Ingeniería de tráfico

MPLS: distribución de etiquetas.

- Introducción.
- LDP, Label Distribution Protocol.
  - Características principales.
  - Conceptos y procedimientos básicos.
  - Mensajes: formato, tipos genéricos y específicos, parámetros.
  - Operativa.
- CR-LDP, Constrained-based Routing LDP.
  - Características principales.
  - Conceptos, elementos y operativa básicos.
  - Mensajes: tipos, formato, parámetros.
  - Clases de servicio.

MPLS: introducción a la distribución de etiquetas.

- Distribución de etiquetas.
  - Señalización MPLS para establecer LSPs.
  - Procedimiento para notificar/distribuir asociaciones etiquetas-FEC entre los LSR.
  - Mediante protocolos específicos o extensiones a otros protocolos.

  - Protocolos para distribución de etiquetas.
    - Permiten que dos LSR aprendan entre sí sus capacidades MPLS.
    - Permiten a un LSR notificar a otros *peers* las asociaciones etiquetas-FEC que ha realizado.
    - Estándares desarrollados:
      - **LDP** (*Label Distribution Protocol*).
      - **CR-LDP** (*Constraint-based Routing LDP*): extensión de LDP para ingeniería de tráfico.
      - **RSVP-TE** (*RSVP – Traffic Engineering*): extensión RSVP para distribuir etiquetas.
      - **BGP** (*Border Gateway Protocol*) con extensiones para distribuir etiquetas.

  - Usualmente un LSR soporta **CR-LDP** y **RSVP-TE**, pero no son compatibles, ejecuta uno u otro.

MPLS: LDP.

- **LDP, *Label Distribution Protocol.***
  - Primer protocolo especificado para distribución de etiquetas. RFCs 3036 y 5036.
  - **A partir del *routing* IP convencional** (salto a salto) y sobre TCP por fiabilidad (excepto mensajes de "descubrimiento").
  - Habilita a los LSR para:
    - Establecer y mantener asociaciones etiquetas-FEC.
    - Solicitar y compartir/notificar asociaciones etiquetas-FEC.
    - Establecer LSPs.
  - Operativa LDP basada en:
    - Distribución de etiquetas *downstream on demand* y *unsolicited downstream,* uno u otro por sesión LDP.
    - Control de LSP independiente y ordenado, uno u otro por LSP.
    - Retención de etiquetas liberal y conservador.
    - Tres conceptos: **espacio de etiquetas**, **sesión** y **adyacencia**.

- **Espacio de etiquetas** (*LS, Label Space*).
  - Conjunto de etiquetas con identificador propio. Dos tipos de LS:
    - **LS por interfaz**.
      - Grupo de etiquetas **NO basado** en el concepto ***shim header***.
      - Grupo de etiquetas para tipos específicos de interfaces (p.e, interfaces ATM y FR).
      - Se conmuta basado en el par <interfaz de llegada, etiqueta>
      - Cada interfaz con LS propio, no compartido con otras interfaces.
      - *Software* específico para procesar etiquetas.
    - **LS por plataforma**.
      - Grupo de etiquetas **basado** en el concepto ***shim header***.
      - Se conmuta basándose solamente en la etiqueta.
      - Grupo de etiquetas compartido entre determinados tipos de interfaces:
        - P.e: interfaces GbE (Gigabit Ethernet), PPP (*Point To Point Protocol*), PoS (*Packet over SONET*), etc.
      - *Software* común para procesar etiquetas.
  - Identificador LS estructurado en dos partes (6 octetos).
    - 4 octetos: identificador del LSR (p.e. la dirección IP).
    - 2 octetos: identificador del espacio de etiquetas.
      - Para LS por plataforma se fijan a cero.
      - Para LS por interfaz con valores diferentes de cero.

Sesión LDP.

- Contexto en el que dos LSR intercambian mensajes LDP. Relación lógica mediante LDP.
- Posible una vez desarrollada la fase de "descubrimiento":
  - Esto es, ambos LSR ya han establecido una relación de comunicación y el LS a utilizar.
- Requiere, después de la fase de "descubrimiento":
  - Establecer conexión TCP al puerto 646.
  - Mensaje específico **INITIALIZATION** para solicitar establecer sesión LDP y negociar - notificar:
    - Versión del protocolo.
    - Modo de operación (p.e, método de distribución de etiquetas).
    - Rango de valores de etiquetas para interfaces específicas (p.e, ATM y FR).
    - Identificador LDP (identificador del LS del receptor).
    - Longitud máxima de la PDU-LDP (por defecto 4096 octetos).
    - Valores de los temporizadores asociados a la operativa LDP.
    - Activación o no de la detección de bucles.
    - Otros parámetros según protocolos específicos (p.e. ATM y FR).
  - Mantenimiento de la sesión con mensajes periódicos de tipo "Keepalive" si no se envían PDU-LDP.

MPLS: LDP.

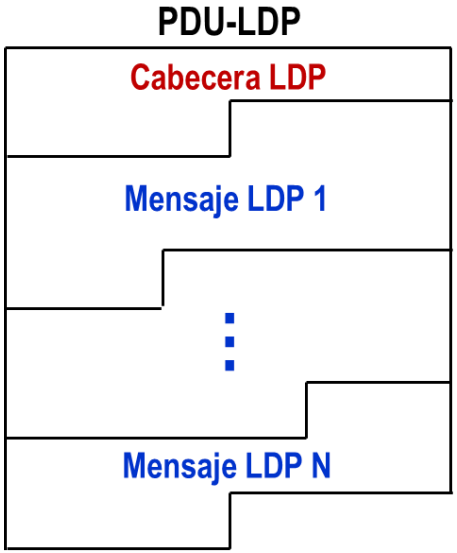
- Descubrimiento LDP.
  - Procedimiento para los LSR indicar su presencia en red y detectar otros *peers*.
  - Mediante mensaje específico tipo Hello sobre UDP (puerto 646).
    - LSR que recibe mensajes Hello solo responde (con Hello) si desea establecer relación con otro *peer*.
    - Todo intercambio de mensajes Hello establece una "adyacencia".
    - **Adyacencia** = relación lógica entre dos *peers* LDP tras intercambiar mensajes Hello.
  - Tipos de descubrimientos.
    - Descubrimiento básico, para descubrir LSR **vecinos locales** (conectados "directamente", en una misma LAN o mediante un enlace punto a punto).
      - LSR envía **periódicamente** mensajes **Link Hello** por cada interfaz cada 15 s.
        - Al puerto de descubrimiento de una dirección IP *multicast* (a todos los *routers*).
        - Transportan básicamente el identificador LS a utilizar por cada interfaz.
        - Identifican una adyacencia (sólo una por interfaz).
    - Descubrimiento extendido, para descubrir LSR **vecinos remotos** (no conectados "directamente").
      - LSR envía **periódicamente** mensajes **Target Hello** cada 45 s.
        - Al puerto de descubrimiento de una dirección IP específica.
        - Transportan básicamente el identificador LS a utilizar.
        - Identifican una adyacencia.

MPLS: LDP.

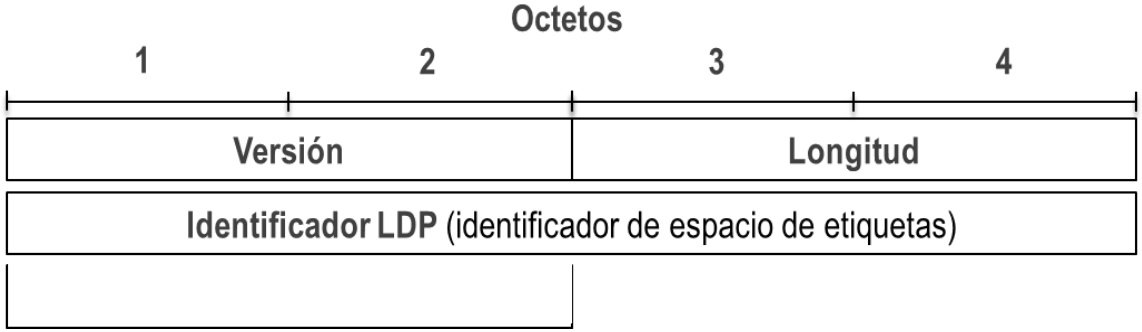
- Temporizadores vinculados a la operativa LDP.
  - **Temporizador Hello**, vinculado a mensajes Hello y adyacencias. Uno por cada adyacencia.
  - **Temporizador de supervivencia**, vinculado a sesiones LDP, PDUs-LDP y mensajes KeepAlive.
- Mantenimiento de relaciones entre *peers* y adyacencias.
  - Mediante temporizador Hello e intercambio **periódico** de mensajes Hello.
  - Si temporizador vence → Finaliza la relación entre dos *peers* y se borran las adyacencias.
  - Si todas las adyacencias asociadas a una sesión LDP se borran → Finaliza la sesión LDP.
- Mantenimiento de sesiones LDP.
  - Mediante temporizador de supervivencia (180 s) por cada sesión.
  - Temporizador se reinicia cada vez que se recibe una PDU-LDP y un mensaje KeepAlive.
  - Si un *peer* no tiene nada que enviar, envía mensajes KeepAlive cada 60 s.
  - Si vence el temporizador → Finaliza la sesión LDP.
  - Una sesión también puede terminar en cualquier momento mediante el mensaje Shutdown.

MPLS: LDP, PDU-LDP.

- Formato de PDU-LDP.
  - Cabecera LDP
  - Mensajes LDP.
    - Uno o más mensajes LDP por cada PDU-LDP.
    - Pueden o no estar relacionados entre si.

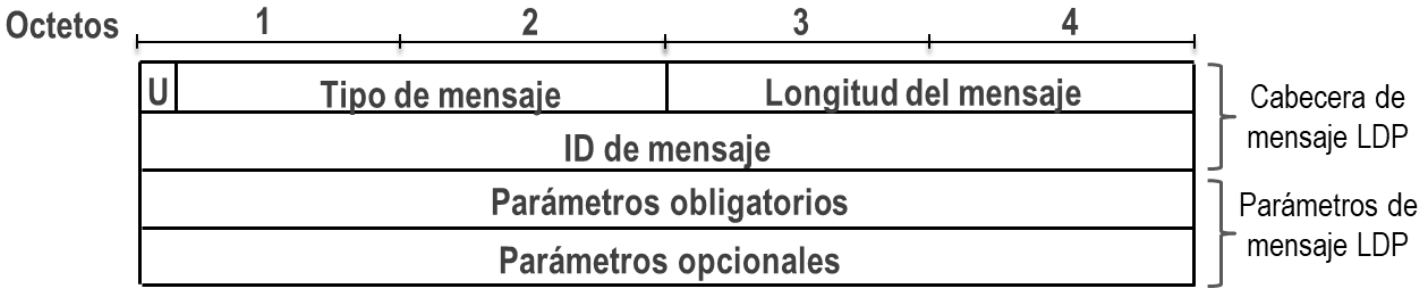


- Formato de **cabecera LDP**.
  - Versión: versión del protocolo.
  - Longitud: nº de octetos de la PDU-LDP excluyendo los campos "versión" y "longitud".
  - Identificador LDP (6 B) (LDP id): contiene identificador de "espacio de etiquetas" (**LSRid:NºLS)**.

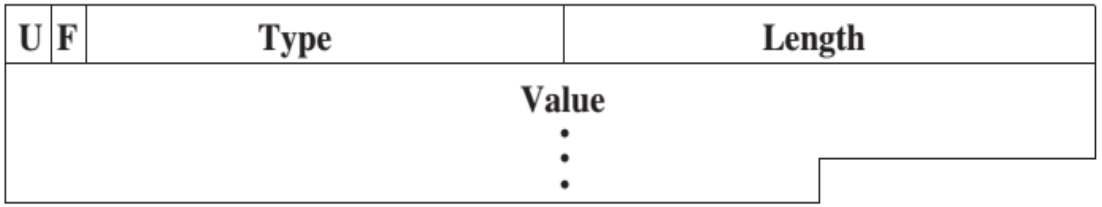


MPLS: LDP, mensajes.

- Formato de **mensaje LDP**.
  - Contiene cabecera y parámetros (obligatorios y opcionales).



  - Cabecera y parámetros se codifican según esquema-tripleta **TLV (*Type-Length-Value*)** para facilitar la extensibilidad (nuevas capacidades definiendo nuevos *Types*).
    - *Type*: identifica qué tipo de información se intercambia (contenida) y cómo debe ser interpretada.
    - *Length*: longitud del campo *Value*.
    - *Value*: información a intercambiar.

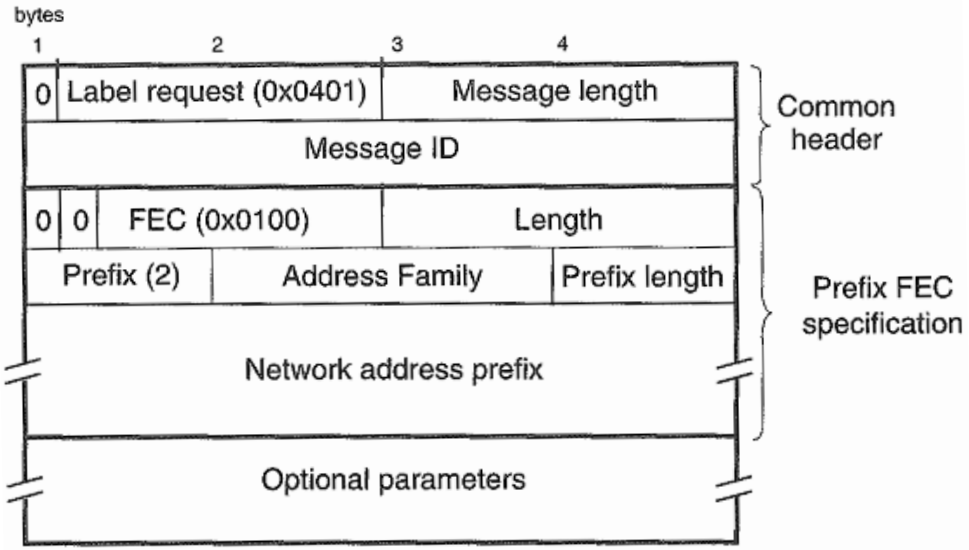


MPLS: LDP, mensajes.

- Tipos/categorías de mensajes LDP.
  - Mensajes de descubrimiento.
    - Para anunciar y mantener la presencia de un LSR en la red.
  - Mensajes de sesión.
    - Para gestionar sesiones LDP entre *peers* (iniciar, mantener y finalizar).
    - Todo intercambio LDP se desarrolla en el contexto de una sesión LDP, excepto los mensajes Hello.
  - Mensajes de anuncio.
    - Para anunciar - crear, cambiar o borrar asociaciones etiqueta-FEC.
  - Mensajes de notificación.
    - Para notificar - distribuir avisos e información de errores.

- Mensajes LDP.
  - Label Request, Label Mapping, Label Abort, Label Withdraw, Label Release.
  - Notification, Hello, Initialization, KeepAlive, Shutdown.
  - Address, Address Withdraw.

- **Label Request.**
  - Mensaje para solicitar *mapping* (asociación de etiqueta) para una FEC. **Se origina por cualquiera de las tres razones siguientes**:
    - Se reconoce una nueva FEC y no se tiene *mapping* a partir del siguiente "salto".
    - Cambia el "salto" siguiente para una FEC y no se tiene *mapping* a partir de éste.
    - Se recibe mensaje **Label Request** para una FEC a partir de un nodo *upstream* y no se tiene *mapping* a partir del siguiente "salto".
  - Parámetro obligatorio.
    - FEC TLV: contiene la FEC indicada.
  - Parámetros opcionales.
    - Hop Count TLV: especifica el nº de "saltos" del LSP que esté siendo establecido.
    - Path Vector TLV: indica los "saltos" (LSR) por los que pasa el LSP que esté siendo establecido.



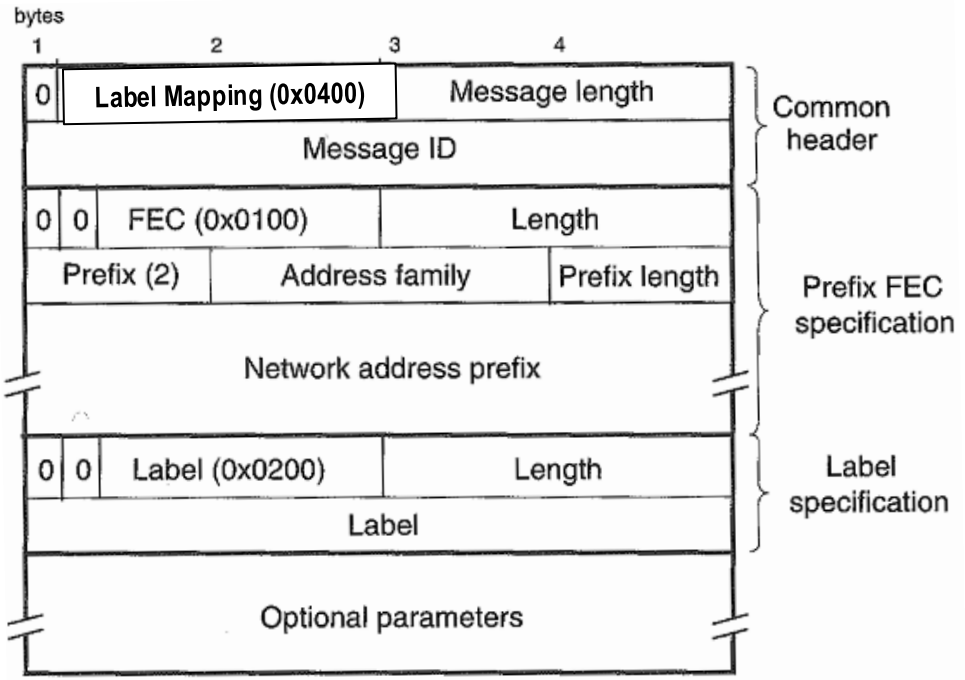
RFC 3036 IDP label request message

Figura: F.J. Hens y J.M. Caballero, *TRIPLE PLAY, building the converged network for IP, VoIP and IPTV,* © John Wiley & Sons. Ltd 2008

MPLS: LDP, mensajes.

- **Label Mapping.**
  - Mensaje para **notificar *mapping*** (asociación) etiqueta – FEC.
  - Parámetros obligatorios.
    - FEC TLV: contiene la FEC indicada.
    - Label TLV: contiene la etiqueta asociada a la FEC indicada.
  - Parámetros opcionales.
    - Label Request Message ID TLV: identificador del mensaje al que se responde si el *mapping* es en respuesta a un Label Request.
    - Hop Count TLV: especifica el nº de "saltos" del LSP que esté siendo establecido.
    - Path Vector TLV: indica los LSR por los que pasa el LSP que esté siendo establecido.

30

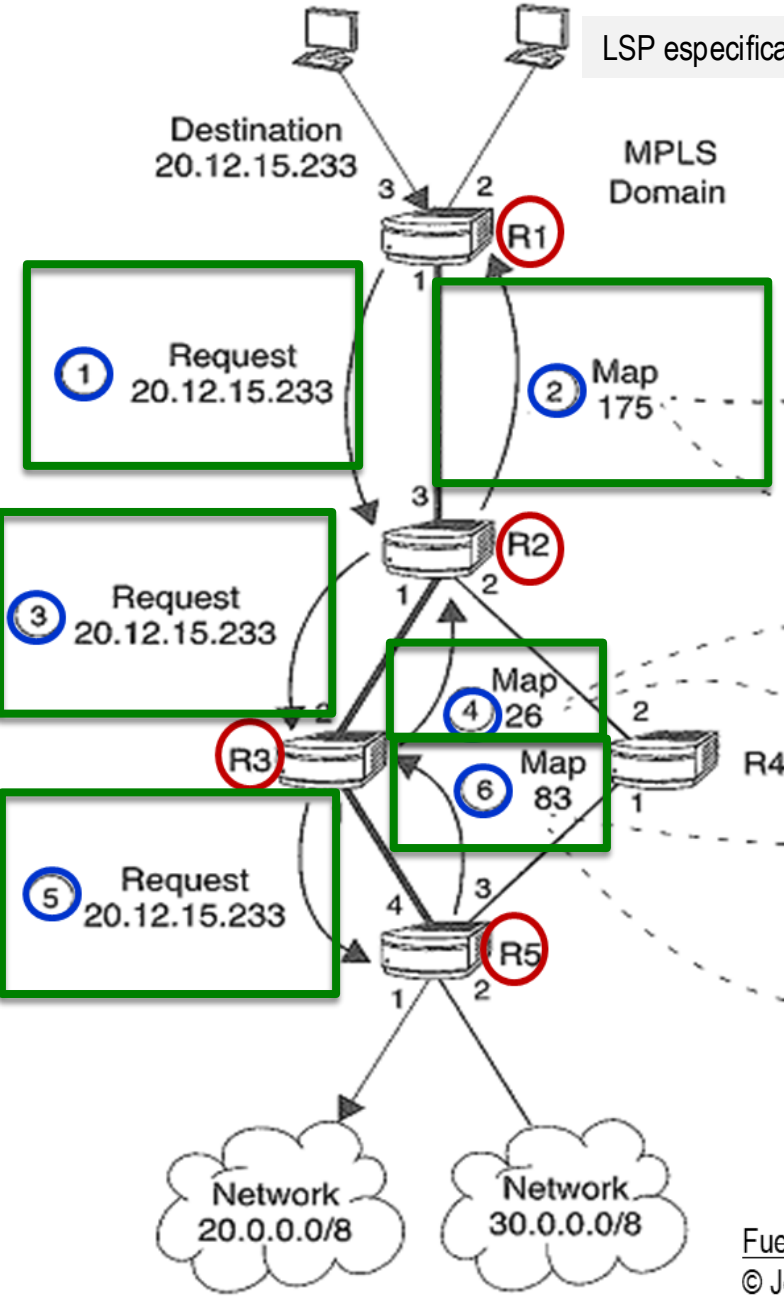


RFC 3036 IDP label mapping message

Figura: F.J. Hens y J.M. Caballero, *TRIPLE PLAY, building the converged network for IP, VoIP and IPTV,* © John Wiley & Sons. Ltd 2008

Operativa LDP ***downstream on demand*** y **control independiente** para establecer un LSP

LSP especificado por la secuencia de etiquetas 175, 26 y 83 entre el *host* de la izquierda y la red destino 20.0.0.0/8.



Incoming label map (ILM)

	Input		Output	
	Port	Port	Label	Operation
R1	3	1	175	Push

Inserción de etiqueta (*push operation*)

FEC-to-NHLFE map (FTN)

	Input		Output		
	Port	Label	Port	Label	Operation
R2	3	175	1	26	Swap

FEC-to-NHLFE map (FTN)

	Input		Output		
	Port	Label	Port	Label	Operation
R3	2	26	1	83	Swap

Conmutación de etiqueta (*swap operation*)

FEC-to-NHLFE map (FTN)

	Input		Output	
	Port	Label	Port	Operation
R5	4	83	1	Pop

Extracción de etiqueta (*pop operation*)

NHLFE, *Next Hop Label Forwarding Entry.*

ⓘ: orden secuencial de mensajes LDP (i = 1, 2…)

Fuente: F.J. Hens and J.M. Caballero, *TRIPLE PLAY, building the converged network for IP, VoIP and IPTV.*
© John Wiley & Sons. Ltd 2008

MPLS: LDP, resumen.

- Propiedades claves de LDP.
  - Descubrimiento automático entre *peers* → Permite fácil configuración.
    - Añadir un nuevo LSR solo requiere configurar éste y no los demás.
  - Transporte fiable mediante TCP (excepto Ms de "descubrimiento" con UDP).
  - Diseño extensible mediante codificación TLV → Facilita la evolución del protocolo.
  - Basado en el *routing* IP convencional → Limitado a un sistema autónomo.
  - Retención liberal de etiquetas → Rápida reacción frente a cambios de *routing*.
  - Distribución de etiquetas *downstream on demand* y *unsolicited downstream*.
  - Control de LSP independiente y ordenado.

- Limitaciones de LDP.
  - LSPs solo mediante *routing* convencional, no *routing* explícito → No permite ing. de tráfico.
  - No dispone de procedimientos para reservas de recursos para los LSPs → No permite QoS.
  - Tales limitaciones llevaron al desarrollo de **CR-LDP**.

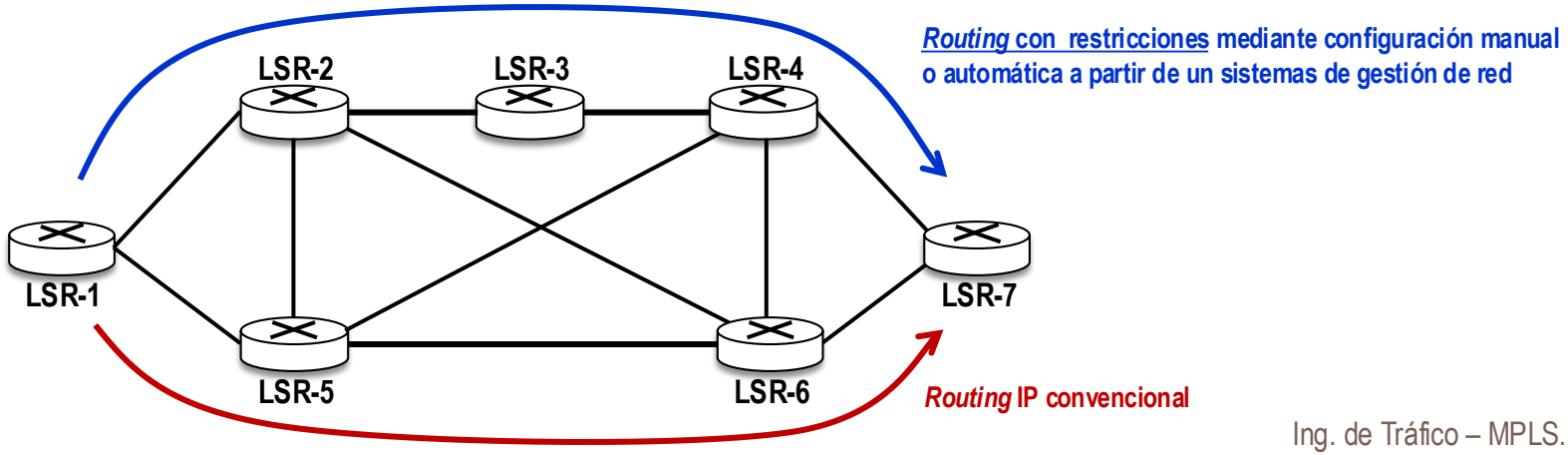
MPLS: CR-LDP.

CR-LDP, *Constrained-based Routing LDP.*

- LDP con **extensiones** para ***routing*** **con restricciones** y **reserva de recursos.**
  - Restricciones en cuanto *routing* explícito y/o criterios QoS (retardo, tasa de pérdida, rendimiento, etc).
- Extensiones LDP básicamente para proveer **ingeniería de tráfico (TE).**
  - **TE**: técnicas-procedimientos para evitar congestión mediante control del trayecto del tráfico en la red.
- Permite gestionar los LSP considerando:
  - *Routing* explícito para QoS y calculado en el LSR fuente (*Constrained-based and source routing*).
  - Prioridades de los LSP y fijación de rutas.
  - También mediante *routing* convencional (como LDP).
- Posibilita servicios/aplicaciones de MPLS relativas a:
  - Redes privadas virtuales (VPN).
  - Ingeniería de tráfico .
  - Gestión de LSPs con criterios QoS.
  - Balance de carga entre LSPs.

MPLS: CR-LDP.

- *Setup* de rutas explícitas.
  - Rutas explícitas para LSPs basadas en restricciones → **CR-LSP, *Constrained-based Routing LSP***.
  - Rutas explícitas estrictas y no estrictas → Lista de nodos y/o grupo de nodos a lo largo de la ruta explícita.
    - Modo estricto: cada nodo en la ruta se identifica con una dirección IP.
    - Modo no estricto: la ruta puede contener algún nodo abstracto (da flexibilidad para la construcción de la ruta).
      - **Nodo abstracto**: grupo de nodos cuya topología interna es "opaca" al nodo emisor (LSR de ingreso).
- Ejemplo.
  - El *routing* IP convencional indica (p.e. con OSPF), para la ruta de un LSP entre LSR-1 y LSR-7:
    - **LSP**: LSR-1 → LSR-5→LSR-6 → LSR-7.
  - Con CR-LDP se puede establecer el LSP por una ruta con menor retardo extremo a extremo si los enlaces involucrados presentan poca utilización. P.e:
    - **CR-LSP:** LSR-1 → LSR-2 → LSR-3 → LSR-4 → LSR-7.



MPLS: CR-LDP.

- Reserva de recursos con CR-LDP.
  - *Setup* de LSPs especificando parámetros de tráfico y cómo éstos deben ser vigilados.
  - Parámetros de tráfico posibles a especificar:
    - **PDR**, **CDR**, **PBS**, **CBS**, **EBS**, ***Weight*** (peso) y **granularidad del servicio**.
    - **PDR**, **CDR**, **PBS**, **CBS**, **EBS**: describen las restricciones de ancho de banda para el trayecto del LSP.
    - ***Weight*** (peso): determina cómo compartir el ancho de banda en exceso respecto a la tasa CDR.
    - **Granularidad del servicio**: especifica la granularidad con que se calculan las tasas de datos.
  - **De manera opcional** respecto a la negociación de recursos para los LSP.
    - Permite especificar un **valor más pequeño para determinado parámetro** si éste no puede ser satisfecho con los recursos disponibles en la red.

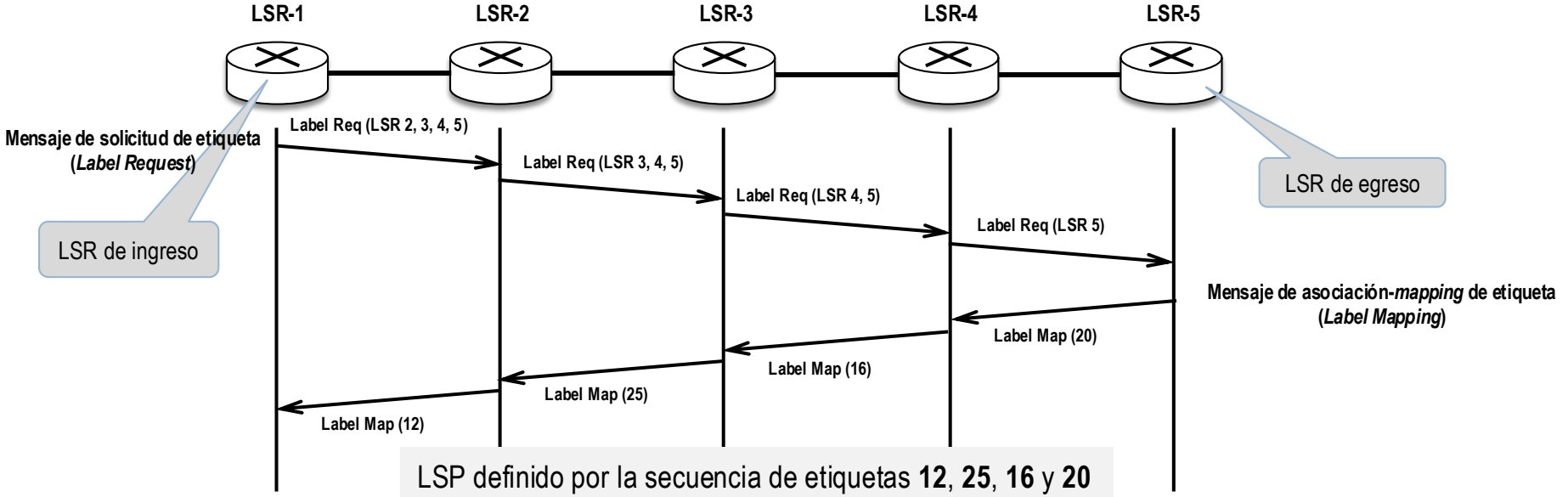
MPLS: CR-LDP.

- Prioridades de LSP.
  - Mecanismo para satisfacer requisitos de los LSPs cuando hay limitaciones de recursos.
  - Permite **desalojo** de rutas sobre la base de dos parámetros asociados a cada LSP:
    - ***Setup priority***: preferencia para establecer un nuevo LSP.
    - ***Holding priority***: preferencia para retener - mantener un LSP ya establecido.
    - Desalojo posible solo si *setup priority* del nuevo LSP **>** *holding priority* de un LSP ya establecido.
    - Requiere reencaminar un LSP de baja prioridad para poder establecer un LSP de alta prioridad.

- Re-optimización y fijación de rutas.
  - Mecanismos que permiten modificar o no la ruta de un LSP en un nodo abstracto.
    - **Nodo abstracto**: grupo de nodos cuya topología interna es "opaca" al LSR de ingreso.
  - Mediante la opción "**fijación de ruta**" (*route pinning*).
    - Desactivada (para re-optimización): permite cambiar el trayecto del LSP dentro de un nodo abstracto.
    - Activada (para fijación): no permite cambiar el trayecto del LSP dentro de un nodo abstracto.

MPLS: CR-LDP.

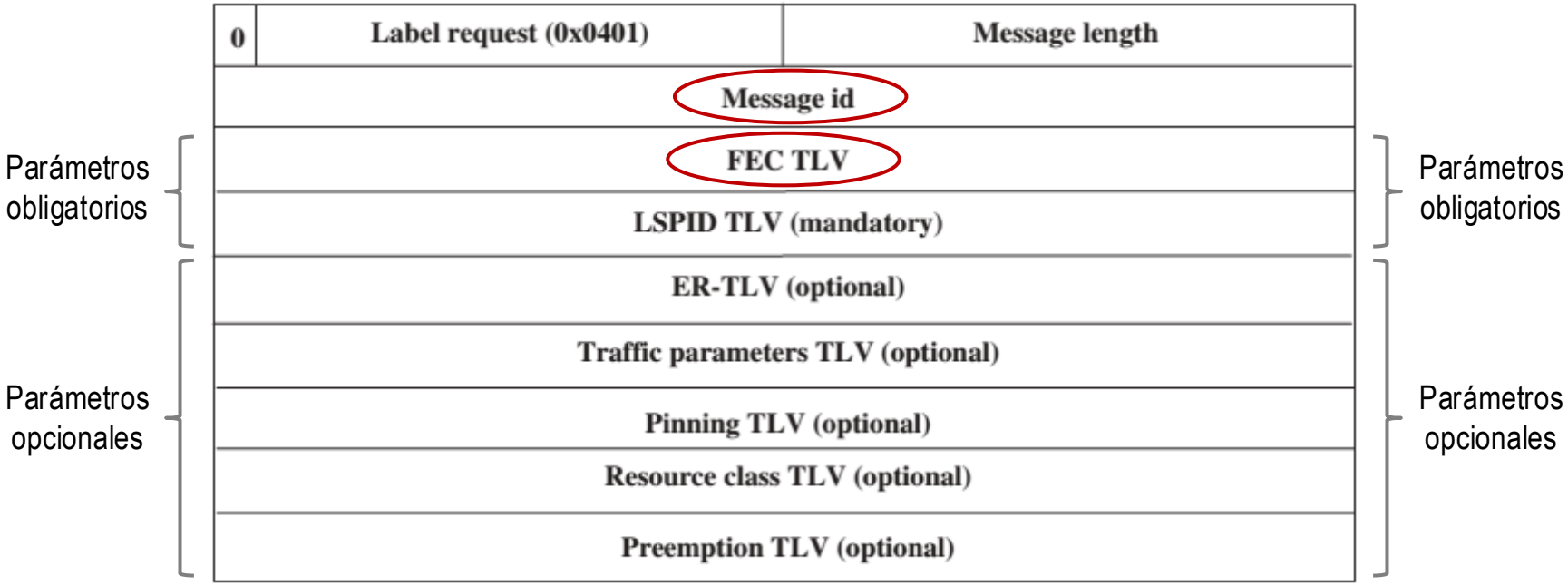
- Operativa para establecer un CR-LSP mediante ***downstream on demand*** y **control ordenado**.



- **LSR de ingreso**:
  - Calcula la ruta explícita para el LSP (mediante tabla de routing, sistema de gestión o aplicación para ello).
  - Envía Label Request al primer LSR, indicando lista y/o grupo/s de nodos para la ruta explícita.
- **LSRs del trayecto**:
  - Reenvían mensaje Label Request al siguiente LSR *downstream* de la lista hasta el LSR de egreso.
- **LSR de egreso**:
  - Genera - envía mensaje Label Mapping hacia el LSR de ingreso.
  - Cada LSR en el trayecto reenvía el mensaje Label Mapping al siguiente LSR *upstream*.
  - Label Mapping por la misma ruta que Label Request hasta el LSR de ingreso, quedando establecido el CR-LSP.

MPLS: CR-LDP.

- Mensaje **Label Request**.



Message id: identificador del mensaje para relacionar mensajes de solicitud y de respuesta.

FEC TLV: como en LDP, ahora con un nuevo elemento denominado CR-LSP.

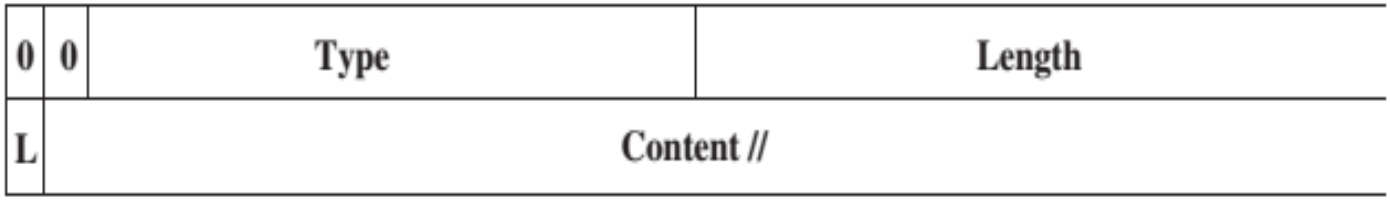
MPLS: CR-LDP.

- Campos de mensaje Label Request.
  - **LSPID TLV** (obligatorio).
    - Identificador único de un CR-LSP, formado por:
      - ID del LSR de ingreso (o dirección IPv4).
      - ID local del CR-LSP en el LSR de ingreso.
  - **ER-TLV**, Explicit Route TLV (opcional).
    - Especifica la ruta - trayecto del LSP.
    - Compuesto por uno o más sub campos ER-hop TLV (**E**xplicit **R**oute **hop** TLV) (saltos ER).

0	Label request (0x0401)	Message length
Message id		
FEC TLV		
LSPID TLV (mandatory)		
ER-TLV (optional)		
Traffic parameters TLV (optional)		
Pinning TLV (optional)		
Resource class TLV (optional)		
Preemption TLV (optional)		

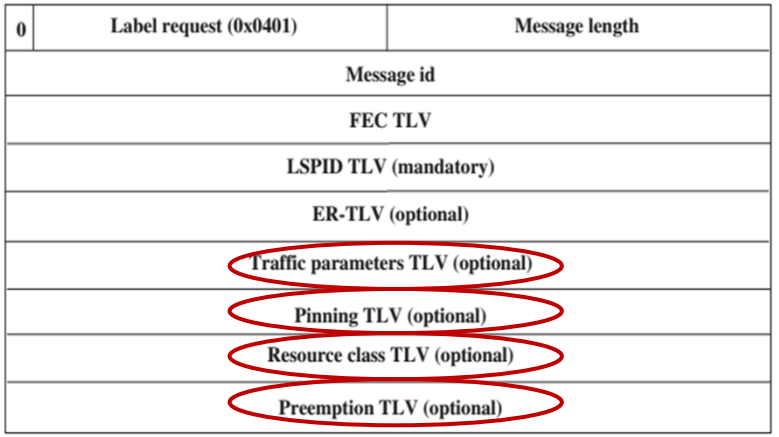
0	0	Type = 0x0800	Length
ER-hop TLV 1			
⋮			
ER-hop TLV *n*			

- Campos de mensaje Label Request (II).
  - **ER-hop TLV** (sub campo/s del ER-TLV): especifica el valor de cada "salto".
    - Type: indica tipo de "salto", tomando uno de los siguientes valores:
      - Prefijo IPv4, prefijo IPv6, número de sistema autónomo.
    - Length: indica nº de octetos del campo Content.
    - L: indica si el "salto" ER-hop es estricto o no estricto.
      - 0: salto definido de forma estricta.
      - 1: salto definido de forma no estricta.
    - Content: identificador de nodo o grupo de nodos.



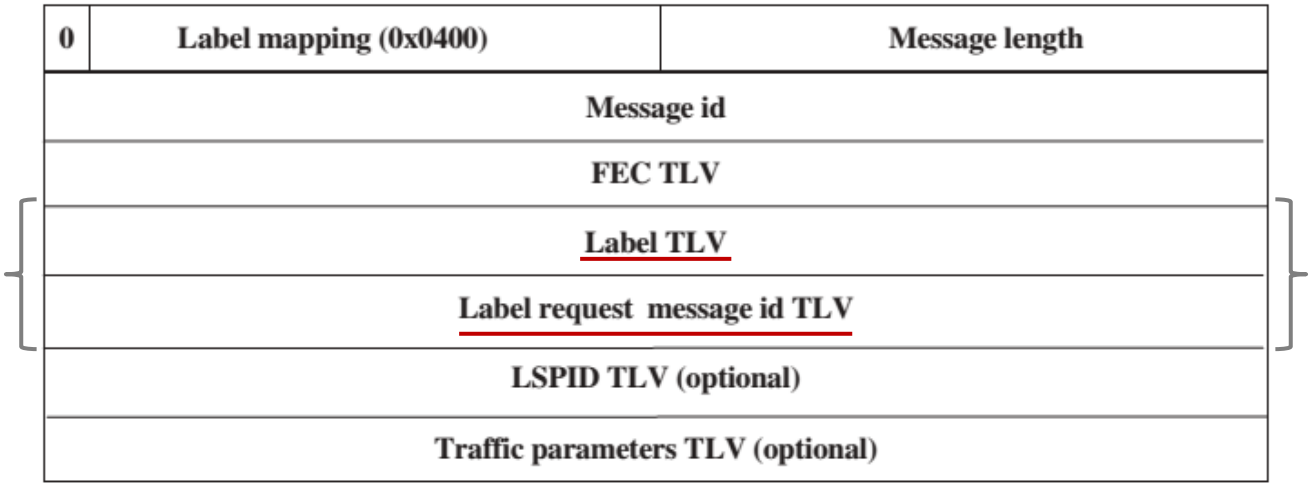
MPLS: CR-LDP.

- Campos de mensaje Label Request (III).
  - **Traffic parameters TLV** (opcional).
    - Contiene valores de parámetros de tráfico que caracterizan el CR-LSP en gestión (**ver más adelante**).
  - **Pinning TLV** (opcional).
    - Indica "fijación de ruta" (*route pinning*).
    - Aplicable a segmentos de un CR-LSP donde no es posible *routing* estricto.
  - **Resource class TLV** (opcional).
    - Indica clases de recursos (enlaces) que pueden emplearse para establecer el CR-LSP.
  - **Preemption TLV,** parámetro relativo a prioridad y posible desalojo de los CR-LSP (opcional).
    - Para fijar la prioridad de establecimiento (*SetPrio*) y mantenimiento (*HoldPrio*) del CR-LSP.
    - Permite determinar si un nuevo CR-LSP puede desalojar a otro CR-LSP ya establecido.
      - Alta prioridad de mantenimiento → CR-LSP establecido tiene baja probabilidad de ser desalojado.
      - Alta prioridad de establecimiento → CR-LSP en gestión, ante escasez de recursos, tiene alta probabilidad de desalojar a otro/s CR-LSP ya establecido/s.



MPLS: CR-LDP.

- Mensaje **Label Mapping**.



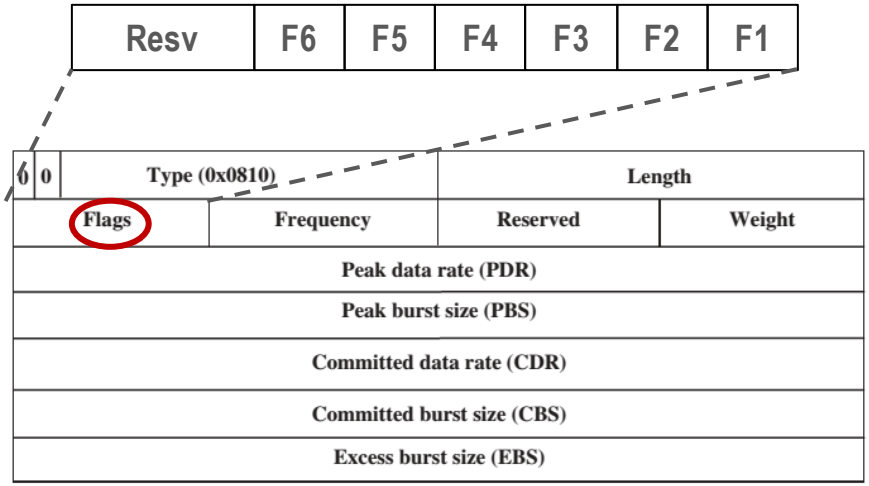
  - **FEC TLV**, ídem al del mensaje Label Request.
  - **Label TLV**, ídem al definido en LDP.
  - **Label request message id TLV.**
    - Contiene el parámetro "id" del mensaje Label Request al que se responde.
  - **LSPID TLV**, ídem al del mensaje Label Request.
  - **Traffic parameters TLV**.
    - Contiene valores de parámetros de tráfico para el CR-LSP que se está gestionando/estableciendo.

MPLS: CR-LDP.

- Traffic Parameters TLV.
  - Describe los parámetros de tráfico del CR-LSP que se está gestionando/estableciendo.
    - Los **solicitados** mediante Label Request.
    - Los **aceptados** mediante Label Mapping.
  - Formato:

0	0	Type (0x0810)		Length	
Flags		Frequency		Reserved	Weight
Peak data rate (PDR)					
Peak burst size (PBS)					
Committed data rate (CDR)					
Committed burst size (CBS)					
Excess burst size (EBS)					

- Traffic Parameters TLV(II).
  - **Flags** (8 bits).
    - Indican si son o no negociables los parámetros de tráfico solicitados con el mensaje Label Request.
      - Flag = **1**, parámetro correspondiente **negociable**.
      - Flag = **0**, parámetro correspondiente **no negociable**.

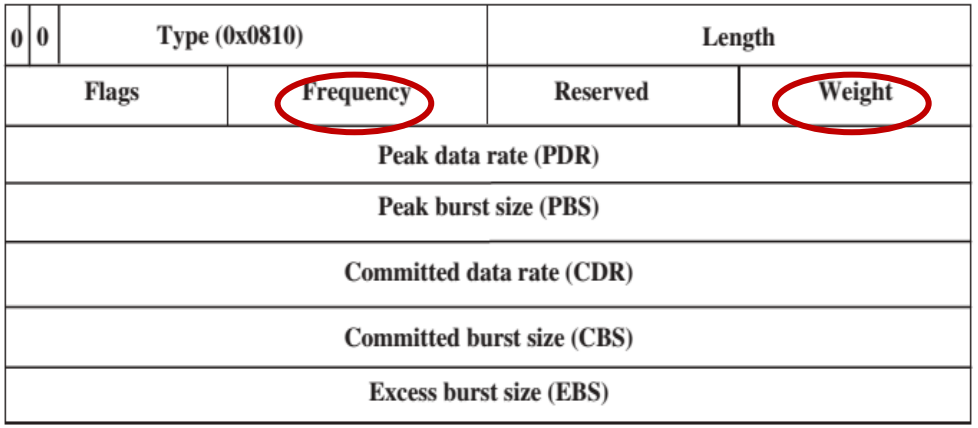


Correspondencia de los Flags.
F1: para el parámetro PDR.
F2: para el parámetro PBS.
F3: para el parámetro CDR.
F4: para el parámetro CBS.
F5: para el parámetro EBS.
F6: para el parámetro *Weight* (peso)

    - Respecto a los parámetros de tráfico negociables, si es el caso:
      - Label Mapping porta valor/es menor/es que se propone/n como reemplazo a lo solicitado con Label Request.

MPLS: CR-LDP.

- Traffic Parameters TLV(III).
  - **Weight** (8 bits).
    - Especifica cómo se compartirá el ancho de banda en exceso respecto al parámetro CDR.
    - "Peso" relativo del CR-LSP respecto al ancho de banda a compartir cuando hay exceso de éste.
    - Rango de valores entre 1 y 255. Para valor cero indica que no se aplica el "peso".
  - **Frequency** (8 bits).
    - Especifica con qué "frecuencia" se garantiza el parámetro CDR (*Committed Data Rate*).
    - Período de tiempo durante el cual el ancho de banda medio asignado al CR-LSP debe estar en correspondencia con el valor CDR.
    - Solo dos valores especificados: frecuente y muy frecuente.



MPLS: CR-LDP.

- Clases de servicio.
  - Diferentes clases de servicio pueden ser establecidas para los CR-LSP **mediante**:
    - Configuración de parámetros de tráfico como PDR, CDR, PBS, CBS, EBS.
    - Establecimiento de reglas apropiadas para el descarte y marcado de paquetes (PHB).
  - Ejemplos.
    - Servicio sensible al retardo.
      - Paquetes con tasa hasta el valor PDR tienen alta probabilidad de ser entregados con retardo mínimo.
      - Paquetes que superen la tasa PDR se descartan.
    - Servicio sensible al rendimiento (*throughput*).
      - Paquetes con tasa igual o menor al valor CDR tienen alta probabilidad de ser entregados.
      - Paquetes con tasa mayor al valor CDR tienen baja probabilidad de ser entregados.
    - Servicio *Best Effort*.
      - No hay garantías de servicio alguno.
- Resumiendo CR-LDP → Diapositiva inicial CR-LDP.

MPLS: distribución de etiquetas.

- Referencias bibliográficas.

  - H. Perros.
    - *Connection-oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and Optical Networks*, John Wiley & Sons, 2005.
  - Z. Wang.
    - *Internet QoS: architectures and mechanisms for Quality of Service*, Lucent Technologies, 2001.
  - L. De Ghein.
    - *MPLS Fundamentals*, Cisco Press, 2007.
  - V. Alwayn.
    - *Advanced MPLS Design and Implementation*, Cisco Press, 2001.
  - A. Sánchez-Monge & Krzysztof Grzegorz Szarkowicz:
    - *MPLS in the SDN Era*, O'Reilly Media, Inc. 2016.

  - RFC 3209: *RSVP-TE: extensions to RSVP for LSP tunnels*, 2001.
  - RFC 3212: *Constraint-base LSP setup using LDP*, 2002.
  - RFC 5036: *LDP specification*, 2007.
