Multi-Mode Fiber 50 um), MM6 (Multi-Mode Fiber 62.5 um), LV (Long Distance Video coax), TV (Video Coax), MI (Miniature Coax), TP (Twisted Pair), TW (Twinaxial)
 - C (Transmisor): LL (Longwave Laser 1,300 nm), SL (Shortwave Laser 780 nm con OFC), SN (Shortwave Laser 780 nm sin OFC), LE (Longwave LED 1,300 nm), EL (Electrical)
 - D (Distancia): L (Long -hasta 10 Km-), I (Intermediate -50 m a 2 Km-), S (Short)
- **VELOCIDAD EFECTIVA DE DATOS**
 - Señalización: 1,062.5 Mbaud (Mbps)
 - Codificación 8b/10b: 106.25 MB/s
 - Frame Overhead (60 bytes)
 - Velocidad para Frames de 2Kbytes:
 - Clase-3 (sin confirmación de recepción): $[2048/(2048+60)] * 106.25 = 103.22$ MB/s (97.15% de Eficiencia)
 - Clases 1, 2 y 4 (con confirmación de recepción = ACK Frame de 60 bytes): $[2048/(2048+120)] * 106.25 = 100.37$ MB/s (94.46% de Eficiencia)
 - **TOPOLOGÍAS PUNTO-A-PUNTO, FABRIC, ARBITRATED LOOP (FC-AL) E HÍBRIDA FABRIC/FC-AL**
 - Todas usan fibras diferentes para transmisión y recepción.
 - Todas conectan un transmisor a un receptor (no hay conexiones multidrop ni nada parecido)
 - Los transmisores están continuamente transmitiendo información, lo que facilita la sincronización del receptor y además indica que el enlace es funcional.
 - Todas permiten el uso de fibra óptica, líneas eléctricas o una combinación de ambos.
 - Todas permiten asignar IDs a los puertos automáticamente, sin necesidad de puentes de configuración manual.
 - En Punto-a-Punto, durante el PLOGI
 - En Fabric, durante el FLOGI
 - En FC-AL, se asignan los 8 bits bajos (AL_PA) durante la inicialización del Loop, y los 16 altos durante el FLOGI (si no hay Fabric, se quedan a 00)

FC-1

- **CODIFICACIÓN 8B/10B**
 - Código auto-reloj que permite al receptor recuperar el reloj mediante PLL y sincronizar la recepción de información.
 - Las secuencias de 0s ó 1s consecutivos se limita a 5 (RLL, Run Length Limit).
 - Distribuye igualmente el número de 0s y 1s, de forma que garantiza una señal balanceada en DC:
 - De las 1,024 posibles combinaciones, sólo se usan aquellas con una relación entre 0s y 1s de 6-4, 5-5 y 4-6:
 - 5-5 es una combinación libre de componente DC. Se denominan caracteres con Disparidad Neutra.
 - 6-4 y 4-6 son combinaciones con una componente DC en sentido + (seis 1s) ó - (seis 0s), denominados caracteres con Disparidad Positiva o Negativa respectivamente
 - Cada carácter 6-4 y 4-6 se puede codificar de las dos maneras, de forma que siempre se pueden transmitir secuencias de caracteres que vayan cancelando la Disparidad
 - Al codificar cada carácter, el transmisor actualiza un bit (CRD, Current Running Disparity), que utiliza para decidir cómo codifica el siguiente carácter.
 - Muchos de los caracteres 5-5 también se codifican de dos maneras, controlada por el bit CRD, para cumplir los requisitos RLL.
 - Asegura un ciclo de trabajo del 50% en transmisores ópticos

- Limita el offset de DC en los receptores, que facilita el control de los niveles de threshold
- Evita el uso de circuitos de restauración de nivel de DC
- Permite la existencia de códigos "extra", que se pueden utilizar como caracteres especiales para funciones de control:
 - Al codificador se le indica mediante la señal D/K si debe codificar un carácter normal (D code) o uno de control.(K code). Se definen 12 caracteres de control.
 - FC sólo utiliza el carácter de control K28.5, que además permite la alineación a nivel de carácter en el receptor, ya que los 7 bits menos significativos son una combinación única (Comma Pattern).
 - Una vez alineado el carácter, basta con contar bits para mantener el alineamiento, ya que en FC el stream de words nunca se detiene.
- Permite detectar errores de transmisión:
 - Violación de código: cada carácter de 8 bits se procesa en dos subgrupos de 5 (LSB) y 3 (MSB) bits, debiendo ser ambos subcódigos válidos. La codificación 8b/10b y FC utilizan la representación de caracteres D/Kxx.y, donde "xx" es el valor decimal del subgrupo de 5 bits e "y" es el valor decimal del subgrupo de 3 bits.
 - Errores de Disparidad (la Disparidad debe alternarse tras la recepción de caracteres no neutros)
- **ORDERED SETS**
 - FC es una arquitectura orientada a palabra de 32 bits (4 caracteres).
 - Hay dos categorías de Palabras de Transmisión:
 - Data Word. Se compone de 4 palabras de dato Dxx.y, y sólo tienen sentido dentro de los límites de la Frame.
 - Ordered Set. Son palabras de control que comienzan siempre con un carácter de control (K28.5) seguido por 3 caracteres de dato Dxx.y. Se usan para identificar funciones de control y señalización a nivel de palabra, y siempre ocurren fuera de las Frames:
 - Frame Delimiter: SOF, EOF y sus variantes. Entre el SOF y el EOF de una Frame sólo puede haber Data Words, mientras que entre el EOF de una Frame y el SOF de la siguiente, sólo puede haber Ordered Sets.
 - Primitive Signal: Indica eventos en el puerto que las transmite. Entre un EOF y el siguiente SOF el transmisor debe transmitir al menos 6 Words, que pueden ser:
 - Fill Word: IDLE, ARB(x), ARB(F0), ARB(FF). Los Ports intermedios (repetidores) pueden añadir o eliminar Fill-Words por motivos de Clock Elasticity, pero siempre asegurando que el receptor recibirá al menos 2 Words entre un EOF y el siguiente SOF.
 - Non-Fill Word: R_RDY, VC_RDY, CLS, OPN, DHD, MRK(tx), SYNx, SYNy, SYNz. El transmisor debe transmitir un mínimo de 2 Fill-Words tanto antes como después de cada Non-Fill Word.
 - Primitive Sequence: NOS, OLS, LR, LRR, LIP, LPB, LPE. El receptor debe reconocer un mínimo de 3 ocurrencias consecutivas de la misma Primitive Sequence antes de ejecutarla.
- **SERVICIOS DE CONTROL DE ENLACE**
 - Utilizados en casos en que no son posibles utilizar servicios de control de enlace a nivel de Frame (Link Control Frames)
 - Se implementan a partir de Ordered Sets
 - Se usan para inicializar y reinicializar los enlaces y en las recuperaciones de situaciones de bloqueo causados por fallos en los Ports o en las operaciones.

FC-2

Ofrece al nivel superior un interfaz del tipo Request-Indication-Confirmation. El nivel superior solicita la transmisión de una Sequence (Request). FC-2 asigna (según el caso) una identificación a la Sequence y se la notifica al nivel superior (Indication). Además prepara la secuencia de Frames para enviar la Sequence a través de los niveles inferiores hasta el FC-2 del receptor. El FC-2 del receptor reensambla la Sequence y le indica su llegada a su nivel

superior (Indication) y opcionalmente confirma la entrega (Link Control Frame) al Initiator. En este caso, el FC-2 del Initiator confirma a su nivel superior la entrega de la Sequence (Confirmation).

- **SESION**

Para poder establecer comunicaciones, hay que establecer antes Sesiones de Login, en las que se establecen los parámetros de comunicación entre dos entidades:

- PLOGI (Port Login): Login entre dos Puertos para poder establecer comunicaciones entre ambos.
- FLOGI (Fabric Login): Login entre un N/NL_Port y un F/FL_Port, para poder establecer comunicaciones con otros Puertos a través del Fabric.
- PRLI (Process Login): Login entre Procesos ULP, para poder establecer comunicaciones entre los niveles ULP de ambos Nodos.

- **EXCHANGE**

Cada proceso ULP se ejecuta en el contexto de una Exchange. La Exchange se crea automáticamente cuando se transfiere la primera Sequence y termina cuando se transfiere la última Sequence de la operación. Pueden existir múltiples Exchanges abiertas entre dos Nodos, cuya ejecución puede ser secuencial o concurrente.

- En el caso de SCSI-3, cada comando SCSI es un proceso ULP, que se ejecuta en el contexto de una Exchange.

- **SEQUENCE**

La transferencia de cada Unidad de Información (UI) de un proceso ULP (Exchange) se ejecuta en el contexto de una Sequence. La Sequence se crea automáticamente cuando se transfiere la primera Frame y termina cuando se transfiere la última Frame de la Sequence.

- En el caso de SCSI-3, cada fase de un comando SCSI (Comando, Data-In, Data-Out, Status) es una UI que se transfiere en una Sequence.

- **FRAME**

La información correspondiente a una Sequence se transfiere empaquetada en Frames, pudiendo la Sequence estar formada por una o más Frames, ya que el tamaño de la Frame está limitado a 2,112 octetos. Existen dos tipos de Frames:

- Frames de Datos, que transportan información ULP
- Frames de Control de Enlace, que transportan información de Control de Enlace independiente del ULP

- **CONTROL DE FLUJO Y CRÉDITO**

La transmisión de Frames entre Puertos se gobierna mediante el mecanismo del Crédito:

- Un Puerto puede transmitir Frames sólo si tiene Crédito Disponible. El Puerto decrementa el Crédito Disponible con cada Frame que transmite, y lo aumenta con la recepción de cada Primitivas de Control de Flujo. Así cada Puerto otorga Crédito enviando Primitivas de Control de Flujo en función del espacio libre disponible para la recepción de Frames.
- Existe un Crédito a nivel de Enlace (BB_Credit, Buffer to Buffer Credit), otorgado por cada Puerto al que tiene al otro lado del enlace. En caso de FC-AL, se usa un Alternate_BB_Credit otorgado por cada Puerto al otro con el que tiene establecido un circuito.
- Existe un Crédito a nivel de Nodo (EE_Credit, End to End Credit), otorgado por cada Puerto a otros Puertos con los que mantiene una sesión.

- **CLASES DE SERVICIO**

- Clase-1: Orientada a conexión. Establecimiento de un circuito dedicado entre dos N_Ports (Conmutación de Circuitos). Confirmación de entrega o notificación de no-entrega. Utiliza sólo Control de Flujo EE_Credit. Todo el ancho de banda disponible (no busys). Latencia fija (una vez establecido un determinado circuito). Las Frames se entregan en orden. Utilizable en cualquier topología (el Fabric debe permitir conmutación de circuitos). Ideal para aplicaciones en tiempo real con gran ancho de banda. Los dos N_Ports sólo transmiten

Frames entre ellos, salvo que se soporte la opción de Intermix. La transmisión de Frames de datos puede ser Uni (Initiator a Recipient) o Bidireccional.

- Clase-1 con Intermix: Permite que los N_Ports puedan recibir o enviar frames Clase-2 o Clase-3 (no conexión) entre Frames Clase-1, con el otro o con cualquier otro N_Port. Esto permite aprovechar para tráfico de Clases 2 y 3 el ancho de banda desaprovechado por el tráfico de Clase-1. Utilizable en Punto-a-Punto y Fabric.
- Buffered Class-1: Permite una conexión Clase-1 entre dos N_Ports de distinta velocidad. Utilizable en Fabric. Se usan ambos métodos de control de flujo BB_Credit y EE_Credit.
- Dedicated Simplex Class-1: El Fabric puede conmutar independientemente las dos fibras de un N_Port, lo que permite establecer dos circuitos Clase-1 con otros dos N_Ports, uno en transmisión y otro en recepción. Las tramas de control se envían y reciben en Clase-2. Utilizable con Fabric.
- Clase-2: Orientada a no conexión, con confirmación de entrega o notificación de no entrega (Conmutación de Tramas). Utiliza Control de Flujo BB_Credit y EE_Credit. No se reserva ni se garantiza ancho de banda, y la latencia es aleatoria para cada frame. Apropiado para tráfico asíncrono o que pueda tolerar los posibles retrasos. Las frames pueden recibirse out-of-order, aunque un N_Port puede indicar que desea la entrega ordenada cuando establece la sesión (login) con el Fabric. Como no hay un circuito establecido, los N_Ports pueden enviar y/o recibir frames a /desde distintos N_Ports.
- Clase-3: Orientada a no conexión sin confirmación de entrega ni notificación de no entrega. Utiliza exclusivamente el Control de Flujo BB_Credit. Por lo demás es idéntica a la Clase-2. Apropiado para aplicaciones que no precisan confirmación de entrega o que la implementan de alguna manera a más alto nivel, como por ejemplo al nivel del ULP (TCP implementa la confirmación para protocolos TCP/IP).
 - Multicast: Permite implementar operaciones Multicast y Broadcast, denominados Multicast "no seguro" o Clase-3, dado que no existe confirmación de entrega ni notificación de no entrega.
- Clase-4: Orientada a conexión. Establecimiento de un circuito virtual entre dos N_Ports (Conmutación de Circuitos). Confirmación de entrega o notificación de no-entrega. Ancho de banda y Latencia garantizados. Permite (a diferencia de la Clase-1) la asignación de ancho de banda fraccional. La petición de establecimiento del circuito se realiza al servidor de QoS, indicando el ancho de banda y la latencia requeridos. Latencia fija (una vez establecido un determinado circuito). Las Frames se entregan en orden. Ideal para aplicaciones multimedia y de tiempo real que no precisan todo el ancho de banda del enlace. Pueden existir varios enlaces Clase-4 con el mismo o distintos N_Ports (a diferencia de la Clase-1). Utilizable en Fabric. El Fabric controla el flujo permitiendo las transferencias de ambos N_Ports (dándoles Available Credit) mediante un mecanismo específico (VC_RDY), y los N_Ports utilizan además el control Clase-4 EE_Credit (determinado durante el establecimiento del circuito).
- Clase-6: Es una Clase-1 con posibilidad de Multicast "seguro", ya que existe confirmación de entrega y notificación de no entrega. Un servidor de multicast procesa las respuestas de todos los N_Ports miembros del grupo de multicast y envía una única respuesta al initiator. La transferencia se trata siempre como Unidireccional Dedicada. El control de flujo es como en Clase-1 (EE_Credit) entre Initiator y servidor multicast y entre éste y los N_Ports miembros del grupo.

FC-3

Lugar para futuras funciones que operen entre la UI FC-4 y la Sequence FC-2. De momento no hay definidas funciones estándar, aunque se han discutido algunas posibilidades (algunas incluidas en FC-2):

- Data Striping: Distribución de la UI FC-4 en dos o más Sequences que utilizan un N_Port cada una, para aumentar la velocidad de transferencia.
- Multipath: La existencia de dos o más N_Ports en cada Node permite establecer varios caminos de comunicación entre Nodes, tantos como el producto entre N_Ports origen y N_ports destino. Si los N_Ports en cada Node se asocian a nivel lógico, se crea un grupo de caminos, de forma que se puede utilizar cualquier camino del grupo para realizar bien todas las transferencias del Exchange, o uno para cada Sequence, o incluso uno para cada Frame.
- Mirroring y RAID: Cada FC-4 IU genera dos Sequences idénticas sobre dos Nodes distintos (Mirroring) y/o gestiona las operaciones de lectura y escritura y recuperación de errores en un conjunto (RAID) de distintos Nodos.
- Encryption: FC-2 soporta encriptado de datos, pero en su lugar la aplicación puede querer utilizar sus propios mecanismos a nivel FC-3.

- Compresión y Traducción de datos: También FC-2 soporta compresión de datos, pero en su lugar la aplicación puede querer utilizar sus propios mecanismos a nivel FC-3, así como realizar cualquier otra función de manipulación de datos.

- **SERVICIOS GENERALES FC**

Funciones genéricas opcionales de gestión de la red FC, bajo cualquier topología e independientes de protocolos ULP. Utilizan direcciones concretas establecidas por el estándar (Well-Known Addresses):

- FF FF FF: Broadcast Server. Para broadcast de 1 Sequence single-frame en Clase-3 a todos los N_ports operativos.
- FF FF FE: Fabric F_Port Server. Cada N_Port (o grupo de NL_Ports en un FC-AL) utiliza esta dirección para comunicar con su F_PORT (o FL_Port) asociado. Obligatorio para permitir el FLOGI.
- FF FF FD: Fabric Controller. Gestión del Fabric.
- FF FF FC: Directory/Name Server.
- FF FF FB: Time Server. Información de tiempo de sistema, para manejo de timers o cuenta de tiempo transcurrido (no para sincronización de tiempos).
- FF FF FA: Management Server.
- FF FF F9: QoS Facilitator (gestión de ancho de banda y latencia en circuitos virtuales Clase-4).
- FF FF F8: Alias Server (Establece Alias_ID para grupos multicast y hunt)
- FF FF F7: Security Key Distribution Service. Gestión de la Distribución de Claves de Seguridad para encriptado de información, para comunicaciones seguras entre N_Ports. Sigue el modelo de Intercambio de Claves de Seguridad con Autenticación basado en Servidor según el estándar IEEE 802.10 for Interoperable LAN/MAN Security.
- FF FF F6: Clock Synchronization Service
- FF FF F5: Multicast Server. Multicast seguro en Clase-6
- FF FF F4 a FF FF F0: Reservados

FC-4

Conexión lógica entre FC-3/FC-2 y ULPs (Protocolos de Alto Nivel). Identifica los objetos a transportar y funciones a ejecutar por el ULP y especifica cómo se transportan o ejecutan a través del nivel de transporte FC, por ejemplo:

- SCSI-FCP: Protocolo FC para SCSI-3
- FC-SB: FC Single Byte Cmd. Sets (para ESCON/FIPS)
- FC-SNMP: FC Simple Network Management Protocol (para SNMP)
- FC-LE: FC Link Encapsulation (para IEEE 802.2 LLC, IP u otros protocolos de red)

Los objetos a transportar pertenecientes a un determinado servicio de protocolo ULP se agrupan en Information Sets.

- **SCSI-FCP. FIBRE CHANNEL PROTOCOL FOR SCSI**

- **SAM (SCSI3 Architecture Model)**

Define un Modelo de Arquitectura, independiente de aspectos físicos, protocolos, juegos de comandos o implementaciones específicas:

- Dominio SCSI:
 - Dos o más dispositivos SCSI
 - Inits. Inician las operaciones (Clientes de la Aplicación)
 - Targets. Ejecutan las operaciones (Servidores de la Aplicación)
 - Contiene una o más LUNs
 - Cada LUN contiene un Device Server que ejecuta comandos
 - Contiene un Task Set (cola en SCSI-2) y un Task Manager para manejo de tareas en la cola
 - Subsistema de Entrega de Servicios
 - Interfaz con el Subsistema de Entrega de Servicios (Puerto)
 - Subsistema de interconexión. (interfaz físico)

- Modelo Cliente-Servidor:
 - Init (cliente) realiza peticiones
 - Tarea SCSI-3 (comando simple o grupo de comandos linkados)
 - Los comandos siguen un modelo de RPC (Remote Procedure Call), con sus argumentos de entrada y sus resultados de salida, que se ejecutan remotamente en el Target.
 - Para ello se define el servicio de protocolo Send SCSI Command:
 - Send SCSI Command (Identificación y Atributos de la tarea, CDB, Data-Out buffer, Byte Count)
 - Los comandos aceptados por el LUN se introducen en la Task Set
 - Todas las tareas se identifican obligatoriamente mediante el nexa ITL o ITLQ (si se permiten Tagged Tasks)
 - SAM define los atributos de tarea que indican al Task Manager cómo debe manejar una determinada Task dentro de la Task Set:
 - Ordered, Simple, Head of Queue, ACA (nueva en SCSI-3)
 - Función de manejo de la Task Set (cola)
 - No son comandos, no se implementan con CDBs ni se responden con Status.
 - Abort Task: Afecta una tarea concreta (ITL o ITLQ)
 - Abort task Set: Afecta a todas las Tasks ordenadas por el mismo Init (ITL)
 - Clear Task Set: Afecta a todas las Tasks de todos los Inits (TL)
 - Target Reset: Inicializa el Target (activa Unit Attention)
 - Terminate Task: Afecta a una determinada tarea (ITL o ITLQ)
 - Clear ACA: Afecta a una LUN.
 - Target (servidor) ejecuta y responde a las peticiones mediante 3 servicios de protocolo:
 - Send Data-In (Identificación de Tarea, Server Buffer, Client Buffer Offset, Byte Count). Se utiliza en comandos que envían datos al Initiator (Tipo Lectura).
 - Receive Data-Out (Identificación de Tarea, Client Buffer Offset, Byte Count, Server Buffer). Se utiliza para comandos que reciben datos desde el Init (Tipo Escritura).
 - Send Command Complete (Identificador de tarea, [Server Buffer], [Sense Data], Status, Service Response). Se utiliza para indicar la finalización del comando:
 - Status: Command Complete, Linked Command Complete, Linked Command Complete (with flag)
 - Service Response: Service Delivery Failure, Target Failure...
 - **Niveles SCSI3**
 - Alto nivel, o de Aplicación, independiente del interfaz. A nivel Software se correspondería con el Manejador de Dispositivo:
 - Arquitectura (SAM)
 - Juegos de Comandos
 - SPC (SCSI Primary Commands)
 - SBC (SCSI Block Commands)
 - SCC (SCSI Controller Commands)
 - SSC (SCSI Stream Commands)
 - SGC (SCSI Graphic Commands)
 - SMC (SCSI Media Changer Commands)
 - SMMC (SCSI Multimedia Commands)
 - SES (SCSI Enclosure Services)
 - Common Access Method (CAM-2). Interfaz con el nivel medio, independiente del interfaz concreto. A nivel Software se correspondería con una capa de programación independiente del hardware (CAM, ASPI, etc...)
 - Medio y Bajo nivel, que conforman el Subsistema de Entrega de Servicios. A nivel Software se corresponderían con los Manejadores de Puerto, dependientes tanto del Hardware como del Interfaz concreto.
 - Medio nivel o de Servicios de Protocolo: Indican cómo se empaqueta y se transmite la información sobre el nivel físico.

- Bajo nivel o de Servicios de Interfaz Físico (LLP o Lower-Level Protocol). Especificaciones físicas de cada LLP.
- SCSI-3 soporta las siguientes protocolos de Medio y Bajo nivel:
 - SIP (SCSI Interlocked Protocol), sobre LLP SPI (SCSI Parallel Interface)
 - SCSI-FCP (Fibre Channel Protocol for SCSI), sobre LLP FC-PH (Fibre Channel Physical)
 - SCSI-GPP (SCSI Generic Packetized Protocol), sobre cualquier LLP con interfaz de paquete
 - SBP (Serial Bus Protocol), sobre LLP IEEE-1394
 - SSA-TL (Serial Storage Architecture-Transport Layer), sobre LLP SSA-PHY
- **SCSI-FCP**
 - Los distintos Protocolos de Servicio (comando, data-in, data-out, estado) se mapean en Information Units (IU), en las que el parámetro Information Category Value identifica cada Protocolo.
 - Las Tareas SCSI (comando o grupo de comandos linkados) se mapean en Exchanges, en las que el parámetro OX_ID (Exchange Originator_ID) identifica la tarea y equivale al Queue Tag (nexo Q).
 - Las funciones Restore Pointer/Modify Data Pointer para accesos aleatorios al buffer se manejan a través del parámetro Relative Offset (se transfiere en la IU FCP_XFER_RDY o en la cabecera de la Frame).
 - Clases de Servicio:
 - Clase-1 y Clase-2: Soportadas en todas las topologías
 - Clase-3: Soportada en FC-AL Privados, o en Fabric que garanticen la entrega de Frames en orden.
 - Clase-4: No existía cuando se desarrolló FCP, aunque debe soportarse debido a la similitud con Clase-1.
 - Information Sets que se transfieren entre Initiator y Target:

Todos los objetos de protocolo SCSI asociados con el correspondiente Servicio de Protocolo SCSI-3 se asocian en Information Sets, y se transportan por medio de una Exchange (cada Exchange se compone por lo tanto de una tarea SCSI, compuesta de un comando o grupo de comandos linkados). Cada Information Set lleva asociado un valor único de Information Category que se transmite en la cabecera de cada Frame (campo R_CTL), con lo que el receptor determina el tipo de Information Set incluido en cada trama. Los distintos Information Sets definidos son:

 - FCP_CMND (Command Information Set): Se corresponde con el servicio Send SCSI Command y se le asocia el Information Category Value 6 (unsolicited command). Se compone de 8 words (32 bytes):
 - FCP_LUN (2 words): LUN Expandida de 8 bytes introducido en SCSI-3, para soporte de direccionamiento jerarquizado en Storage Controllers Devices.
 - FCP_CNTL (1 word): Atributos y funciones de manejo de la tarea y de la operación.
 - FCP_CDB (4 words): CDB SCSI (sea de 6, 10, 12 ó 16 bytes).
 - FCP_DL (1 word): Número de bytes que se esperan transferir en este comando
 - FCP_XFER_RDY (Transfer Ready Information Set): Transporta los objetos Offset y Byte Count de los servicios Send Data-In y Receive Data-Out de la siguiente Sequence, y se le asocia el Information Category Value 5 (data descriptor). Se compone de 3 words:
 - DATA_RO (1 word): Offset del primer byte de la siguiente Information Unit FCP_DATA.
 - BURST_LEN (1 word): Longitud exacta de bytes que se transferirán en la siguiente Information Unit FCP_DATA.
 - Reserved (1 word)
 - FCP_DATA (Data Information Set): Transporta el objeto DATO de los servicios Send Data-In y Receive Data-Out. Se le asigna el Information Category Value 1 (solicited data). Los datos se pueden enviar en un FCP_DATA o en varios (una o más Frames).
 - FCP_RSP (Response Information Set): Se corresponde con el servicio Send Command Complete y se le asigna el Information Category Value 7 (command response). Normalmente es la última Sequence del Exchange, salvo en el caso de comandos linkados. La longitud es variable y normalmente se transmite en una Frame, salvo que la información no quepa en una Frame (puede ser el caso si se transmite SCSI Autosense Data):
 - FCP_STATUS (1 word): Byte de estado SCSI y flags de campos válidos
 - FCP_RESID (1 word): Si el campo es válido, indica número de bytes no transferidos por defecto (menos que los indicados en FCP_DL) o por exceso (FCP_DL insuficiente).
 - FCP_SNS_LEN (1 word): Si el campo es válido, indica el número de bytes en el campo FCP_SNS_INFO.

- FCP_RSP_LEN (1 word): Si el campo es válido, indica el número de bytes en el campo FCP_RSP_INFO.
- FCP_RSP_INFO (0, 1 ó 2 words): Incluye el RSP_CODE (Response Code, 1 byte) de la función o errores a nivel de las Information Units de FC.
- FCP_SNS_INFO (variable): SCSI Sense data igual o menor a 255 bytes. El Informe Técnico PLDA (Private Loop Direct Attach) restringe la longitud a un máximo de 78 bytes, para que todo el FCP_RSP quepa en una Frame de 128 bytes.
- Information Units (IU):

Las distintas Information Sets se pueden combinar para dar lugar a distintas Information Units (IU) que transfieren FC-2 a lo largo del Exchange:

 - Init a Target:
 - T1 a T4: FCP_CMND, inicial o linkado, manteniendo o transfiriendo la SI (Sequence Initiative)
 - T6/T7: FCP_DATA (out), manteniendo o transfiriendo la SI
 - T8/T9: FCP_CMND + FCP_DATA (out), manteniendo o transfiriendo la SI
 - T10/T11: FCP_CMND (linkado) + FCP_DATA (out), manteniendo o transfiriendo la SI
 - Target a Init:
 - I1/I2: FCP_XFER_RDY para escritura (transfiere SI) o lectura (mantiene SI).
 - I3: FCP_DATA (in), manteniendo la SI.
 - I4/I5: FCP_RSP inicial o linkado, manteniendo la SI.
 - I6/I7: FCP_DATA (in) + FCP_RSP, inicial o linkado, manteniendo la SI.
- Nexio ITLQ:
 - Init y Target se identifican por medio de D_ID y S_ID en la cabecera de todas las Frames.
 - La tarea se identifica por medio del OX_ID. El OX_ID asignado por el Init a cada Exchange abierta con un determinado Target (nexo IT) debe ser único (no puede haber dos Exchanges abiertas sobre el mismo nexo IT con el mismo OX_ID). El Target puede asignar un RX_ID, que sería como un alias al nexo Initiator_ID-OX_ID.
 - El LUN se identifica en el FCP_CMND, y el Target lo enlaza al conjunto Initiator_ID-OX_ID, o al RX_ID si se ha asignado.

• FC-LE. FIBRE CHANNEL LINK ENCAPSULATION

• Networking. Modelos de Referencia OSI

Correspondencia entre el Modelo de Referencia OSI (Open Systems Interconnection) y FC:

FC en general se corresponde con los 3 niveles inferiores de OSI:

- El nivel Físico OSI (transmisión/recepción de bits entre nodos) se corresponde con FC-0 y parte de FC-1.
- El nivel de Enlace OSI (estructura del paquete o trama para transporte de información entre nodos) se corresponde aproximadamente con FC-2.
- El nivel de Red OSI (establece un camino para la entrega de paquetes de red y controla el flujo de paquetes a través de la red) se corresponde con FC-4 y el correspondiente ULP.
- El nivel de Transporte (entrega de forma fiable de la información originada en el nivel de Aplicación) se correspondería probablemente con el Manejador de Dispositivo y los procedimientos de recuperación de errores asociados.
- El nivel de Sesión (Establece y finaliza sesiones entre nodos) se corresponde con los servicios de Login de FC (PLOGI, FLOGI y PRLI).
- Los niveles superiores (Presentación y Aplicación) serían las aplicaciones que utilizan los servicios de Protocolo y de Transporte que ofrece FC (manejador de base de datos, aplicación de copia de seguridad, transferencia de ficheros, aplicación de E-mail, etc.).

Cada nivel OSI encapsula la información que viene del nivel superior, añadiéndole una cabecera antes de pasarla al nivel inferior. Correspondientemente cada nivel elimina su cabecera a los paquetes que vienen del nivel inferior antes de pasarlos al nivel superior. FC también sigue este modelo de encapsulado, donde la unidad básica de transferencia es la IU, que se transporta por medio de una Sequence de Frames.

- **TCP/IP**

- TCP (Transmission Control Protocol): Protocolo de Transporte, con confirmación de entrega y control de flujo. Proporciona un servicio de transporte de datos seguro y fiable.
- IP (Internet Protocol): Protocolo de Red independiente de la red (de los niveles Físico y de Enlace), para comunicaciones entre redes (internetworking) de distintos tipos. Los paquetes IP se encapsulan en paquetes de red por el nivel de Enlace correspondiente al tipo de red que tenga debajo. Inicialmente IP utiliza una dirección de 32 bits, aunque últimamente se ha adoptado una expansión a 128 bits para utilizar en la versión 6 (IPv6).

- **Estándares IEEE 802:**

Son un modelo para el encapsulado de distintos protocolos de red en distintos tipos de paquetes de red. Entre los Protocolos de Red distintos de IP más populares tenemos:

- NetBEUI, SPX/IPX, NetBIOS, DLC, etc.

Para ello se divide el nivel de Enlace en dos:

- Nivel lógico (logical data link data unit): IEEE 802.2 LLC (Logical Link Control)
 - Añade una cabecera LLC, que permite direccionar puertos software en los sistemas origen (SSAP, Source Service Access Port) y destino (DSAP, Destination Service Access Port)
 - Añade una cabecera SNAP (Sub-Network Access Protocol), para identificar el tipo de paquete IP encapsulado)
- Nivel de paquete de red (MAC, Media Access Control): donde se describen las estructuras de los paquetes y el comportamiento de la red correspondientes a una red específica. El estándar IEEE 802.1A define una dirección MAC de 48 bits que es común a todas las redes de la familia 802, de los cuales IEEE asigna los 24 bits altos a una determinada organización (OUI, Organization Unique Identifier), y dicha organización asigna los 24 bits bajos a cada uno de sus dispositivos, de forma que la dirección de 48 bits de un determinado dispositivo es única a nivel mundial (ULA, Universal LAN MAC Address). Entre los protocolos de nivel MAC más populares tenemos:
 - IEEE 802.3: CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect).
 - IEEE 802.4: Token Bus
 - IEEE 802.5: Token Ring
 - IEEE 802.6: FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

- **FC-LE**

FC-LE define cómo empaquetar información IEEE 802.2 LLC en IUs, que se transportarán por medio de una Sequence de Frames. Así FC-2 actúa como un nivel MAC que transporta la información LLC:

- La única IU definida se corresponde con la información LLC, precedida por las cabeceras LLC/SNAP.
 - La Information Category utilizada es 4 (unsolicited data)
 - El NAA (Name Assignment Authority) utilizado es 1 (IEEE 802.1A 48 bits Universal LAN MAC Address (ULA)).
 - En la primera Frame de la Sequence, se añade el Network Header al principio de la zona de datos (payload), y contiene las direcciones de red (MAC) origen y destino. Con esta información un bridge (gateway) entre las redes FC y no-FC puede reempaquetar los paquetes entrantes para enviarlos hacia la otra red:
 - Si la Frame va de N_Port a un bridge, la Frame Header lleva las direcciones FC (S_ID, D_ID) del N_Port y del bridge, y en el Network Header lleva la dirección destino (MAC) y la dirección origen (Port_Name).
 - Si la Frame va de un bridge a un N_Port, la Frame Header lleva de nuevo las direcciones FC (S_ID, D_ID) del bridge y del N_Port, y en el Network Header lleva la dirección origen (MAC) y la dirección destino (Port_Name).
 - Si la Frame va de N_Port a N_Port en el mismo dominio FC, las direcciones origen y destino son las direcciones FC (D_ID, S_ID en la Frame Header, y no existe Network Header).
 - Los N_Ports que deban comunicarse con nodos externos al dominio FC, deberán usualmente utilizar un Port_Name Formato 1, en el que los 48 bits bajos de los 64 es la dirección IEEE (MAC).

- A continuación del Network Header se sitúan las cabeceras LLC y SNAP, y a continuación el paquete IP.
- La longitud del paquete 802.2 LCC se limita a 65,280 bytes, para asegurar que el paquete cabe en un buffer de 64 Kbytes.
 - Otros protocolos de transporte limitan el tamaño del Protocol Data Unit (PDU) al tamaño del paquete de red, o deben fragmentar por SW antes de pasar al nivel inferior. En cambio, FC puede permitir PDUs mucho más grandes que la Frame porque será FC-2 el que las fragmente en una Sequence de Frames (2 Kbytes máximo), pero lo hará a velocidad HW y será completamente transparente a los procesos de nivel superior.
- **Diferencias entre los servicios de nivel MAC IEEE 802.X y FC-2**
- Para soportar conexiones full-duplex, en que pueden existir Sequences activas en ambos sentidos, hay que utilizar 2 Exchanges (ya que sólo puede existir una Sequence activa por Exchange, por lo que ésta es inherentemente half-duplex), en las que nunca se transfiere la SI. De esta manera el Exchange se convierte en una conexión lógica unidireccional.
- Para soportar protocolos que precisan la entrega de paquetes en orden y aquellos que pueden tolerar una eventual entrega desordenada, se utilizan dos valores para indicar el Tipo de Sequence.

FC-AL: FIBRE CHANNEL ARBITRATED LOOP

- **CARACTERISTICAS**

Soporta todos los ULPs actualmente mapeados: SCSI-3, TCP/IP, SBICON, etc.

Soporta todas las velocidades de enlace (aunque no se puedan mezclar) y todos los tipos de media (que sí se pueden mezclar).

Soporta las Clases de Servicio 1, 2 y 3:

- En Clase-1, hay que establecer primero el circuito en el Loop y después la conexión Clase-1. Al finalizar hay que cerrar primero la conexión Clase-1 y después el circuito en el Loop. Está sujeto a EE_Credit.
- En Clase-2, sólo se pueden enviar Frames a distintos Ports si el circuito está establecido con el FL_Port. Las respuestas pueden suceder durante el mismo circuito o en otro(s) distinto(s). Se usa típicamente por dispositivos que comunican con el Fabric (servidores, estaciones, controladores RAID, etc.) Está sujeto a Alternate_BB_Credit y a EE_Credit.
- En Clase-3, se aplica lo dicho para Clase-2 solo que no existen respuestas. Se usa típicamente por discos duros. Está sujeto a Alternate_BB_Credit (excepto en modo Replicate).
- En Clases 2 y 3 con circuitos establecidos con el FL_Port (dispositivos Públicos), los NL_Ports deben soportar la posible recepción de Frames desordenadas.

- **Nodos**

- Soporta hasta 126 Participating NL_Ports y 1 Participating FL_Port. Puede haber más, pero sólo 127 conseguirán una dirección (AL_PA) y podrán realizar operaciones en el Loop. El resto de Ports son Non-Participating.
- La dirección de L_Port (AL_PA) es de 8 bits. De las 256 posibles combinaciones, 134 son neutral-disparity y 122 son no-neutral-disparity. El protocolo FC obliga a mantener una RD (Running Disparity) negativa entre Frames (EOF a SOF), lo que obliga a utilizar AL_PAs bien neutras o bien no-neutras para garantizar la RD resultante ante cualquier combinación de dos de ellas. FC-AL utiliza las 134 AL_PAs neutras y reserva o asigna un uso especial a algunas, dejando 127 AL_PAs disponibles para L_Ports.
- La dirección AL_PA 0 está reservada para el FL_Port (si hay Fabric presente) o para un F/NL_Port. Los NL_Ports pueden usar las restantes 126 AL_PA.
- Los Ports Non-Participating actúan como simples repetidores (esto permite por ejemplo conectar dispositivos para hot swap automático en caso de caídas).
- Los NL_Ports descubren el tipo de topología durante la inicialización del Loop:
 - Si descubren un FC-AL, el método BB_Credit se complementa con el Alternate_BB_Credit, en el que el Crédito se establece además dinámicamente entre dos Ports durante el establecimiento de cada circuito. El BB_Credit se sigue intercambiando durante el PLOGI, pero no es obligatorio que los Ports lo recuerden posteriormente:

- Si en el PLOGI un Port le concede un $BB_Credit > 0$ a otro Port y éste lo recuerda, dicho otro Port podrá empezar a transmitir Frames inmediatamente después de establecer el circuito con este Port, sin tener que esperar al $Alternate_BB_Credit$ (que tardará un tiempo equivalente a una vuelta por el Loop).
- Todos los Ports deben funcionar a la misma velocidad de enlace, ya que no se usan búferes para la retransmisión de tramas. (la retransmisión se realiza a nivel de word):
 - La retransmisión puede utilizar el mismo reloj recuperado a partir de la información recibida (retransmisión síncrona)
 - La retransmisión puede utilizar un reloj propio del N_Port (retransmisión asíncrona)
 - Para permitir diferencias de velocidad en el caso de retransmisión asíncrona debido a tolerancias en el reloj, se soporta la función Clock Elasticity, que permite incluir o eliminar Fill Words (palabras de relleno entre Frames que no transportan información FC-2). En caso peor, las tolerancias de reloj ($\pm 0.01\%$) ocasionarían un desfase de una word cada 5,000 (aproximadamente cada 9 Frames de máximo tamaño).
- Todos los L_Ports implementan un Loop Port State Machine (LPSM) en HW, situado funcionalmente entre los niveles FC-1 y FC-2, que controla las operaciones de los protocolos específicos del Loop:
 - Mientras no existe un circuito establecido, el LPSM actúa como un repetidor (excepto la sustitución de ciertos Fill Words según los protocolos específicos del Loop), a la vez que examina las Words FC-1 para determinar si se debe establecer un circuito. Se puede decir que tras examinar cada Word recibida, el LPSM toma la decisión de si la retransmite o la sustituye.
 - Cuando se establece un circuito, el LPSM conecta lógicamente el nivel FC-1 con el nivel FC-2, permitiendo que el L_Port puede enviar y recibir Frames. El LPSM pasa hacia el FC-2 todas las Non-fill Words, mientras que puede procesar directamente algunas Fill Words concretas.
 - El protocolo FC-AL lo realiza el LPSM y conceptualmente es similar al del bus paralelo SCSI:
 - Inicialización (SCAM en SCSI)
 - Arbitración (como en SCSI)
 - Open Loop Circuit (Selección/Reselección)
 - Transferencias de datos
 - Close Loop Circuit (Desconexión)
 - Opcionalmente el Port que ganó la arbitración puede Open otro Loop Circuit (Transfer Protocol)/Close Loop Circuit (no equivalente en SCSI)
 - Loop Relinquished (Bus Free)

- **Hubs**

El uso de Hubs conlleva varias ventajas:

- El cableado físico es un estrella, con cada Port conectado en Punto-a-Punto con un canal del Hub (no hace falta cablear las fibras de transmisión y recepción independientemente).
- Cada Port puede estar separado del Hub hasta la máxima distancia que permita el tipo de enlace
- Típicamente los Hubs dispondrán de canales eléctricos y ópticos, por lo que son candidatos perfectos para efectuar los cambios de media.
- Los Hubs contienen un Port Bypass Circuit (PBC) en cada canal y detectan la presencia o ausencia de un Port operacional, controlando automáticamente el PBC y manteniendo el Loop operativo. Los PBC son necesarios si se quiere que la caída o mantenimiento de un N_Port no deje el Loop inoperativo, y pueden También implementarse en entornos distintos a los Hubs (Enclosures, RAIDs, JBODs, etc.).
- Los Smart Hubs pueden conectar un Loop a cada canal, siempre que el número total de Ports en todos los Loops no supere los 127. De esa manera el tráfico entre Ports de un mismo Loop no interfiere con el tráfico en los demás Loops, y se pueden mantener varias transmisiones en paralelo (una interna por cada Loop o una por cada pareja distinta de Loops).

- **Establecimiento del circuito**

El circuito se puede establecer en dos modos:

- Punto a Punto. Características similares a Clase-1. Puede establecerse en full-duplex o en half-duplex. Dispone de todo el ancho de banda. Garantiza la entrega de Frames en orden. El circuito no tiene que

corresponderse con Sequences o Exchanges. Pueden ser necesarios varios circuitos para una Sequence, o transmitir varias Sequences en el mismo circuito.

- En ambos casos, la función DHD (Dynamic Half Duplex) puede enviarse para indicar al otro Port que no hay más datos para transmitir:
 - En half duplex se utiliza para pasar el control de transmisión al otro Port
 - En full duplex se utiliza a la hora de cerrar el circuito
- Replicate. Características similares a Broadcast (Broadcast Replicate) y Multicast (Selective Replicate). El Port destino además de enviar las Frames a su FC-2, también retransmite toda la información, lo que permite que otros FC-2 cuyos Ports estén abiertos en modo Replicate reciban la misma información (el FC-2 comprueba la dirección destino en la cabecera de la Frame. Para que todos los FC-2 sean receptores de la misma Frame, ésta debe ir dirigida a una dirección Alias reconocida por todos los Ports del grupo). Utiliza Clase-3 sin control de crédito (ni BB_Credit ni EE_Credit).

• INICIALIZACION DEL LOOP

La inicialización del Loop suspende la actividad en el Loop, selecciona un maestro temporal, asigna las direcciones (AL_PA) a los Ports, construye un mapa posicional e indica el final del proceso, con lo que se puede reanudar la actividad del Loop. La asignación de AL_PAs puede ser automática o puede fijarse una preferencia opcionalmente mediante puentes en los dispositivos o señales en los back-panels (Hard_ID):

- LISM: La inicialización del Loop requiere que un Port asuma temporalmente el control del Loop. Al menos un Port debe ser capaz de asumir esta función, que será el FL_Port si está presente, o el N_Port con Port_Name más bajo.
- La asignación de AL_PA se hace en 4 fases, que establecen una jerarquía de 4 niveles que permite una prioridad en la asignación. En cada fase el maestro transmite una Frame que contiene un mapa de bits (4 words) correspondientes a los 127 posibles AL_PAs, y cada Port puede reclamar un AL_PA poniendo a uno un bit que todavía esté a cero antes de retransmitir la Frame:
 - LIFA (Fabric Address): En esta primera fase, el maestro inicializa a cero todo el mapa de bits (todos los AL_PAs disponibles), salvo, si procede, el bit de su propio AL_PA. Sólo los Ports Públicos que tuvieran anteriormente una dirección asignada por el Fabric, pueden reclamar el mismo AL_PA que tenían antes. Si el AL_PA ya estuviera ocupado, el Port debe esperar a la fase LISA.
 - LIPA (Previous Address): En esta fase pueden reclamar una dirección todos los Ports privados (o públicos en un Loop privado) operacionales que tuvieran un AL_PA asignado anteriormente. Si el AL_PA ya estuviera ocupado, el Port debe esperar a la fase LISA.
 - LIHA (Hard Address): En esta fase pueden reclamar un AL_PA los Ports que no dispusieran de AL_PA anteriormente (apagados, non-participating, etc.) y que dispongan de un medio HW de asignación de dirección preferente. Si el AL_PA ya estuviera ocupado, el Port debe esperar a la fase LISA.
 - Los medios HW fijan un Loop ID entre 00 y 7Fh (128 en total). El Loop ID 7Fh no se puede utilizar, el 7Eh indica como preferente el AL_PA 0 (max prioridad) y el 00h indica como preferente el AL_PA más alto (mínima prioridad).
 - LISA (Soft Address): En esta fase, todos los Ports que no hayan adquirido todavía un AL_PA pueden reclamar la primera dirección disponible (habitualmente en orden de prioridad descendente). Si no quedan AL_PAs disponibles, el Port queda como Non-participating.
- El mapa posicional se ejecuta sólo si todos los Ports lo soportan (se usa una Frame de 134 bytes de payload). Durante el LISA los Ports indican si soportan o no el proceso, que se compone de dos pasos:
 - LIRP (Report Position): El maestro recaba la información posicional relativa a él mismo, de todos los Ports con AL_PA asignado. Prepara una Frame con un mapa de AL_PAs todas a FFh, excepto la primera en que escribe su propio AL_PA. Todos los Ports van añadiendo su AL_PA en la siguiente posición del mapa.
 - LILP (Loop Position): El maestro retransmite el mapa completo para que los Ports interesados puedan conocerlo.

• Loops Públicos y Privados

El Loop puede ser Público (existe conexión a Fabric por medio de un FL_Port) o Privado.

- Los dispositivos de un Loop Público pueden ser a su vez Públicos (han hecho FLOGI y se les asignan los 16 bits altos de la dirección) o Privados (16 bits altos de la dirección = 0).
- Los dispositivos Públicos pueden enviar y recibir Frames a/de distintos Ports durante el mismo circuito con el FL_Port, y pueden recibir Frames desordenadas.

- Si el Loop no está conectado a un Fabric, opcionalmente un NL_Port puede proveer ciertos servicios FC (Name Server, Time Server, Security Server, etc.). Los NL_Ports con dicha capacidad se denominan F/NL_Port, y emulan el funcionamiento de un F_Port como si el Loop estuviera conectado a un Fabric.

- **ARBITRACION**

La prioridad máxima en la arbitración la tiene el AL_PA 0, decreciendo para valores ascendentes de AL_PA. Para evitar que Ports de alta prioridad impidan durante espacios prolongados de tiempo el acceso al Loop de Ports menos prioritarios, existe el protocolo Access Fairness:

- Crea ventanas durante las cuales cada Port que haya ganado una arbitración no puede volver a arbitrar otra vez hasta que finalice la ventana actual (no haya Ports arbitrando):
 - El ganador actual lo sabe en función de que reciba o no de vuelta su CFW (Current Fill Word) ARB(F0).
 - Si recibe de vuelta su CFW ARB(F0), la sustituye por IDLEs, y el resto de Ports saben que ha terminado la ventana actual. En tanto los Ports no reciban ningún IDLE, saben que la ventana no ha terminado todavía.
- Este protocolo es opcional, y los Ports se denominan Fair o Unfair según lo soporten o no. El comportamiento puede ser fijo o dinámico (típicamente el FL_Port puede ser Unfair, así como el/los NL_Ports Initiators, debido a consideraciones sobre prestaciones del sistema).

La secuencia de AL_PAs en la dirección en que circula la información debería ser en orden creciente (prioridad decreciente), para minimizar el tiempo empleado en que el próximo Port gane la arbitración.

- **Single Arbitration Operation**

Un Loop con un maestro claro (SCSI Init y un conjunto de discos) puede funcionar haciendo que el Init nunca deje el control del Loop tras haber ganado una vez la arbitración:

- Entonces puede ir abriendo circuitos con todos los Targets mediante Transfers (hacer polling), o
- Puede analizar la llegada de los ARB(x) indicativos de que un Target está arbitrando, y establecer el circuito en ese momento mediante Transfer.
 - Actualmente (en FC-AL2) este sistema no es compatible con el Access Fairness, por lo que Targets con mucho tráfico y alta prioridad pueden bloquear las transferencias con otros.

- **Loop Tenancy**

Cada una de las veces que cualquier Port ocupa el Loop al ganar la arbitración y dura hasta que el Loop vuelve a quedar disponible:

- Habitualmente, cada circuito ocupa un Loop Tenancy, salvo que se haga uso de Transfers, ya que permite establecer varios circuitos en el mismo Loop Tenancy.
- En half-duplex (salvo que se haga uso de DHD), cada fase de una tarea SCSI-FCP Write Type necesita establecer un mínimo de 4 circuitos distintos (Loop Tenancies), ya que no se puede invertir la dirección de las Frames durante el mismo circuito.
 - Si el Target divide la transferencia de datos en varios bursts, se necesitan Loop Tenancies adicionales para las correspondientes Frames FCP_XFER_RDY y FCP_DATA de cada burst (similar a los procesos de desconexión y reconexión en SCSI paralelo).
- En full-duplex, (o en half-duplex con DHD), una escritura con Wcache habilitada o una lectura con Rcache hit podría realizarse en un único Loop Tenancy.
- Para implementar cola de comandos, hay que soportar múltiples Exchanges concurrentes, lo que puede producir la recepción de Frames de distintas Exchanges en el mismo Loop Tenancy, incluso en half-duplex (ej. el Init envía varios FCP_CMND al mismo Target).

- **PRESTACIONES DEL LOOP**

- Loop round trip
 - Número de Ports
 - Retardo por Port: máximo 6 words = 225.882 ns a 1Gbps
 - Retardo entre Ports: sobre 4 ns/m de cable y 5 ns/m de fibra óptica
- Ganar la arbitración después que quede disponible el Loop:

- Una estimación media sería (Loop round trip / N° de Ports) a partir de que el Port inmediatamente más prioritario cierre el circuito actual. , en el caso de AL_PAs ordenados según orden ascendente y Ports equidistantes.
 - (Loop round trip) si el Loop está disponible antes de que el Port inicie la arbitración
 - $ARB\ time = Average\ Tenancy\ time \times (Loop\ Utilization / (1 - Loop\ Utilization))$
 - $Service\ Rate = (1 / Average\ Loop\ Tenancy\ time)\ tenancies/segundo$
 - $Request\ Rate = F(N^\circ\ de\ Ports, Access\ Fairness, ULPs)$
 - $Loop\ Utilization = Request\ Rate / Service\ rate$
 - Duración de cada Loop Tenancy
 - Loop round trip
 - BB_Credit. Incluyendo Arbitración + OPN + R_RDY + Frames + CLS:
 - $> = 3 \times Loop\ round\ trip$, si $BB_Credit = 0$
 - $> = 2 \times Loop\ round\ trip$, si $BB_Credit > 0$
 - Cantidad de datos por Loop Tenancy
 - Tamaño de la Frame en cada fase
 - Número de Loop Tenancies para completar la operación
 - Número de IUs por cada Loop Tenancy
 - Full-duplex o half-duplex
 - Número de operaciones concurrentes
 - Uso de Transfers
- **SISTEMAS DE ALTA DISPONIBILIDAD**
- Single Loop = Punto Simple de Fallo
 - Port Bypass Circuit (PBC)
 - En Backplane
 - En Hub
 - Controlado por el dispositivo, por lógica externa, por las primitivas LPE/LPB y automáticamente (caso de sacar o apagar el dispositivo).
 - Distintas F.A. para alimentar los PBC de cada Loop
 - Puede necesitarse un repetidor tras un número predeterminado de PBCs, para resincronizar la señal.
 - Dual Loop / Dual Port
 - Full Dual Port (2 controladoras en el host, o dos canales independientes en los dispositivos). Esta solución además duplica en potencia la velocidad a la que el nodo puede enviar/recibir Frames.
 - Dual Port con FC-2 compartido. Provee sólo dos caminos redundantes, aunque nunca concurrentes.
 - Switched Single Loop Port. Dos transmisores con un receptor común conmutado, conectados a un único FC-0. En la Inicialización, el Nodo se conecta a uno de los Loops.
 - Redundant Hub

PRIVATE LOOP DIRECT ATTACH (PLDA)

- Documento "Profile" (básicamente definen un subconjuntos de funciones o comportamientos identificados como opcionales en los estándares que deben y no deben implementarse, para asegurar la interoperabilidad entre sistemas).
- Describe un entorno en el que diferentes sistemas pueden interoperar aunque no implementen otras funcionalidades o comportamientos obligados por los estándares. Permite diseñar dispositivos particularizados para funcionar en el entorno concreto, aunque pueden por lo tanto no funcionar correctamente en un entorno distinto:
 - Comportamiento de dispositivos conectados en un Loop Privado
 - Comunicaciones con dispositivos Privados en un Loop Público
- Define un subconjunto simplificado de características operativas tomadas de los estándares FC-PH, FC-AL y SCSI FCP, para promover la interoperabilidad entre distintos fabricantes y simplificar al máximo el diseño de los dispositivos. Describe qué funciones son obligatorias y qué funciones pueden no implementarse para interoperar

con otros dispositivos PLDA, aunque si el dispositivo debe además funcionar fuera de este entorno, debe implementar además todas las funciones obligatorias de los correspondientes estándares:

- **FC-PH**
 - Requiere Clase-3. Prohíbe el uso de Clase-1 y Clase-2
 - Asegura la recepción de Frames en orden dentro de una Sequence, y asume que son procesadas en dicho orden
 - No requiere FLOGI
 - Permite otorgar BB_Credit igual o mayor de 0.
 - Requiere Continuously Increasing Relative Offset a nivel de Sequences FCP_DATA individuales. Para transmitir datos desordenados es obligatorio utilizar diferentes Sequences. Permite detectar fácilmente errores de Frames y Sequences, interesante ya que la Clase-3 no ofrece confirmación de entrega.
 - Prohíbe el uso de Random Relative Offset
 - Requiere Frames de 256 bytes como mínimo
 - Requiere un Node_Name más un Port_Name por cada puerto, que deben utilizar un formato registrado (IEEE o FCLC) para asegurar su unicidad
 - Prohíbe el uso de todos los Basic Link Services excepto Abort Sequence (ABTS), sólo utilizable por el Init.
 - Define un subconjunto reducido de Extended Link Services
 - Manejo de Exchanges y Sequences
 - El Init es el único generador de Exchanges SCSI FCP. El Target sólo puede generar Exchanges relacionadas con los Extended Link Services LOGO y PRLO
 - El Target puede asignar o no un RX_ID. Si lo asigna debe ser único entre el Target y el Init
 - El Target debe asociar el OX_ID con la dirección del Init (nexo ITQ para soporte de sistemas Multi-Init)

- **FC-AL**
 - No requiere el estado OLD-PORT (conexión punto-a-punto en caso de no detectar un Loop)
 - No requiere full-duplex ni DHD
 - No requiere generar LISM en los Targets, aunque deben retransmitir las Frames para la correcta inicialización del Loop
 - No requiere Selective Reset LIP
 - Dependiendo de la aplicación, permite obviar la inicialización del Loop, siempre que todos los Ports tengan asignadas direcciones Hard y asuman por defecto el AL_PA correspondiente
 - Prohíbe el uso de Broadcast y Selective Open Replicate
 - Requiere el uso de Alternate_BB_Credit
 - Permite Transfers y Unfairness
 - El Init es el único que puede generar las primitivas LPE/LPB, aunque no requiere que los Targets las soporten

- **SCSIFCP**
 - Se prohíbe el uso de la mayoría de las características más avanzadas
 - El Init sólo puede usar las IUs T1 (FCP_CMND) y T6 (FCP_DATA out)
 - El Target sólo puede usar las IUs I1 (FCP_XFER_RDY, aunque sólo en escritura), I3 (FCP_DATA in) e I4 (FCP_RSP)
 - El Target puede dividir la transferencia de escritura en burst mediante varios FCP_XFER_RDY, pero el Init debe enviar todos los datos solicitados en un burst mediante una (multi frame) single-sequence FCP_DATA out.
 - El Target puede dividir la transferencia de lectura en burst mediante varias (multi frame) single sequences FCP_DATA in
 - El propio protocolo SCSI permite deducir la correcta entrega de la mayoría de las Sequences, excepto:
 - FCP_DATA in (el Target no puede deducir si el Init ha recibido todos los datos, ya que el Init no genera más Sequences)
 - FCP_RSP (idem)
 - En estos casos el error se detecta a otro nivel (ULP, Frame error..)

- **FUNCIONES PLDA**

Mecanismos específicos de recuperación de errores y de timeout:

- **SCSI Target Discovery:** El Init puede confirmar la configuración del Loop, siempre que detecte una posibilidad de que haya cambiado. Diseñado para evitar la terminación anormal de todas las Exchanges abiertas en el momento de añadir o encender un nuevo dispositivo en el Loop.
- **Changing Login Parameters.** Antes de que un N_Port vaya a efectuar un cambio en sus parámetros de Login, debe hacer LOGO con todos los Port con los que mantiene sesión.
- **Exchange Authentication Following LIP.** Tras una inicialización del Loop, el (los) Init(s) debe(n) establecer la autenticidad de cada Target (N_Port_ID:Port_Name:Node_Name) con los que mantiene abierta una sesión (ADISC, PDISC, PLOGI), y no puede(n) reanudar tareas abiertas con un Target en tanto no se establezca su "autenticidad". Los Targets deben esperar (suspenden la ejecución de tareas) la recepción de estas Exchanges por parte de cada Init (N_Port_ID:Port_Name:Node_Name) con los que mantiene tareas abiertas, y si no recibe ADISC o PDISC dentro de un timeout tras la inicialización del Loop, pueden abortar todas las Exchanges abiertas con ese Init y hacer LOGO implícitamente..
- **Timers:** Se definen nuevos timers y valores consistentes con entornos Private Loop formados por discos y cintas.
- **Reset Effects:** Especifica qué objetos se inicializan en el Target tras cada posible acción de inicialización por parte del Init (encendido, LIP, LOGO, PLOGI, ABTS, PRLI, PRLO, TPRLO, Target Reset, Clear Task Set, Abort Task Set).
- **Detección y Corrección de Errores:** Especifica los mecanismos de corrección de errores que Inits y Targets deben implementar ante la detección de errores.
- **Compliance con otros estándares:** Si en un diseño PLDA se omiten funciones obligatorias en FC-PH o FC-AL, el dispositivo puede provocar problemas de interoperabilidad fuera del entorno estricto PLDA.
- **Manejo de Loop Tenancy:** PLDA no define nada respecto al uso de las Loop Tenancies. Cualquier combinación es en principio correcta, incluso la de multiplexar Frames de distintas Exchanges en la misma Tenancy, donde además cada Tenancy es un Loop Circuit o más en función del uso de las Transfers. Puede provocar algunas ambigüedades.:
 - Por defecto, el Open Originator envía CLS después de haber enviado todas sus Frames. Si el Recipient recibe CLS y agota su BB_Credit está obligado a cerrar el circuito (CLS) y abrir uno nuevo para transmitir el resto de las Frames.