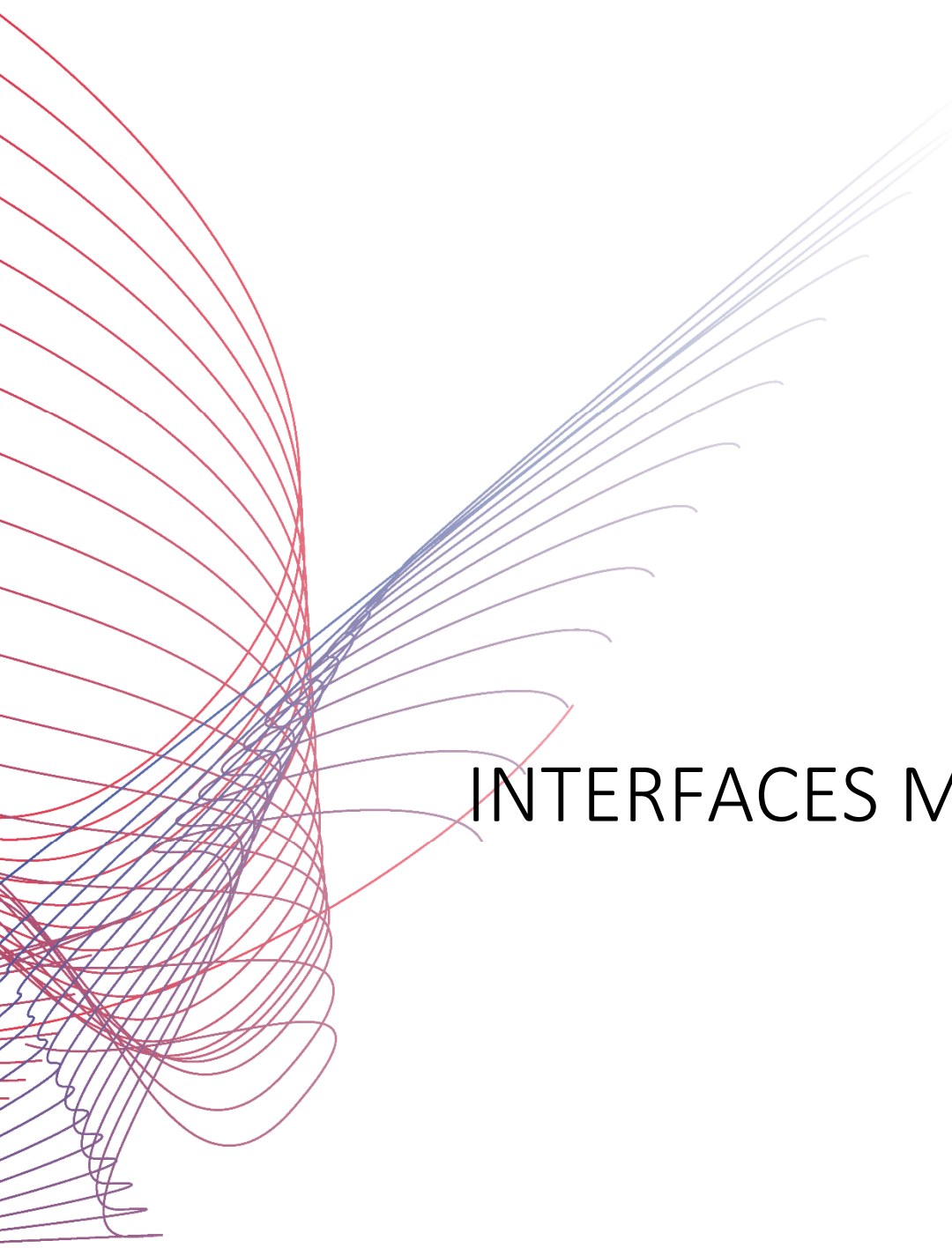




TECH
pedia



INTERFACES MODERNAS
DE DATOS

IVAN PRAVDA

Título: Interfaces modernas de datos
Autor: Ivan Pravda
Traducido por: Jorge Salazar
Publicado por: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Dirección de contacto: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Número de teléfono: +420 224352084
Print: (only electronic form)
Número de páginas: 37
Edición: Primera edición, 2017

ISBN 978-80-01-06269-2

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.

Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

NOTAS EXPLICATIVAS



Definición



Interesante



Nota



Ejemplo



Resumen



Ventajas



Desventajas

ANOTACIÓN

La nueva versión de USB (USB 3.0), cuyos estándares fueron emitidos en noviembre de 2008, ha recibido algunas mejoras significativas respecto la versión anterior (USB 2.0). Las principales ventajas de la nueva interfaz son una alta velocidad de hasta 5 Gbit/s, la gestión avanzada de la energía del bus y la compatibilidad con versiones anteriores de USB. La tecnología Thunderbolt es en estos días otro interfaz muy competitivo que combina las características de la interfaz PCI-Express y del DisplayPort. Hay disponible una comparación interesante con la interfaz USB 3.0.

OBJETIVOS

Los estudiantes aprenderán los principios y características básicas de las interfaces USB 3.0 y Thunderbolt. Se aprenderán los modos de funcionamiento de la interfaz mediante la descripción de los diversos modelos de capa. El objetivo principal se centra en la capa de protocolo. El módulo también describe mediante comparación las diferencias existentes con las versiones anteriores de interfaces y su compatibilidad.

LITERATURA

- [1] HP, Intel, Microsoft, NEC, ST-Ericsson, Texas Instruments. *Universal Serial Bus 3.0 Specification* [online]. 2011, 2011-01-05 [cit. 2012-01-06]. Access from <http://www.usb.org/>. 531 pages.
- [2] INTEL CORPORATION. Thunderbolt Technology [online]. Intel corp., 2011. [2013-01-16]. Access from http://download.intel.com/newsroom/kits/research/2011/pdfs/IntelThunderbolt_Overview.pdf
- [3] Martínek, T.: Architektura sběrnic PCI, PCI-X a PCI Express. [online]. [2013-04-03]. Access from <http://www.europen.cz/Proceedings/35/pci.pdf>
- [4] Thunderbolt Technology Community [online]. Intel corp. (2013) [2013-01-27] Access from <https://thunderbolttechnology.net/>

Indice

1	Visión general de las interfaces de datos de alta velocidad	6
2	Interfaz USB 3.0 SuperSpeed.....	8
2.1	Introducción.....	8
2.2	Características básicas del USB 3.0	10
2.3	La arquitectura del USB 3.0	12
2.4	Modelos de transferencia de datos	15
2.5	Transmisión de datos en ráfaga	16
2.6	Paquetes de la interfaz USB SuperSpeed	18
2.7	Tipo de transmisiones de datos	19
2.8	Conectores USB 3.0	21
2.9	Cables USB 3.0	23
2.10	Gestión de energía	25
2.11	Inventario de bus	27
2.12	Dispositivo terminal USB 3.0	28
2.13	Concentrador USB 3.0	29
2.14	La posibilidad de usar la interfaz USB 3.0.....	30
3	Interfaz Thunderbolt	31
3.1	Características de la interfaz.....	31
3.2	Arquitectura de la interfaz.....	33
3.3	Transmisión de datos.....	36

1 Visión general de las interfaces de datos de alta velocidad

Las interfaces de datos se pueden dividir en varias categorías según el medio físico por el que transmiten los datos entre el huésped (*host*) y el dispositivo conectado. Las categorías más utilizadas son

- interfaces metálicas (cable de cobre),
- interfaces ópticas (fibra óptica)
- interfaces inalámbricas (vía radio).

Cada uno de los tipos de interfaces antes mencionados tiene sus ventajas y desventajas, que limitan el método predominante de su utilización. En general, los principales parámetros para la selección del tipo de interfaz son el **coste** (ventaja de las interfaces metálicas), **velocidad** (ventaja de las interfaces ópticas) y **movilidad** (ventaja de las interfaces inalámbricas).

La interfaz **USB** (*Universal Serial Bus*) pertenece a las interfaces metálicas y es la más popular, principalmente debido a su bajo coste y alta velocidad alcanzable. Su principal competidor, la interfaz Firewire, nunca ha alcanzado una extensión tal, debido principalmente al precio más alto para una velocidad similar.

Hoy en día, el competidor más serio del USB 3.0 parece ser la interfaz Thunderbolt en la versión actual de cable de cobre que ofrece velocidades de transmisión más altas con menor *overhead* y capacidades de desarrollo mejoradas para el futuro (la versión de fibra óptica está en preparación). La interfaz Thunderbolt es esencialmente una variante de un PCI Express externo y ya se utiliza en varios productos de Apple (por ejemplo, para la conexión de monitores).

Las ventajas de Bluetooth consisten principalmente en la movilidad de los abonados conectados y en la velocidad de su aplicación. Dado que se trata de una interfaz inalámbrica, a menudo sólo se mencionan estas dos ventajas en comparación con las interfaces convencionales "fijas".

Comparación de parámetros seleccionados de las interfaces actuales

Nombre	Velocidad de transferencia	Distancia alcanzable	Tipo
USB 3.0	Hasta 5 Gbit/s	Cerca de 3 m	Metálica
USB 2.0	Hasta 480 Mbit/s	5 m	Metálica
Firewire 800	Hasta 3,2 Gbit/s	10 m	Metálica
Thunderbolt	Hasta 10 Gbit/s	3 m	Metálica/Óptica
Bluetooth 2.0	Hasta 3 Mbit/s	10 m (base)	Inalámbrica
HDMI 1.4	Hasta 10,2 Gbit/s video	Cerca de 10m	Metálica
Wi-Fi (802.11n)	Hasta 600 Mbit/s	Cientos de metros	Inalámbrica
PCI Express 3.0	Hasta 256 Gbit/s para 16×link	-	Metálica
eSATA	Hasta 3 Gbit/s	2 m	Metálica

2 Interfaz USB 3.0 SuperSpeed

2.1 Introducción



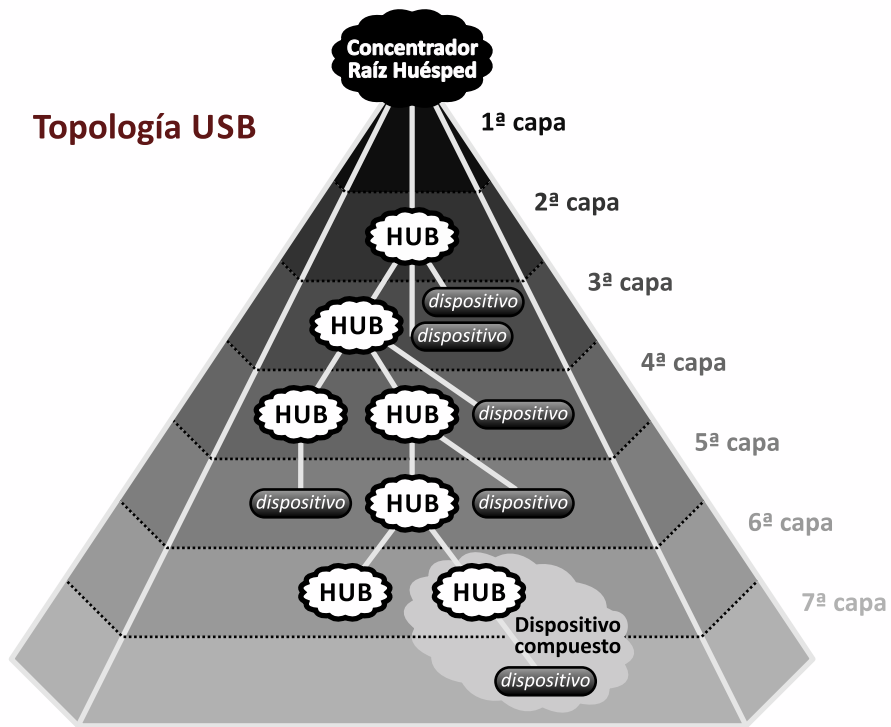
$E=mc^2$

La interfaz USB es un tipo de interfaz de bus serie. Sus principales beneficios incluyen, entre otros:

- Bajo precio
 - Velocidad de transferencia relativamente alta (depende de la especificación en particular)
 - Soporte completo para la transferencia en tiempo real de datos de audio y vídeo
 - Escalabilidad dinámica (soporte Plug&Play, sin necesidad de reiniciar ni de instalación de controladores)
 - Alimentación desde el propio bus (DC 5 V, consumo hasta 100 mA (máx. 500 mA)).
-



Todos los dispositivos conectados al bus USB comparten entre sí todo el ancho de banda. El bus USB está controlado por un dispositivo huésped (*host*), quien coordina la transmisión y recepción de datos, y la cooperación de los otros dispositivos USB. El camino entre el dispositivo huésped y cualquier otro dispositivo USB puede contener un máximo de cinco concentradores o *hubs*. La longitud máxima del cable entre dos dispositivos USB está limitada a 5 metros.



Topología clásica de un bus USB



Los dispositivos USB conectados al bus están claramente identificados por la dirección de USB que se asigna inmediatamente después de conectar el dispositivo USB a la interfaz. La interfaz USB soporta la conexión de hasta 127 dispositivos.

Velocidades de transmisión



- Superalta velocidad – velocidad de transmisión hasta 4,8 Gbit/s, especificación USB 3.0
- Alta velocidad – velocidad de transmisión hasta 480 Mbit/s, especificación USB 2.0
- Velocidad completa – velocidad de transmisión hasta 12 Mbit/s, especificación USB 1.1
- Baja velocidad – velocidad de transmisión hasta 1,5 Mbit/s, especificación USB 1.0

Tipos de dispositivos USB

- USB HUB – utilizado para expandir el bus USB
- Dispositivo terminal USB - dispositivos que utilizan la funcionalidad de la interfaz USB para la transferencia de datos y el intercambio de información.

2.2 Características básicas del USB 3.0

La nueva versión USB 3.0, denominada superalta velocidad (*SuperSpeed*), fue creada en noviembre de 2008. Sin embargo, su introducción en la práctica no llegó hasta casi tres años después. USB 3.0 sucede a USB 2.0 y comparte muchas de sus características con las versiones anteriores de la interfaz USB. Uno de los principales requisitos para el desarrollo fue la compatibilidad hacia atrás. ¿Entonces, cuáles son las ventajas de la nueva versión de USB con respecto a las anteriores?



- Velocidad de transmisión más alta - hasta 5 Gbit/s
- Plena compatibilidad con versiones anteriores (con la excepción de algunos conectores)
- Gestión avanzada de la energía
- 80% de incremento en el consumo potencial de energía a partir del bus
- Los paquetes se enrutan a través del bus (es decir, los datos se direccionan selectivamente hacia un dispositivo en particular atendiendo a su dirección)

Obviamente, la nueva versión de la interfaz USB no sólo tiene ventajas, sino que estas ventajas prevalecen sobre las desventajas. Las principales desventajas se pueden ver en:



- Aumento del número de hilos o líneas del cable (cable más grueso)
- Aumento de la susceptibilidad a las interferencias magnéticas **EMI** (*Electromagnetic Interference*), la cual está asociada al uso de más hilos o líneas en el cable y a su mayor velocidad de transmisión
- Algunos tipos de conectores restringen la compatibilidad con versiones previas

Cuando hablamos de la nueva versión del bus USB, cabe señalar que, en esencia, el USB 2.0 y el nuevo bus USB SuperSpeed son muy similares. Este hecho se describe más detalladamente a continuación.



La versión USB 3.0 amplía enormemente las posibilidades y las aplicaciones de las versiones anteriores de la interfaz USB.

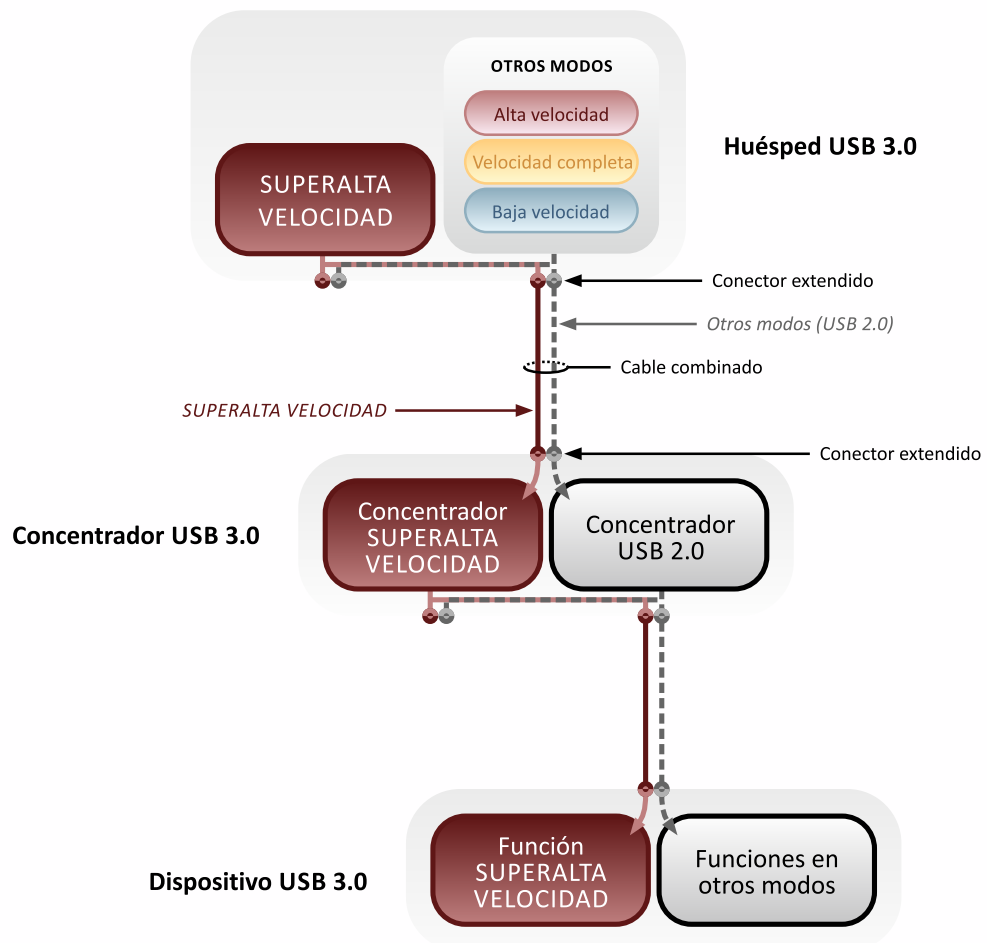


Desde julio de 2013, se prepara una nueva versión de la interfaz USB (USB 3.1 Gen 2). Esta versión es también conocida como SuperSpeed +. La ventaja de la nueva generación de la interfaz USB debe ser su velocidad (hasta 10 Gbit/s) y la reducción del *overhead* durante la codificación de la señal. La interfaz debe ser compatible

con USB 3.0, es decir, poder utilizar los dispositivos y hubs en los estándares USB 3.0 y USB 2.0.

2.3 La arquitectura del USB 3.0

Del mismo modo, huésped, concentradores y equipos terminales son los elementos fundamentales de la arquitectura, como en la interfaz USB basada en la norma 2.0. La principal diferencia en comparación con la nueva versión 3.0, es que ésta permite la conexión en paralelo de dos buses físicos, específicamente, el USB 2.0 y el nuevo *USB SuperSpeed*.



Nota: La operación en paralelo del modo **SUPERALTA VELOCIDAD** y de otro modo no está permitida en los dispositivos finales

Arquitectura del USB 3.0 SuperSpeed



El requisito de compatibilidad con versiones anteriores es satisfecho mediante la selección de esta arquitectura, porque huésped y concentrador permiten la operación simultánea de ambos buses físicos a través de líneas de cable y conectores mixtos. El equipo terminal conforme a sus capacidades utiliza entonces USB 2.0 o *USB SuperSpeed*.



Del mismo modo, la topología de bus físico en estructura de árbol se conserva, donde el huésped se encuentra en la raíz, el cual puede ser conectado a un mayor número de terminales o concentradores.

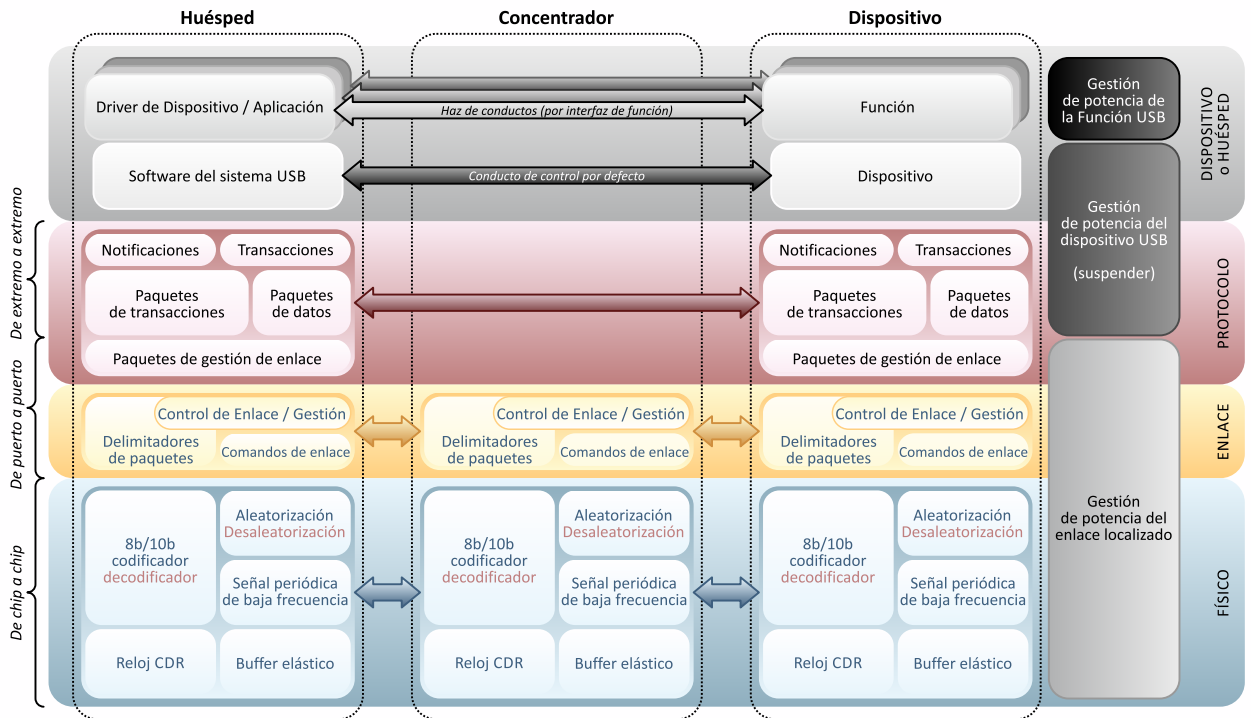


Los concentradores pueden facilitar posteriormente la conexión a otros dispositivos terminales u otros concentradores.

Comparación entre USB SuperSpeed y USB 2.0

Característica	USB SuperSpeed	USB 2.0
Canales de datos	dos simplex - flujo de datos bidireccional simultáneo, dos canales por sentido (4 en total)	Half-duplex - flujo de datos unidireccional con negociación de cambio en la dirección, dos canales
Velocidad de transferencia	SuperSpeed – 5 Gbit/s	Según el modo 1,5 – 480 Mbit/s
Protocolo de transmisión	Flujo de datos asíncrono impulsado por el huésped, direccionamiento de paquetes	El huésped asigna la velocidad de datos (<i>polling</i>), transmisión de paquetes
Gestión de energía	A nivel de conexión, dispositivos y funciones, varios estados	A nivel de conexión y de dispositivos, sólo el estado Suspend
Alimentación del bus	Como el USB 2.0, límites más altos (50% para los dispositivos no configurados y 80% para los dispositivos	Dispositivos de baja y alta potencia, límite inferior para dispositivos no configurados

Cada conexión entre el huésped y los dispositivos (o los concentradores) puede ser representada por capas de comunicación. La siguiente figura muestra un diagrama que describe cada capa de interconexión (ver filas) y sus elementos en diferentes partes de la topología (ver las tres columnas a la izquierda) y la influencia de la gestión de energía (ver columna de la derecha).



Capas de comunicación del bus USB SuperSpeed



USB 3.0 es un bus dual (*Dual Bus Architecture*), se trata de una conexión en paralelo de USB 2.0 y del nuevo USB SuperSpeed. Este concepto permite el uso de equipos terminales USB 2.0 en controladores USB 3.0. Sin embargo, existe una restricción fundamental: No es posible utilizar ambos buses simultáneamente en un dispositivo terminal.

2.4 Modelos de transferencia de datos

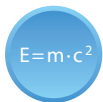


USB SuperSpeed toma los modelos de transferencia de datos del USB 2.0. El intercambio de datos entre los dispositivos terminal y huésped se lleva a cabo a través de canales también llamados *pipes*. Por lo tanto las transferencias de datos se realizan entre dispositivos terminales asociados a la función y software del huésped.

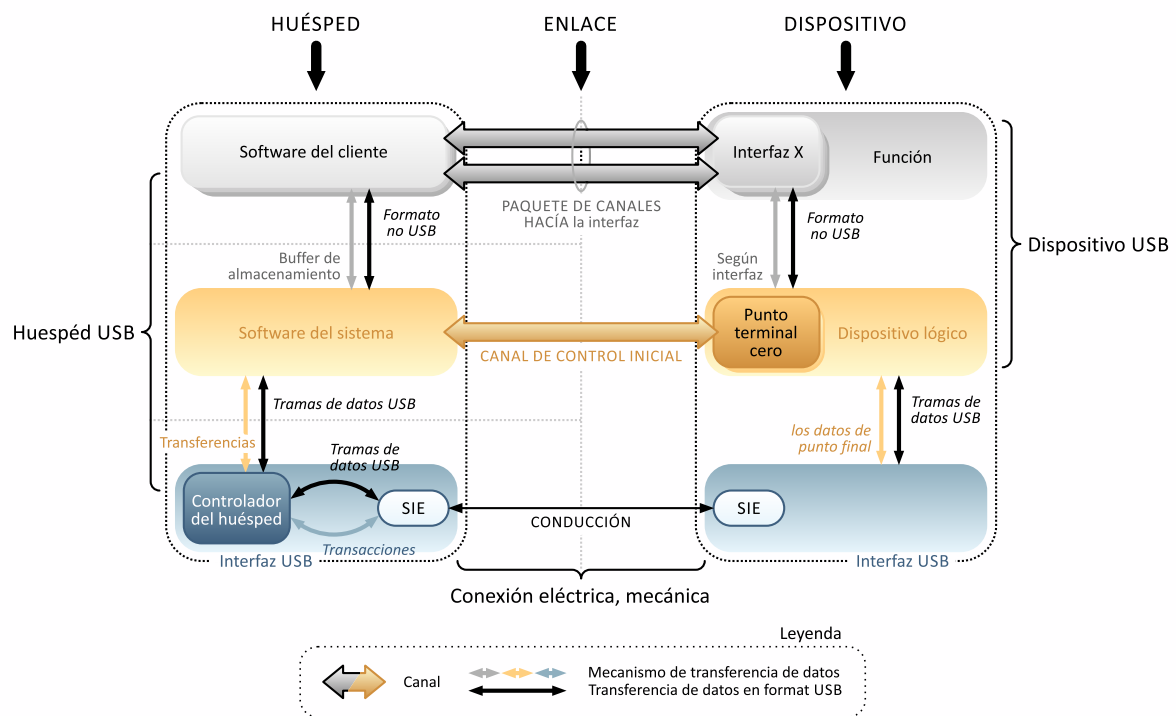


Obviamente estamos hablando de conexiones lógicas, la conexión física consta de un único cable.

Todos los canales y puntos finales son creados durante la configuración del sistema, además del canal de control inicial y el punto terminal de cero, y soportan uno de los cuatro tipos de transmisiones - masiva, de control, isócrona y con interrupción.



Existen dos tipos de canales al igual que en la interfaz USB 2.0 - canales de transmisión (sin formato USB) y canales de mensajes (el formato es definido por la interfaz USB).



Modelo de transferencia de datos



Es posible concluir, que la comunicación en el bus USB se lleva a cabo entre el software del huésped y los dispositivos terminales a través de canales virtuales.

2.5 Transmisión de datos en ráfaga



La transmisión de datos en ráfaga (*burst*) es una nueva prestación del USB SuperSpeed, aumentando la eficiencia de transmisión al eliminar el tiempo de espera para la confirmación de recepción de cada paquete de datos. Cada punto final de dispositivo SuperSpeed indica en su descriptor el número máximo de paquetes que pueden ser enviados o recibidos sin esperar a su confirmación.



El huésped permite cambiar dinámicamente el número de paquetes en una ráfaga para cada transacción de acuerdo a sus necesidades (pero no puede exceder el tamaño máximo determinado de ráfaga de punto final). El huésped reduce fácilmente el tamaño de ráfaga en el caso de transmisiones OUT, en el caso de transmisiones IN establece el tamaño de ráfaga utilizando el campo en los paquetes **ACK** (*ACKnowledge*).



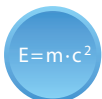
La transmisión de datos en ráfaga es una función del bus USB SuperSpeed que permite enviar múltiples paquetes a la vez sin esperar a la confirmación de su recepción.

1. TRANSMISIONES IN

El dispositivo terminal envía datos al huésped en transmisiones IN. El huésped inicia estas transmisiones mediante el envío de la confirmación de paquete IN al dispositivo terminal utilizando la información contenida enrutada al dispositivo terminal. También incluye información sobre el número de secuencia esperado del paquete y sobre el número de paquetes esperados. En respuesta al huésped, el dispositivo terminal envía los paquetes de datos con los números de secuencia correspondientes.



Aunque el huésped debe reconocer el paquete **ACK** de confirmación de cada paquete recibido de datos, el dispositivo terminal puede enviar todos los paquetes de datos solicitados sin esperar a su confirmación.



La transmisión IN SuperSpeed consiste en una o más transacciones IN que contienen uno o más paquetes. Se termina cuando se han recibido correctamente todos los datos, el punto final envía un paquete cuyo tamaño es menor que el máximo de un punto final determinado o el punto final responde con un error.

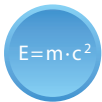
2. TRANSMISIONES OUT

El huésped envía datos al dispositivo terminal en transmisiones OUT. El huésped inicia la transmisión OUT mediante el envío de un flujo continuo de paquetes de datos al dispositivo terminal. Cada paquete de datos contiene la información necesaria para el enrutamiento del paquete y el número de secuencia del paquete.

El dispositivo terminal responde mediante el paquete **ACK** de confirmación con el número de secuencia del siguiente paquete esperado, lo cual también confirma la recepción con éxito del paquete anterior.



Al igual que en las transmisiones IN, el equipo terminal debe enviar un paquete **ACK** de confirmación para cada paquete de datos entrante, pero el huésped no tiene que esperar a estos paquetes **ACK** de confirmación.



La transmisión OUT SuperSpeed consiste en una o más transacciones que contienen uno o más paquetes. Se termina cuando se han recibido correctamente todos los datos, el huésped envía un paquete cuyo tamaño es menor que el máximo de punto final determinado o el punto final responde con un error.

2.6 Paquetes de la interfaz USB SuperSpeed



$E=mc^2$

En la interfaz USB SuperSpeed, todos los paquetes comienzan con una cabecera de 16 bits, que puede formar el paquete entero. El paquete cabecera comienza con la información del tipo de paquete que se utiliza para determinar el método de gestión de paquetes. El paquete cabecera está protegido por un **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*) de 16 bits y termina con dos bytes de la palabra de control. La mayoría de los tipos de paquetes comprenden también la información de enrutamiento utilizado para el enrutamiento de los paquetes desde el huésped.



La interfaz USB SuperSpeed posee cuatro tipos de paquetes:

- *Link Management Packet* **LMP** sólo se envía entre dos puertos conectados directamente y está diseñado para controlar el enlace de esta conexión
 - *Transaction Packet* **TP** pasa a través de todos los enlaces en la ruta directa entre el dispositivo y el huésped. Se utiliza para el control del flujo de paquetes de datos, configuración y concentradores (*hubs*). Se compone sólo de la cabecera
 - *Data Packet* **DP** pasa a través de todos los enlaces de una ruta directa entre el dispositivo y el huésped. Tiene dos partes - una cabecera de paquete de datos y los datos del usuario en un paquete de datos (que contiene el bloque de datos y 32 bits de **CRC**)
 - *Isochronous Timestamp Packet* **ITP** es un paquete que se envía por multidifusión a todas las conexiones en estado activo
-



La interfaz USB SuperSpeed utiliza cuatro tipos de paquetes - *Link Management Packet* **LMP**, *Transaction Packet* **TP**, *Data Packet* **DP** y *Isochronous Timestamp Packet* **ITP**.

2.7 Tipo de transmisiones de datos

$E=m \cdot c^2$

Las transmisiones de datos se componen de una o más transmisiones que se implementan utilizando paquetes. Los tipos de transmisiones de datos se corresponden a los tipos de paquetes utilizados.

1. TRANSMISIONES DE CONTROL

El propósito y la función de las transmisiones de control son prácticamente idénticos a la interfaz USB 2.0, que permite la comunicación entre el software del huésped y el dispositivo de terminal para configuración, control y estado.

Las transmisiones de control utilizan canales de mensajes. Cada dispositivo debe ser compatible con el canal de control predeterminado. Las transmisiones de control tienen la prioridad más alta en el bus, de manera similar a la interfaz USB 2.0 no pueden solicitar un ancho de banda específico. La carga útil máxima es de 512 bytes y no puede utilizar el modo ráfaga.

2. TRANSMISIONES MASIVAS (*BULK*)

Las transmisiones masivas (*bulk*) operan como en la interfaz USB 2.0 de manera similar a las transmisiones de control. Están diseñados para aquellos dispositivos periféricos que necesitan mover grandes volúmenes de datos. Utilizan cualquier ancho de banda disponible (con prioridad baja), como la copia de datos de un disco duro externo.

La transmisión *bulk* garantiza la entrega de los datos, pero no garantiza un ancho de banda ni un retardo. Utiliza canales de descarga en continua (*stream channels*), por lo que no hay requisitos en materia de estructura de datos. Los canales de descarga en continua son unidireccionales, el flujo de datos bidireccional requiere de dos canales (IN y OUT). La transmisión *bulk* se puede dividir en varias transmisiones.

3. TRANSMISIONES BULK CON *STREAMS*

Este es un nuevo tipo de transmisión en la interfaz USB SuperSpeed. El canal estándar para la transmisión *bulk* representa la capacidad de transferencia de un flujo de datos de tipo **FIFO** (*First In First Out*) entre el huésped y los dispositivos terminales a través de la pila de memoria del huésped y de los dispositivos terminales. Las descargas en continua SuperSpeed proporcionan soporte para un modelo de descarga en continua a nivel de protocolo. Las descargas en continua entre el huésped y el dispositivo terminal son gestionadas por el protocolo *stream*. A cada descarga en continua se le asigna una Stream ID **SID**.

$E=m \cdot c^2$

El protocolo de descarga en continua define los mensajes de estado, que permiten a un huésped o dispositivo terminal establecer la ID **CSID** de la corriente de descarga actual del punto final. El huésped utiliza el **CSID** para seleccionar los *buffers* de datos de punto final que se utilizarán para las transmisiones posteriores en el canal. El dispositivo terminal utiliza el **CSID** para seleccionar los buffers de datos.



Las descargas en continua SuperSpeed permiten el uso de más buffers de datos del huésped por el dispositivo terminal (por defecto sólo uno). Las descargas en continua SuperSpeed se interrumpen en caso de fallo del canal estándar *bulk* que utiliza la descarga en continua SuperSpeed. Las descargas en continua SuperSpeed amplían las posibilidades de las transmisiones *bulk* con mínimos cambios en el hardware. Esta función se puede utilizar por ejemplo para dispositivos de almacenamiento masivo USB.

4. TRANSMISIONES CON INTERRUPCIÓN

Similar a la interfaz USB 2.0, la transmisión con interrupción está dedicada para los dispositivos terminales que requieren alta fiabilidad en la transferencia de un pequeño volumen de datos en un radio de acción limitado, como un ratón o un teclado. El huésped solicita datos periódicamente y el dispositivo terminal los proporciona de acuerdo a sus posibilidades.

Las transmisiones con interrupción garantizan alcance máximo (retardo de datos). Utilizan canales de descarga en continua, por lo que los datos pueden no tener un formato definido y el canal es unidireccional. Hasta el 90% del ancho de banda disponible puede ser asignado para las transmisiones con interrupción. El punto final puede manejar su intervalo operativo en múltiplos de 125 μ s. Se permite la retransmisión de tres paquetes por intervalo operativo.

5. TRANSMISIONES SÍNCRONAS

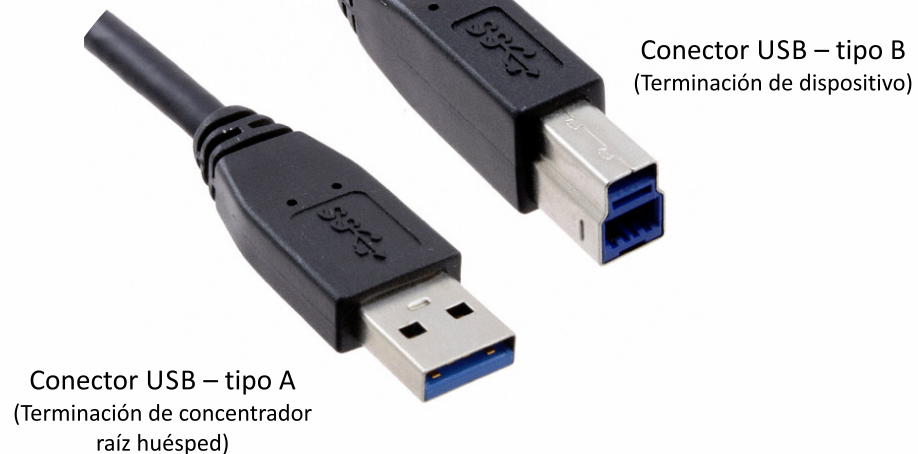
La transmisión síncrona y su propósito, en comparación con la interfaz USB 2.0, se mantiene sin cambios. Se utiliza para la transmisión de datos de descarga en continua, es decir, para transmisiones periódicas con un intervalo de servicio limitado y el margen de error que permite el flujo de datos continuo. La interfaz SuperSpeed USB utiliza para la sincronización los paquetes isócronos **ITP**.

La transmisión síncrona garantiza un ancho de banda de transmisión con retardo limitado y el ancho de banda requerido también está garantizado y se proporciona en el descriptor. Los canales síncronos son canales unidireccionales de descarga en continua. El huésped, antes de comenzar la transmisión síncrona, envía al dispositivo terminal una transferencia de paquetes (*PING*). Debido a posibles retrasos en la transferencia causada por la gestión de energía del bus, esta transferencia pone en estado activo todos los enlaces en el bus. El máximo de ancho de banda y de intervalos de servicio son consistentes con la transmisión con interrupción. La transmisión síncrona permite hasta tres transferencias de tipo ráfaga después de 16 paquetes por intervalo de operación.

2.8 Conectores USB 3.0

Los conectores USB 3.0 se han desarrollado sobre la base de los requisitos de más alta velocidad de transferencia, limitación de la influencia de las interferencias electromagnéticas, soporte a la movilidad y bajo precio. Todo ello mientras se mantiene la máxima compatibilidad con USB 2.0. La especificación USB 3.0 define los mismos tipos de conectores que USB 2.0 y un nuevo conector alimentado tipo B (*powered-B connector*).

1. Conector estándar tipo A – probablemente es el conector más utilizado, conector de huésped, la forma y las dimensiones son idénticas al correspondiente USB 2.0, pero con contactos adicionales para dos parejas de datos adicionales y tierra; proporciona compatibilidad completa.
2. Conector estándar y alimentado tipo B – diseñados para su uso con grandes equipos, no proporcionan compatibilidad completa y el conector es mayor debido a los contactos añadidos. Es posible conectar el conector USB 2.0 en un conector USB 3.0, pero la conexión inversa no es posible. El conector alimentado es diferente en que añade otros dos contactos permitiendo que se pueda alimentar el dispositivo.

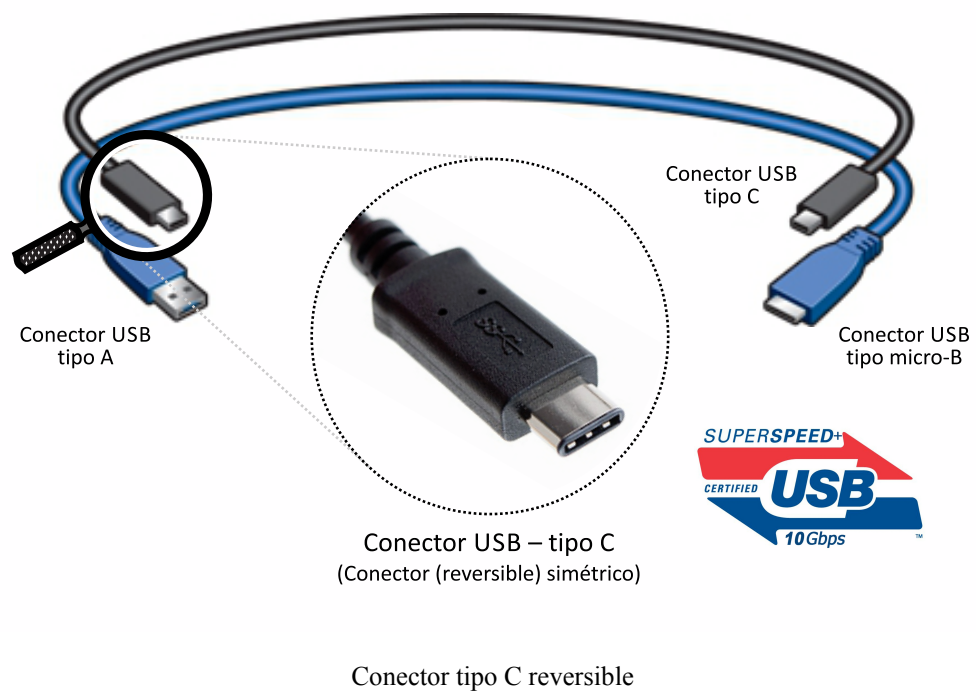


Conector estándar tipo A y B

3. Conectores Micro tipo A y B – diseñados para dispositivos relativamente pequeños y ligeros, lo cual se corresponde a su tamaño y, por lo tanto, al igual que los conectores de tipo B no proporcionan compatibilidad completa; hay

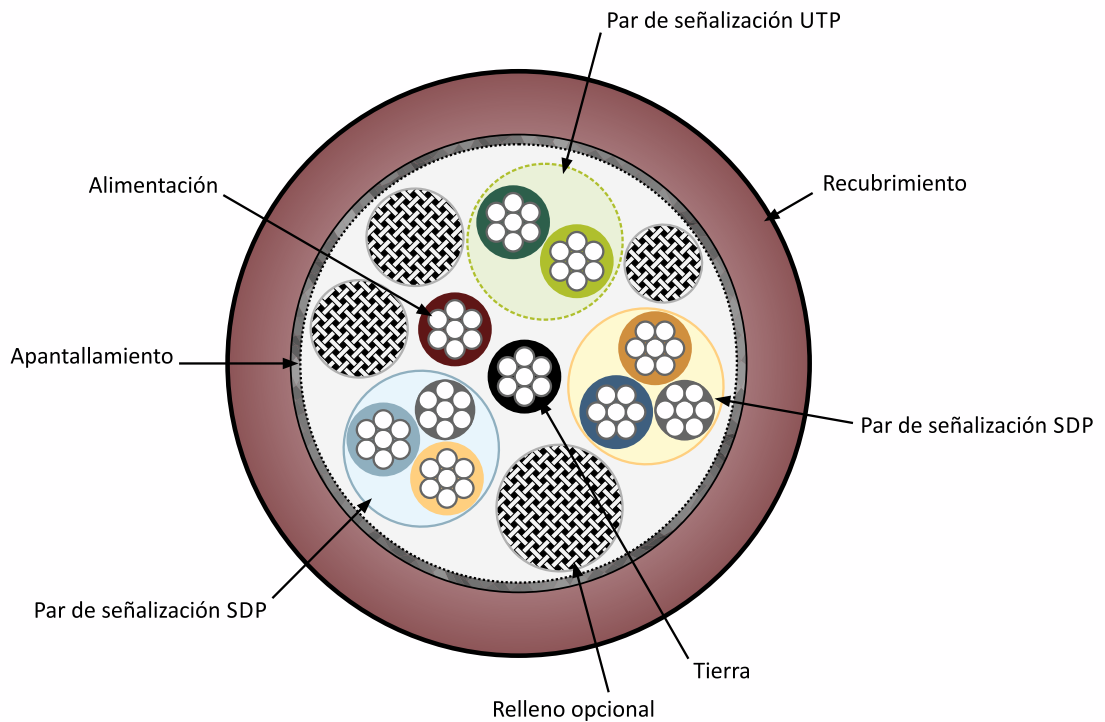
conectores de tipo B y tipo AB, a un tipo AB se le puede conectar un tipo A o B, a un tipo B sólo se puede conectar un tipo A.

4. Conector tipo C reversible – se trata de un nuevo conector universal para la interfaz USB que es mecánicamente simétrico (es decir, no es necesario diferenciar la dirección del enlace). En el interior del cable hay 24 hilos conductores para la alimentación, datos del USB 2.0, 2 × datos del USB 3.0, para configuración y para otros fines. Un cable activo es una posibilidad opcional (incluye un chip). La fuente de alimentación es la clásica de 5 V con una corriente de hasta 3 A (el máximo es hasta 20 V con una corriente de 5 A). Las dimensiones del conector son 8,4 × 2,6 mm. El nuevo conector admite implícitamente protocolos de transporte alternativos.



2.9 Cables USB 3.0

La siguiente figura muestra la sección transversal del cable en la especificación USB 3.0. Hay tres grupos visibles de cables – par de señal **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*), pares cruzados diferenciales blindados **SDP** (*Shielded Differential Pairs*) y los cables de alimentación y tierra.



Sección transversal del cable en la especificación USB 3.0



UTP está diseñado para la transmisión de señales USB 2.0 y **SDP** para la especificación SuperSpeed USB. Es evidente a partir del nombre, que los pares **SDP** tienen su propio blindaje para la integridad de la señal y la limitación de **EMI**. Además, cada par apantallado posee una línea adicional, denominada *DRAIN*, que está conectada al pin a tierra del conector (diferente de la tierra de la alimentación, denominado *GND_DRAIN*).

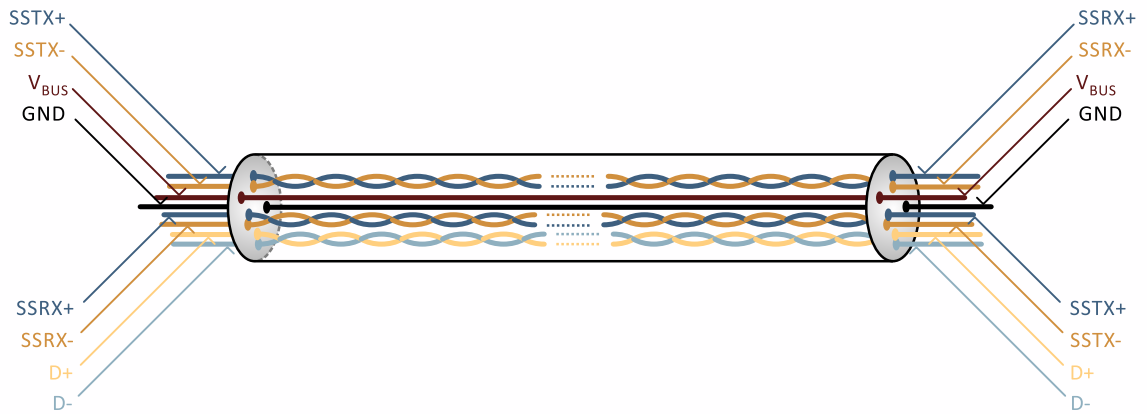


Diagrama del cable en la especificación USB 3.0



El blindaje que encierra a todas las líneas del cable se realiza mediante un trenzado metálico conectado a una parte metálica del conector y que sirve para eliminar la perturbación **EMI**. Los colores en las imágenes coinciden con los colores de cables aislados.



La longitud del cable no está limitada por la especificación, pero está limitada por las pérdidas de realizar la conexión y la caída de tensión en toda la longitud del cable. Estas pérdidas, para el cable, no deben superar el límite de 20 dB. Esto se corresponde con la máxima longitud de cable recomendada de hasta 3 m.

2.10 Gestión de energía

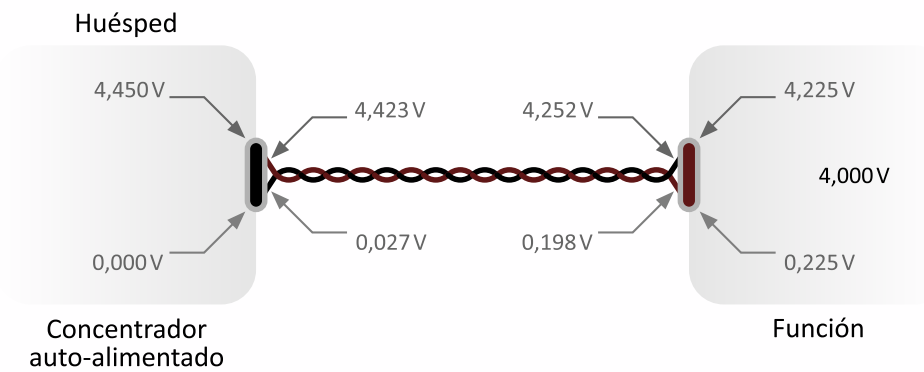
USB 3.0 proporciona la alimentación a través de dos conectores - un conector estándar "tipo A" y un conector alimentado "tipo B". La alimentación vía conector estándar tipo A tiene propiedades similares a la interfaz USB 2.0. Por simplicidad se define la carga unidad equivalente que en el caso de la interfaz SuperSpeed USB la corriente se aumentó hasta 150 mA. La interfaz USB contiene varios tipos de fuentes y dispositivos:

- Concentrador raíz del huésped (*Host Root HUB*) – está conectado directamente al controlador de huésped USB. Los puertos del huésped conectados a la alimentación deben suministrar al menos 6 unidades de carga, asimismo aquellos puertos del huésped alimentados por una batería sólo pueden permitir una unidad de carga
- Concentrador auto-alimentado (*Self-powered HUB*) – No consume energía de la línea del bus V_{BUS} , pero puede consumir hasta una unidad de carga en puertos de enlace ascendente en caso de que el resto del hub esté desconectado. Cada puerto de enlace descendente puede proporcionar hasta 6 unidades de carga
- Dispositivo bajo consumo (*Low-power Device*) – obtiene toda la alimentación necesaria de la línea del bus V_{BUS} , hasta un máximo de una unidad de carga
- Dispositivo de altas prestaciones (*High-performance Device*) – obtiene alimentación de la línea del bus V_{BUS} , consume hasta una unidad de carga después de su conexión al bus pero puede después configurarse para un consumo de hasta 6 unidades de carga
- Dispositivo auto-alimentado (*Self-powered Device*) – obtiene un máximo de 1 unidad de carga de la línea del bus V_{BUS} para asegurar la funcionalidad del puerto, incluso si el resto de dispositivos están apagados



Ningún dispositivo puede alimentarse del cable V_{BUS} en un puerto de enlace ascendente. Del mismo modo que en la interfaz USB 2.0, el huésped y los concentradores auto-alimentados proporcionan protección contra sobrecarga de corriente. Restaurar la funcionalidad normal es posible sin la intervención del usuario.

Las caídas de tensión más altas admisibles, dentro de la topología de bus, se muestran en la siguiente figura.



Topología de bus bajo la máxima caída de tensión aceptable

El conector alimentado tipo B se introdujo para permitir que un dispositivo, tal como por ejemplo una impresora, permitiera la conexión y alimentación de otros dispositivos (por ejemplo, adaptadores USB inalámbricos). Esta opción elimina la necesidad del adaptador de corriente externo. El conector alimentado tipo B debe ser capaz de proporcionar 5 voltios en corriente a plena carga hasta 1 A, y proporcionar protección contra sobrecarga de corriente para entregar el máximo de energía sin importar el estado en que se encuentre el equipo terminal. El dispositivo terminal que proporciona la alimentación a través de este conector debe ser de bajo consumo y un dispositivo terminal que sea alimentado por un conector no puede proporcionar ningún tipo de conector estándar tipo A.

2.11 Inventario de bus

Cuando se conecta o desconecta un dispositivo terminal desde el USB, el huésped utiliza un proceso denominado inventario de bus para identificar y gestionar el estado del dispositivo terminal. Este proceso consiste de los siguientes pasos:



1. El concentrador, al cual está conectado el dispositivo terminal, informa al huésped de este evento a través de un canal especial (el dispositivo terminal se encuentra en este momento después del comando de *RESET* en el estado por defecto, es decir, no puede consumir más de 150 mA de la línea V_{BUS} y responde a la dirección por defecto).
2. Entonces el huésped determina la naturaleza exacta del evento por la petición del concentrador. Si el huésped conoce el puerto al que está conectado el dispositivo terminal, puede reactivar el comando de *RESET* para el dispositivo terminal.
3. Posteriormente, el huésped asigna al dispositivo terminal una dirección única e informa al dispositivo terminal sobre el retardo sincrónico y otros parámetros.
4. El huésped tendrá también que realizar la lectura de todas las configuraciones del dispositivo terminal y realizará posibles ajustes del temporizador U_1/U_2 para el puerto de enlace descendente que esté ocupado por el dispositivo terminal.
5. El huésped determina los valores necesarios para configurar el dispositivo terminal sobre la base de la información de configuración y cómo utilizar el dispositivo terminal. El dispositivo terminal pasará a estado *CONFIGURED* y estará listo para su uso.

En caso de una desconexión del dispositivo terminal se envía el mensaje de aviso al concentrador y el huésped puede actualizar la información de topología local.

2.12 Dispositivo terminal USB 3.0

$E=m \cdot c^2$

Todos los dispositivos terminales USB 3.0 soportan un conjunto común de operaciones generales: conexión y desconexión dinámica, asignación de direcciones, configuración, transmisión de datos, administración de energía, procesamiento de peticiones y errores.

$E=m \cdot c^2$

Los dispositivos terminales notifican sus propiedades mediante el uso de descriptores. Un descriptor es una estructura de datos en formato predefinido. Cada descriptor empieza con un campo de un solo byte que contiene el número de bytes del descriptor, seguido por un campo de un solo byte que determina el tipo de descriptor.

Cada configuración puede utilizar descriptores o partes de otras configuraciones. Los dispositivos terminales también pueden tener unos descriptores especiales de acuerdo a su clase o al fabricante.



Existen varios tipos de descriptores – Descriptor de dispositivo, Descriptor de configuración, Descriptor de interfaces asociadas, Descriptor de interfaz, Descriptor de punto final, Descriptor de punto final SuperSpeed, Descriptor de cadena y de almacenamiento de objeto de dispositivo binario **BOS** (*Binary Device Object Store*).

El descriptor **BOS** define el descriptor raíz (*root descriptor*), que es similar al descriptor de configuración y es el punto de partida para el acceso a un conjunto de descriptores relacionados. Estos descriptores se dividen en varios tipos. Wireless USB describe las capacidades del dispositivo para la interfaz USB inalámbrico. La extensión del USB 2.0 es el descriptor que indica la posibilidad de gestión de energía extendida y de modo de alta velocidad USB 2.0. La capacidad de los dispositivos USB SuperSpeed que describen, por ejemplo, el soporte de los diferentes modos de velocidad o períodos de transición de U_1 y U_2 al estado U_0 . El último descriptor es el ID de contenedores que contiene un número de identificación que permite a la identificación de huésped del dispositivo terminal, independientemente del modo en el que el dispositivo terminal esté funcionando.

2.13 Concentrador USB 3.0

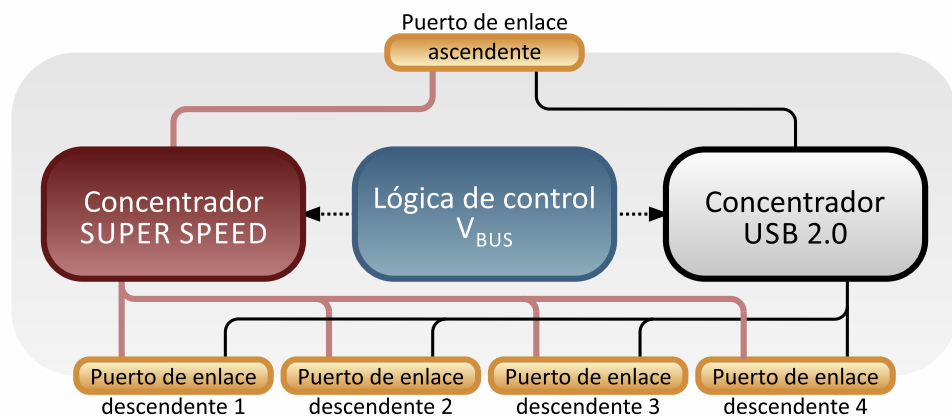


Un concentrador (*hub*) proporciona conectividad eléctrica entre el huésped y los dispositivos terminales. Permite que la interfaz USB sea más fácil de utilizar a los usuarios normales. Se encargan del funcionamiento de la conectividad, gestión de energía, detección de fallos y recuperación del bus, y de soporte en todos los modos de velocidad.

El concentrador USB 3.0 incluye un concentrador USB 2.0 y el concentrador SuperSpeed. El concentrador SuperSpeed consiste en un repetidor y un controlador del concentrador:

- El repetidor sirve para la gestión de las conexiones, la detección de conexión y desconexión del dispositivo terminal, detección de errores y recuperación.
- El controlador del concentrador permite la comunicación entre el concentrador y el huésped que permite configurar el concentrador y sus puertos de enlace descendente.

El concentrador SuperSpeed también se ocupa del enrutamiento de paquetes. El concentrador USB 3.0 es una combinación lógica de concentrador USB 2.0 y de concentrador SuperSpeed. La lógica de control para V_{BUS} es sólo una parte compartida de la lógica, como se muestra en la siguiente figura



Concentrador USB 3.0

2.14 La posibilidad de usar la interfaz USB 3.0



USB 3.0 en comparación con la versión anterior de **USB** ha sido objeto de importantes mejoras. Probablemente la diferencia más significativa es, por supuesto, la velocidad de transferencia, que aumentó aproximadamente diez veces en comparación con el anterior interfaz USB 2.0. Teóricamente el bus USB proporciona velocidades de transferencia de hasta 5 Gbit/s, como se ve a partir de las características de la interfaz de capa física.

Por supuesto, esta velocidad de transferencia de datos no puede ser alcanzada. Después de contar las pérdidas causadas por codificación 8B/10B (20%) y la encapsulación de datos en una capa de protocolo de enlace de datos (aproximadamente 2,4%), se obtiene la velocidad de transferencia más alta posible cerca de 3,88 Gbit/s.



La especificación USB 3.0 indica que realmente se logran velocidades por encima de 400 MB/s (3,2 Gbit/s).

Hoy en día, incluso una velocidad de transferencia de 3,2 Gb/s es una velocidad de transferencia relativamente alta que hace que el USB 3.0 pueda competir con la mayoría de las interfaces existentes de alta velocidad. Uno de los muchos ejemplos de uso práctico podría ser la conexión de dispositivos que utilizan memorias flash, tales como tarjetas de memoria, unidades flash o discos duros populares en la actualidad SSD (*Solid State Drives*), que son capaces de tomar por lo menos parcialmente, las ventajas de la velocidad de transferencia ofrecida.



La utilización del USB 3.0 será especialmente relevante cuando se transfieran grandes cantidades de datos. Consecuentemente significa poder realizar simultáneamente más transmisiones OUT junto con transmisiones IN, también significa la posibilidad de utilizar simultáneamente el bus por múltiples dispositivos, o incluso que un dispositivo envíe activamente datos a un huésped. En velocidad de datos puede competir con interfaces como **eSATA** (*external Serial Advanced Technology Attachment*), el cual tenía hasta el momento la transmisión de datos más alta.



Actualmente, la interfaz Thunderbolt es el único competidor serio al interfaz USB 3.0, que es, en esencia, un **PCI-E** (*Peripheral Component Interconnect - Express*) externo. Ofrece incluso más velocidad que el USB 3.0 y permite, además, la posibilidad de encadenar dispositivos. Actualmente, la interfaz Thunderbolt se utiliza prácticamente en exclusiva para los productos de la firma Apple.

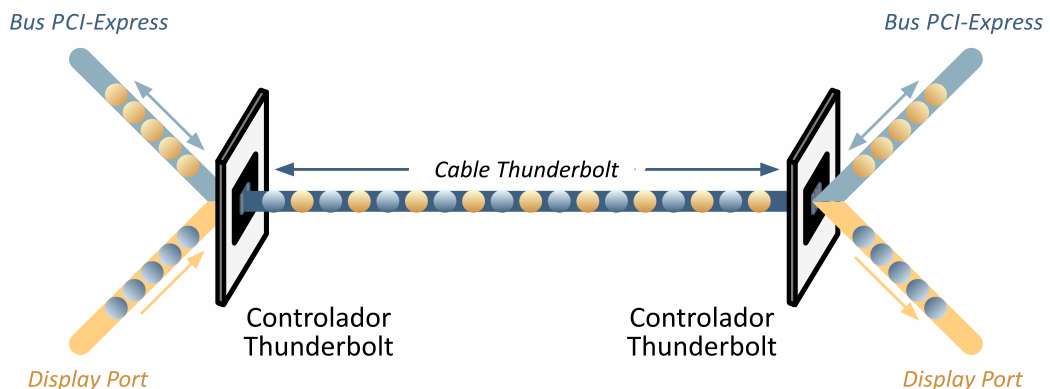
3 Interfaz Thunderbolt

3.1 Características de la interfaz

La interfaz Thunderbolt **TB** es una interfaz que trae a la industria mundial de la computación diseños nuevos, soluciones, funciones y mejoras. La interfaz Thunderbolt está siendo desarrollado con la colaboración de Intel y Apple. El primer prototipo de la interfaz se presentó al público en 2009. Se denominó, en ese momento, como Light Peak. El primer dispositivo producido de forma estándar con interfaz Thunderbolt fue en 2011 el portátil MacBook Pro de la empresa Apple.



La diferencia de interfaz Thunderbolt en comparación con otras interfaces reside en el diseño estructural. Consiste en una combinación de dos interfaces distintas – bus externo **PCI-E** y puerto **DP** (*DisplayPort*). La comunicación es bidireccional y la conexión funciona en modo full duplex. Los paquetes de ambos protocolos se transmiten simultáneamente a través de una sola sesión. El controlador Thunderbolt multiplexa estos paquetes en el lado del transmisor en un único flujo de datos y en el lado opuesto, el receptor conmuta entre los diferentes protocolos.



Principio de comunicación en la interfaz Thunderbolt



La ventaja y el objetivo de la interfaz **TB** es una conexión de alta velocidad de varios dispositivos y soporte para múltiples tipos de transferencias de datos a través de un conector unificado.



Para este propósito fue utilizado un conector *Mini DisplayPort* modificado.



La interfaz de **TB** supera los estándares tales como **eSATA**, **USB** y Firewire con una velocidad de transferencia teórica de hasta 10 Gbit/s por canal. Su velocidad de

transferencia es casi dos veces más alta (dependiendo del hardware y software específicos) en comparación con el bus USB 3.0 y requiere menos *overhead*. Sin embargo, la velocidad de transferencia real está alrededor de la frontera de 6,4 Gbit/s por canal.

$E=m \cdot c^2$

A un conector **TB** se pueden conectar hasta siete dispositivos de **TB**. Un puerto **TB** puede gestionar simultáneamente la transmisión de datos para dos pantallas con puertos de **DP** en alta definición HD (*High Definition*).

i

Para la transmisión de datos y de la alimentación se utilizaron cables de cobre, a pesar de que en los planes iniciales los cables eran ópticos (tecnología de *Silicon Photonics Link*).

+

La ventaja de los pares de cobre es gestionar velocidad de transmisión suficiente, a un precio de coste, en comparación con conductores ópticos, sustancialmente más bajos y alimentar a través de ellos los dispositivos conectados hasta 10 W de potencia.

-

Su gran desventaja es la limitación de la longitud del cable, que puede ser de hasta sólo tres metros.

i

Todavía se cuenta con usar cables ópticos en el futuro, especialmente debido a su gran potencial en mayores velocidades de transferencia, hasta valores del orden de 100 Gbit/s, y a que se pueden utilizar longitudes mucho más largas de cable bajo condiciones de transmisión constantes.

🚩

Intel Corporation promete transferir un video de dos horas en la resolución Full **HD** en 30 segundos, y transferir registros en formato **MP3** de un año de tiempo de duración en 10 minutos.

3.2 Arquitectura de la interfaz

$E=m \cdot c^2$

La arquitectura de la interfaz Thunderbolt se basa en dos normas. La primera es el estándar **PCI-E** y la segunda es la norma **DP**.

+

La ventaja del bus **PCI-E** es su universalidad, de amplia aplicación en las computadoras existentes como **PC** (*Personal Computer*), un gran número de tecnologías diseñadas especialmente para la conexión y la cooperación con el bus **PCI-E** y la posibilidad de conexión directa con el bus **PCI -E** situado en la placa base del PC.

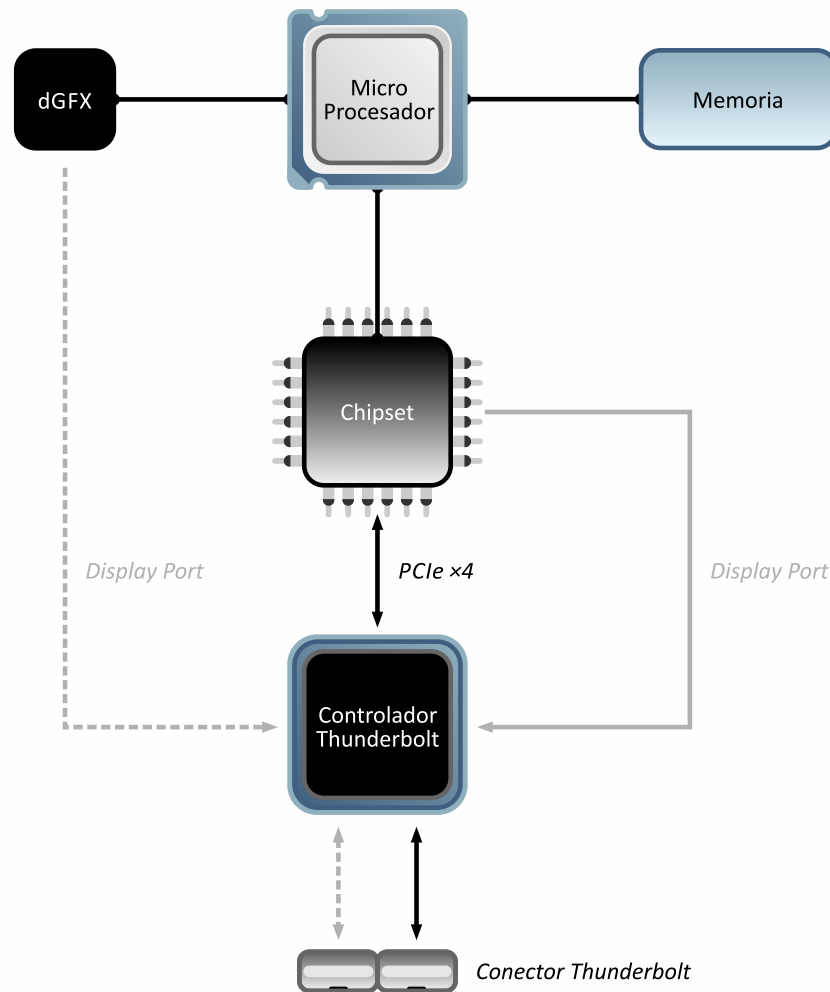
+

La ventaja de puerto **DP** es la capacidad de alcanzar resoluciones aún mayores que la Full **HD** (por ejemplo *4K* o *5K*) con un aumento de la velocidad de fotogramas. La imagen se puede transmitir también simultáneamente con 8 canales de audio.

i

El conector físico *Mini DP* es compatible con el puerto **DP** estándar. La velocidad de transferencia máxima del puerto **DP** es de 5,4 Gbit/s utilizando cuatro enlaces. La velocidad de transferencia se incrementa hasta 10 Gbit/s cuando se conecta nuestro tráfico al dispositivo con interfaz de **TB**. Por tanto, la tasa de transferencia total del bidireccional de transmisión de dos canales es de 20 Gbit/s.

A continuación se muestra el diagrama de bloques de la arquitectura de la interfaz Thunderbolt.



Arquitectura de la interfaz Thunderbolt

Los datos del puerto **DP** y bus **PCI-E** entran en el controlador del **TB**. El controlador del **TB** combina los datos en paquetes que se transmiten juntos a través de un único cable activo de **TB**.



Sin embargo, la utilización de cables activos tiene efectos térmicos desfavorables. Podemos medir en un conector inactivo la temperatura alrededor de 43° C. La temperatura cuando el conector está en el estado activo puede aumentar rápidamente hasta 50° C. La temperatura en el cable entre los conectores no es diferente de la del ambiente circundante.



El calentamiento de extremos de los cables, es decir los conectores, es causado por el montaje del chip *Gennum GN2033* directamente en los conectores. Este chip a pesar de su pequeño tamaño puede proporcionar condiciones para la transmisión de datos a alta velocidad y sin errores a través de un par de hilos de cobre. El chip no es directamente necesario para la tecnología **TB**, pero su presencia mejora las tasas

de transferencia y las características de transmisión de la interfaz. Su integración no es necesaria cuando se mueva la interfaz a los cables ópticos.



Las temperaturas elevadas no son perjudiciales para el usuario, pero ciertamente contribuyen al calentamiento global del dispositivo y por lo tanto a una demanda más alta de su enfriamiento. Por ejemplo, los conectores de la interfaz USB 3.0 no tienen un problema similar, debido a que su temperatura es ligeramente diferente de la temperatura del ambiente circundante.



La utilización de cables activos tienen para el usuario un impacto mucho mayor, además de un gran calentamiento, el de un precio de compra mayor en comparación con los tipos de interfaces competidores.

3.3 Transmisión de datos

$E=m \cdot c^2$

El controlador es un componente clave para la transmisión de datos. El controlador es parte de los equipos de transmisión y recepción. El controlador está diseñado para la comunicación con muy poco retardo y con la calidad de servicio (**QoS** - *Quality of Service*) requerida.

$E=m \cdot c^2$

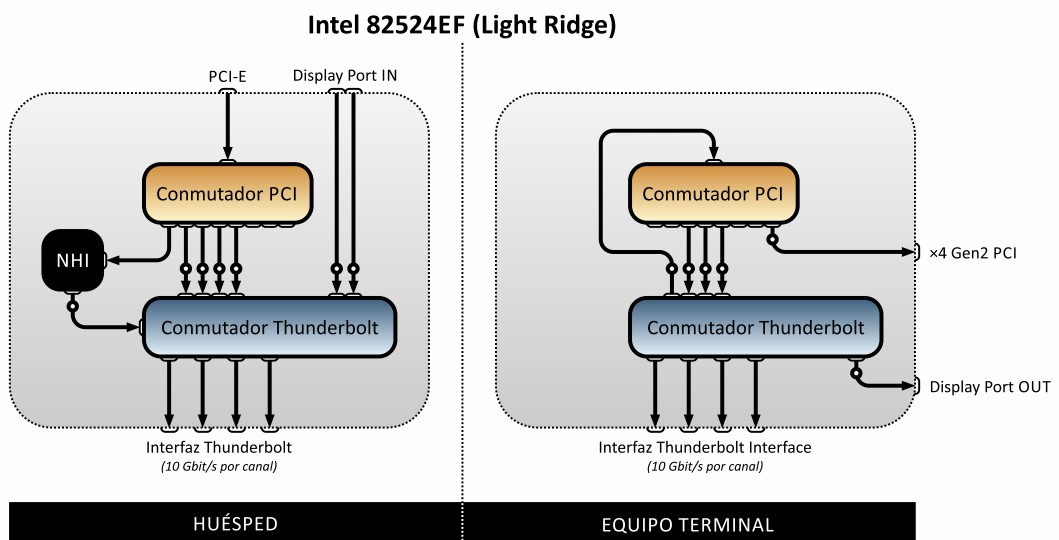
Una de las muchas características de la **QoS** es la capacidad de una red de proporcionar información previa sobre el ancho de banda/retardo y, según la prioridad, reservar y gestionar el flujo de datos. Cada paquete ha determinado una prioridad dentro de la cabecera del paquete, denominada TLP Header.

i

La sincronización de reloj con el dispositivo conectado a través de la interfaz de **TB** se realizará en 8 ns.



El controlador de **TB**, ubicado en la placa base del **PC**, está siempre en modo huésped (*Host mode*), ver la siguiente figura. El controlador incluye la entrada independiente para los datos de los puertos **PCI-E** y **DP**. El controlador de **PCI-E** (*PCI-E Switch*) está dentro del controlador de **TB** el cual controla el dispositivo terminal conectado y el elemento **NHI** (*Native Host Interface*) que se utiliza para la detección del dispositivo conectado (soporte Plug & Play). El último elemento es un Switch de Thunderbolt que combina ambos tipos de datos en un único flujo de datos.



Controlador de la interfaz Thunderbolt



Un puerto **TB** posee dos canales bidireccionales. Cada canal consta de dos caminos para poder implementar una transmisión bidireccional y tiene una capacidad de canal de 10 Gbit/s. Un canal se utiliza para datos de imagen y el otro para otros datos. Debido a que el rendimiento de la interfaz de **TB** no se da como suma de rendimientos de cada canal, el rendimiento oficial que se cita es de 10 Gbit/s por puerto. Así, el controlador tiene cuatro salidas de acuerdo con la solución dada.

El controlador de **TB** para los equipos terminales conectados al PC se encuentra en el modo terminal (*Endpoint*). Hay disponibles cuatro entradas y sus respectivas salidas de acuerdo con el tipo de operación. Los datos recibidos entran en el switch de **TB** que es un conmutador de protocolo muy potente. Los datos se distribuyen en él de acuerdo con su protocolo. Los datos del puerto **DP** salen del controlador (*DP out*) y los datos del bus **PCI-E** entran en el switch PCI-E. Luego se dividen los datos de acuerdo con las especificaciones de los 4 canales **PCI-E 2.0**. Es posible conectar un (4 canales), dos (2 canales) o cuatro (1 canal) equipos. El switch PCI-E, que se encuentra al frente del equipo, controla el enrutamiento de datos de más dispositivos conectados en serie. Cada elemento conectado en serie debe incluir dos puertos. Si contiene un solo puerto, no es posible transferir datos a otros dispositivos y por lo tanto debe conectarse en el extremo de la cadena. Un ejemplo típico es un monitor. El dispositivo que tiene el retardo más pequeño, es aquel que se encuentra en primer lugar en el diagrama de la topología. Los datos son posteriormente divididos y entran en el microchip **PCH** (*Platform Controller Hub*), que determina la ruta de datos y controla la función auxiliar en cooperación con una CPU (*Central Processing Unit*), por ejemplo el reloj del sistema, y la memoria. La conexión entre el controlador y el **PCH** incluye la interfaz **FDI** (*Flexible Display Interface*), interfaz flexible de pantalla, que da cuenta de una banda separada para la transferencia de datos de imagen.



Al aplicar la tecnología de fibra óptica no será necesario cambiar los dispositivos actuales con interfaz de **TB**. Estos dispositivos ya son capaces de transmitir datos a través de cables de cobre o de fibra óptica. En el caso de la fibra óptica, los cables pueden tener un rango alcanzable de hasta varias decenas de metros, utilizando conductores metálicos para la alimentación. Sin la necesidad de alimentar el dispositivo remoto, se calcula que la transmisión de la señal óptica puede llegar hasta cientos de metros.
