Bloque IV: El nivel de red

Tema 9: IP

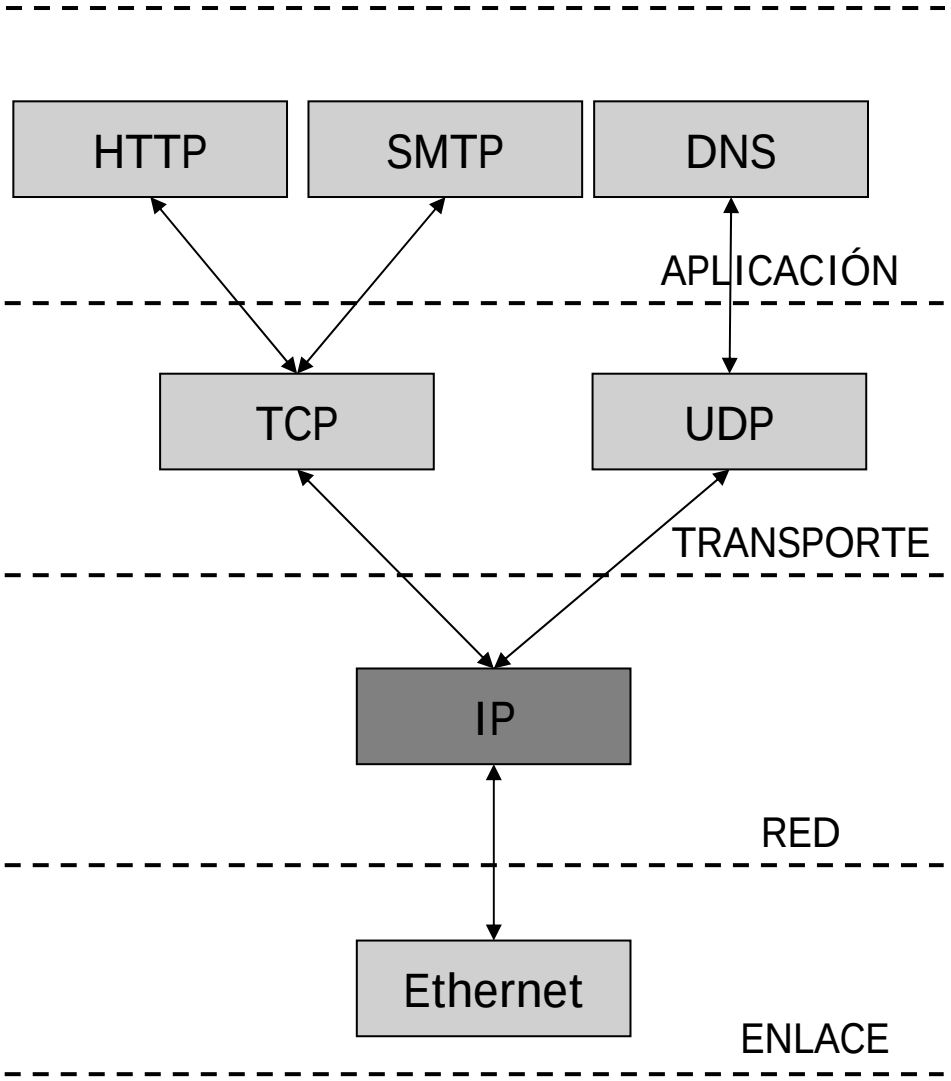
Índice

- Bloque IV: El nivel de red
  - Tema 9: IP
    - Introducción
    - Cabecera IP
    - Fragmentación IP

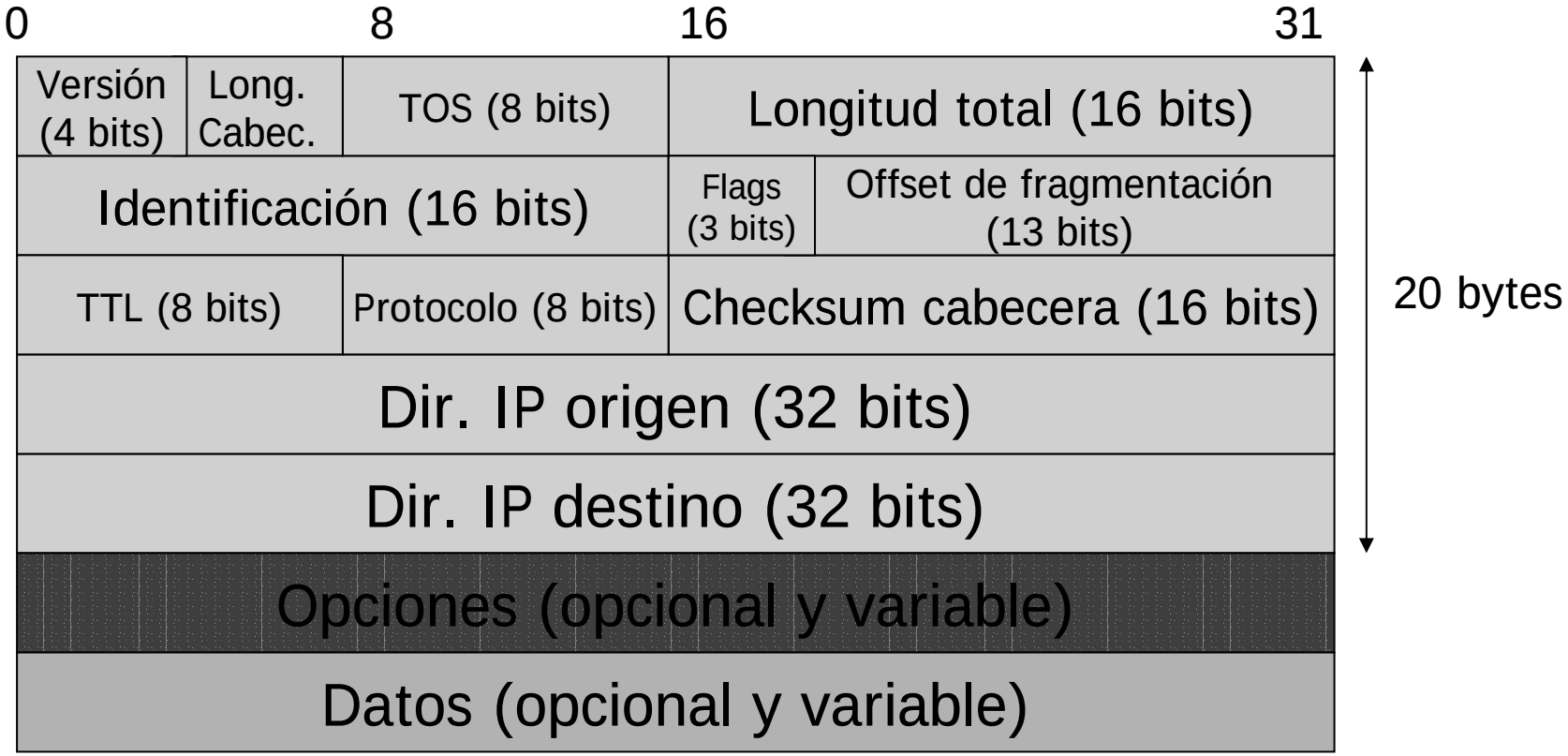
- **Referencias**
  - Capítulo 4 de “Redes de Computadores: Un enfoque descendente basdado en Internet”. James F. Kurose, Keith W. Ross. Addison Wesley, 2ª edición. 2003.
  - Capítulos 3 y 11 de “TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols”, W. Richard Stevens, Addison Wesley, 1994.

Introducción

- Internet Protocolo – Especificado en el RFC 791.
- IP proporciona un servicio de entrega de datagramas no fiable y no orientado a conexión
  - **No fiable**:
    - No hay garantía de que el datagrama alcance su destino.
    - Sigue un esquema “best effort”: Cuando algo va mal (p.e: un router con buffers agotados) ejecuta un algoritmo simple de gestión de errores: descarta el datagrama y trata de enviar un mensaje ICMP a la fuente.
  - **No orientado a conexión**:
    - IP no mantiene información de estado relativa a datagramas. Cada datagrama se gestiona independientemente de otros datagramas.
    - Los datagramas se pueden recibir desordenados.



Cabecera IP


0
8
16
31
Versión (4 bits)
Long. Cabec.
TOS (8 bits)
Longitud total (16 bits)
Identificación (16 bits)
Flags (3 bits)
Offset de fragmentación (13 bits)
TTL (8 bits)
Protocolo (8 bits)
Checksum cabecera (16 bits)
Dir. IP origen (32 bits)
Dir. IP destino (32 bits)
Opciones (opcional y variable)
Datos (opcional y variable)
20 bytes

Cabecera IP

- Utilizamos “network byte order”: ordenación de bytes “big endian”. Es el orden que se requiere en TCP/IP para transmitir los bytes en la red. Considerando palabras de 32 bits: bits 0-7 primero, bits 8-15 a continuación, etc., siendo el bit 0 el más significativo.
- **Versión**: Versión actual de IP (4).
- **Longitud de cabecera**: Número de bytes en la cabecera (incluidas las opciones si las hubiera (< 60 bytes).
- **Tipo de servicio** (TOS): 3 bits de precedencia (no se usan) + 4 bits de información + 1 bit que no se usa
  - Bits de información:
    - Minimizar retardo
    - Maximizar “throughput”
    - Maximizar fiabilidad
    - Minimizar coste económico
  - De los 4 bits de información, sólo uno puede estar a 1 con cada servicio. RFC 1350 indica cual es el uso que se debe hacer de estos bits para cada aplicación estándar.
- **Longitud total:** Longitud total de datagrama IP en bytes.
  - Utilizando este campo y el de longitud de la cabecera se puede saber con exactitud dónde comienza la zona de datos del datagrama IP y su longitud.
  - Campo de 16 bits: máximo tamaño es 65535 bytes.
  - Muchas aplicaciones limitan actualmente la longitud de los datagramas IP a 8192 bytes (caso de aquellas que utilizan NFS).
  - Se precisa este campo porque un datagrama IP puede llegar a ser de menor tamaño que el mínimo exigido por el nivel de enlace (Ethernet, 46 bytes). En estos casos se añaden bytes para configurar la trama del nivel de enlace.

Cabecera IP

- **Identificación**: identifica unívocamente el datagrama IP enviado por una máquina.
  - Normalmente se incrementa en una unidad cada vez que se envía un datagrama.
- **Flags y offset de fragmentación**: Campos para fragmentación.
- **TTL** (Time To Live): Establece un tiempo máximo de vida para el datagrama. Previene bucles indefinidos por problemas de enrutamiento.
  - Establece un límite en el número de “routers” por los que puede pasar un datagrama: normalmente 32 o 64.
  - Cada vez que el datagrama pasa por un “router”, se decrementa en una unidad el valor de este campo.
  - Cuando vale 0 se descarta el datagrama y se notifica al remitente con un mensaje ICMP.
- **Protocolo:** usado por IP para demultiplexar. Permite identificar de qué protocolo de la capa de transporte son los datos enviados.
- **Checksum de cabecera:** Sólo para la cabecera. Se calcula:
  - Se pone a cero
  - Se calcula la suma complemento a uno (en bloques de 16 bits) de la cabecera.
  - El complemento a uno de esta suma se almacena en el checksum.
  - En recepción, se hace la suma complemento a uno de la cabecera. Si no da todos unos, se considera error, se descarta el datagrama y no se notifica.
  - Como cada router decrementa el campo TTL para cada datagrama que enruta, debe actualizarse el checksum.

Cabecera IP

- **Dirección IP de origen y destino**: 32 bits cada una.

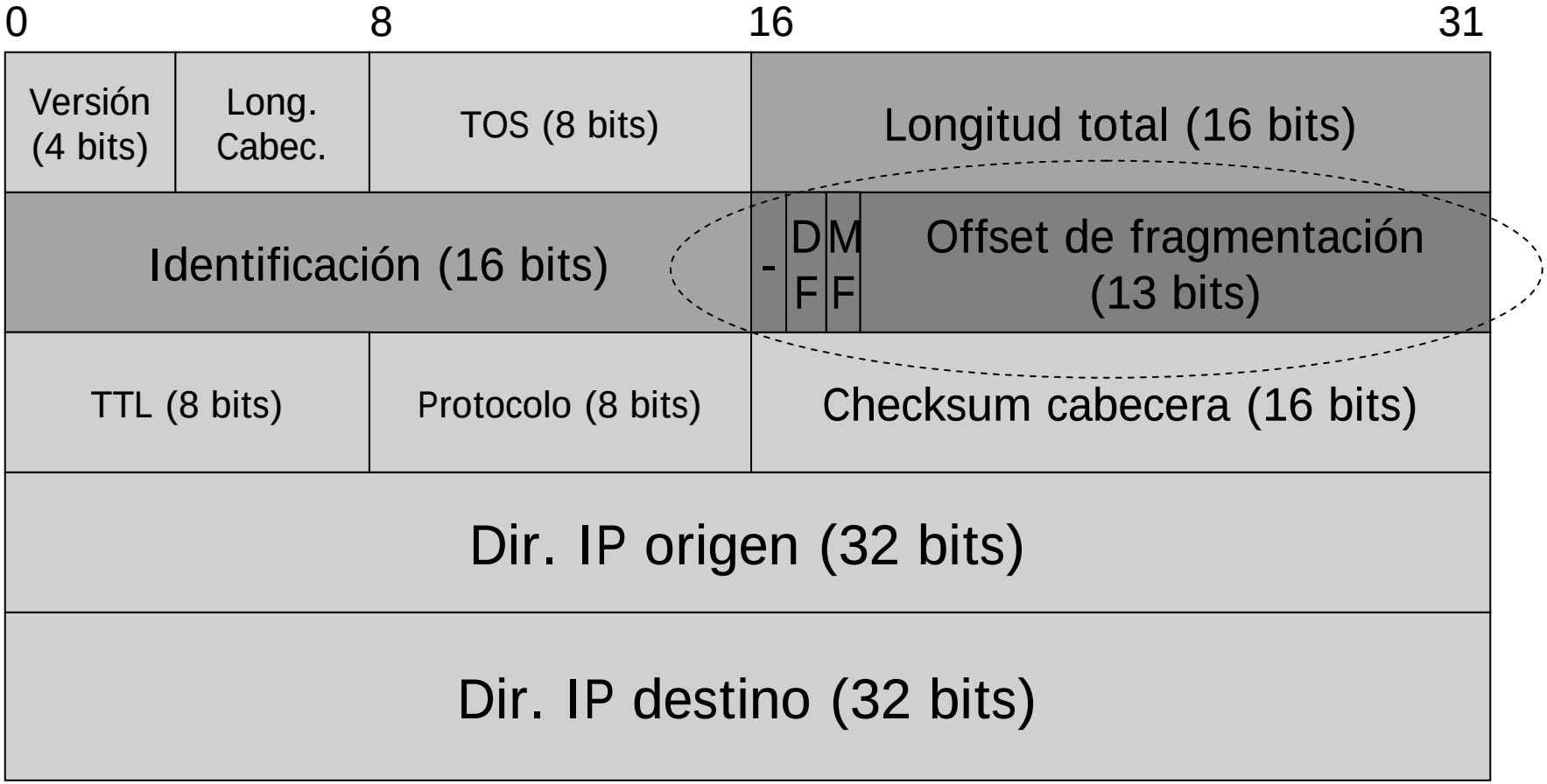
- **Opciones**: Información opcional de longitud variable. Las opciones definidas son:
  - Seguridad y gestión de restricciones (para aplicaciones militares) RFC 1108.
  - Registro de enrutamiento (record route): cada “router” marca su hora y dirección IP (máximo 9 routers).
  - Timestamp: Va anotando la ruta y además pone una marca de tiempo en cada salto (máximo 4 routers).
  - Lista estricta de enrutamientos (strict source routing): La cabecera contiene la ruta paso a paso que debe seguir el datagrama (máximo 9).
  - Lista difusa de enrutamientos (loose source routing): la cabecera lleva una lista de routers por los que debe pasar el datagrama, pero puede pasar además por otros (máximo 9).
  - La longitud ha de ser múltiplo de 32 bits. Si hace falta, se añaden bytes PAD para cumplir esta condición.

Fragmentación IP

- El nivel físico de la red impone un límite superior al tamaño de la trama que se puede transmitir (**MTU** – Maximum Transmission Unit).
  - Ethernet: 1500 bytes
  - Token Ring: 4440 bytes
- Cuando el nivel IP recibe un datagrama, identifica la interfaz de red a utilizar y la interroga sobre su MTU:
  - Compara la respuesta con la longitud del datagrama.
  - Se hace fragmentación si la longitud del datagrama es mayor que el MTU.
- El reensamblaje de datagramas IP fragmentados se produce cuando el datagrama alcanza el **destino final**:
  - Lo hace el nivel IP del destino.
  - La fragmentación es transparente al nivel de transporte.
- En la cabecera IP se almacena la información relacionada con la fragmentación IP.

Fragmentación IP

- Cabecera IP – Campos para fragmentación



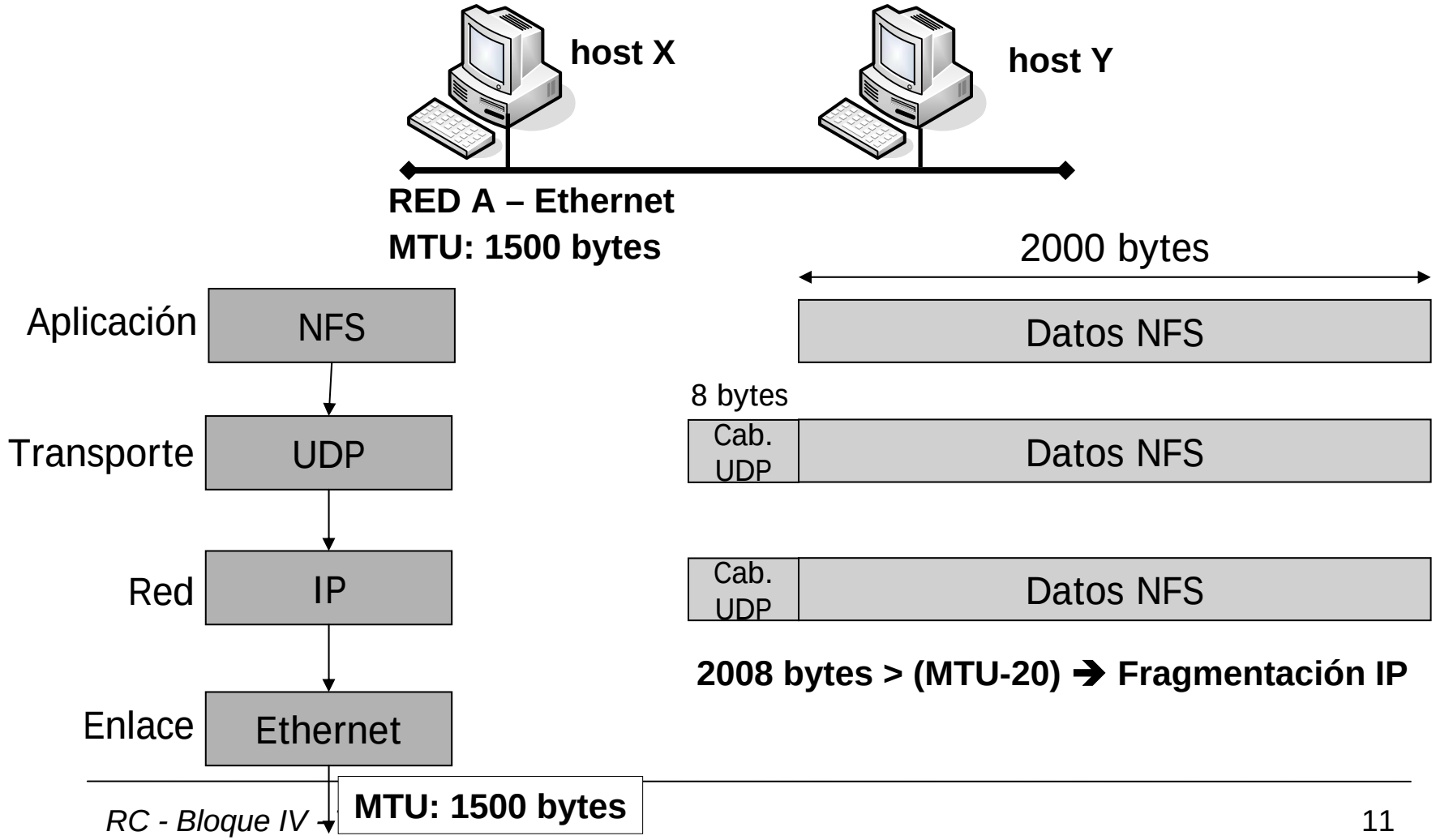
Fragmentación IP

- Identificación: valor único para cada datagrama IP transmitido ➔ Todos los fragmentos de un datagrama contienen el mismo valor.
- Flags:
  - El primer bit está reservado.
  - Bit DF (Don't Fragment): a 1 si se prohíbe fragmentar el datagrama IP.
  - Bit MF (More Fragments): a 1 si hay más fragmentos a continuación ➔ Se pone a 0 en el último fragmento.
- Offset de fragmento: desplazamiento en múltiplos de 8 bytes del fragmento desde el origen del datagrama original.
- Longitud total: se cambia la longitud total del datagrama por longitud total del fragmento.

- El tamaño de cada fragmento debe ser múltiplo de 8 bytes, excepto el último fragmento ➔ Por el campo offset de fragmento.
- Si está activado el flag DF y es necesario fragmentar ➔ Se genera un mensaje de error ICMP Unreachable Error (Fragmentation Required).

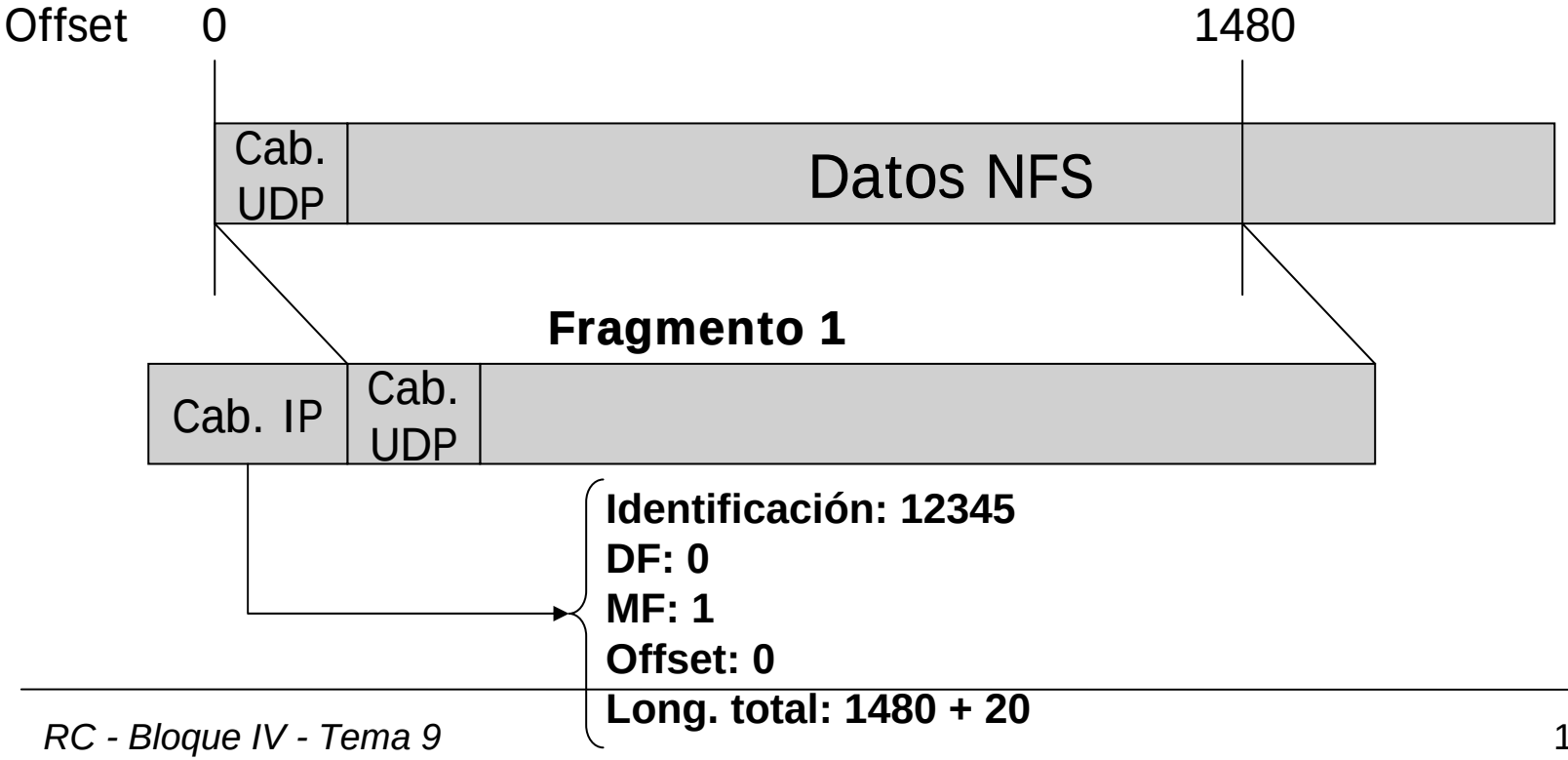
Fragmentación IP: Ejemplo 1

- Desde el host X se envían al host Y 2000 bytes de datos NFS (utilizando el protocolo UDP).

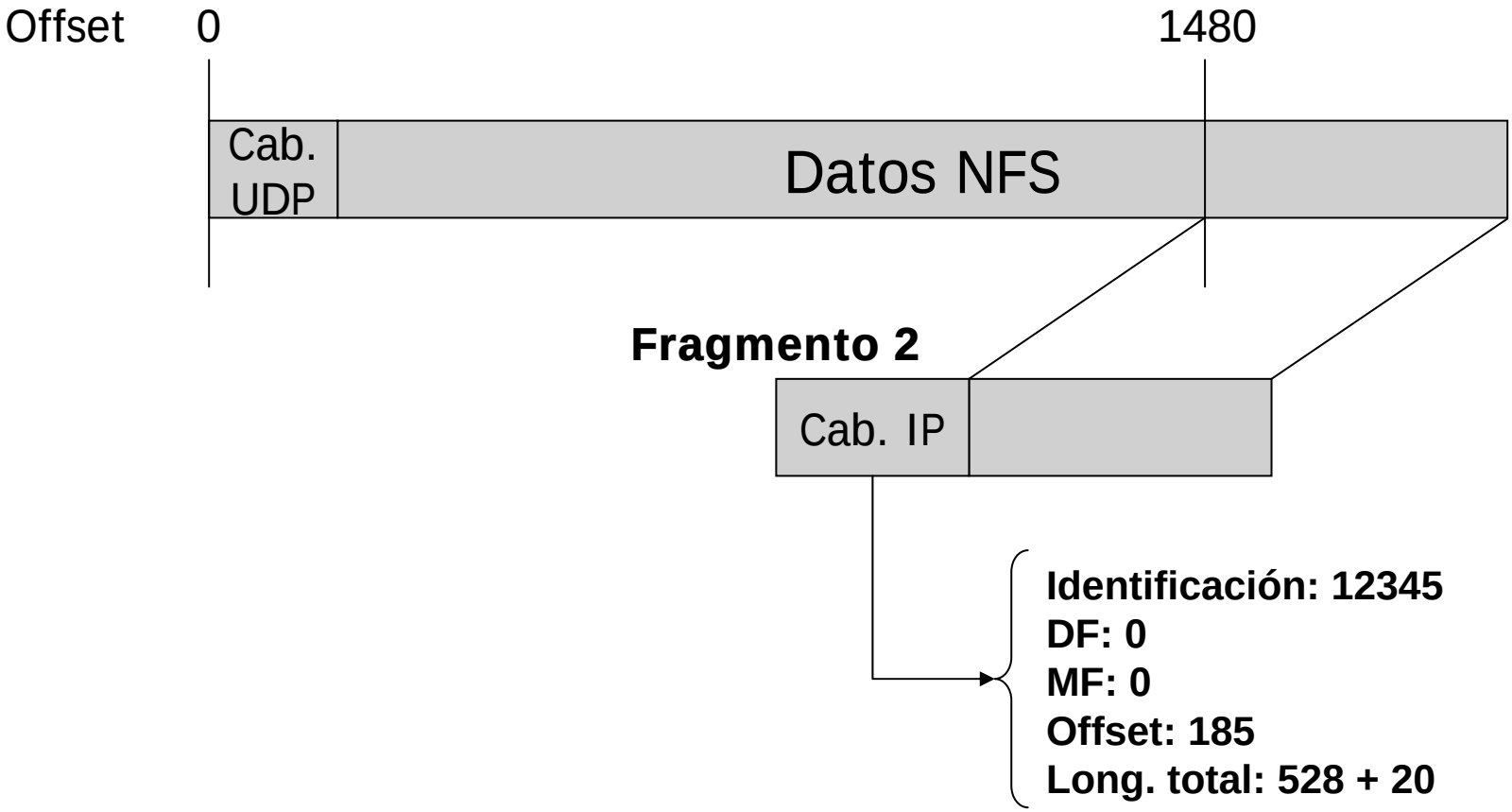


Fragmentación IP: Ejemplo 1

- MTU = 1500 bytes
- Cada fragmento lleva una cabecera IP ➔ 1500 – 20 = 1480
  - ¿Es 1480 múltiplo de 8? 1480/8= 185 ➔ Si
- Dividir 2008 bytes en fragmentos de 1480 bytes:
  - Fragmento 1: 1480 bytes + 20 bytes (cab. IP)
  - Fragmento 2: 528 bytes + 20 bytes (cab. IP)

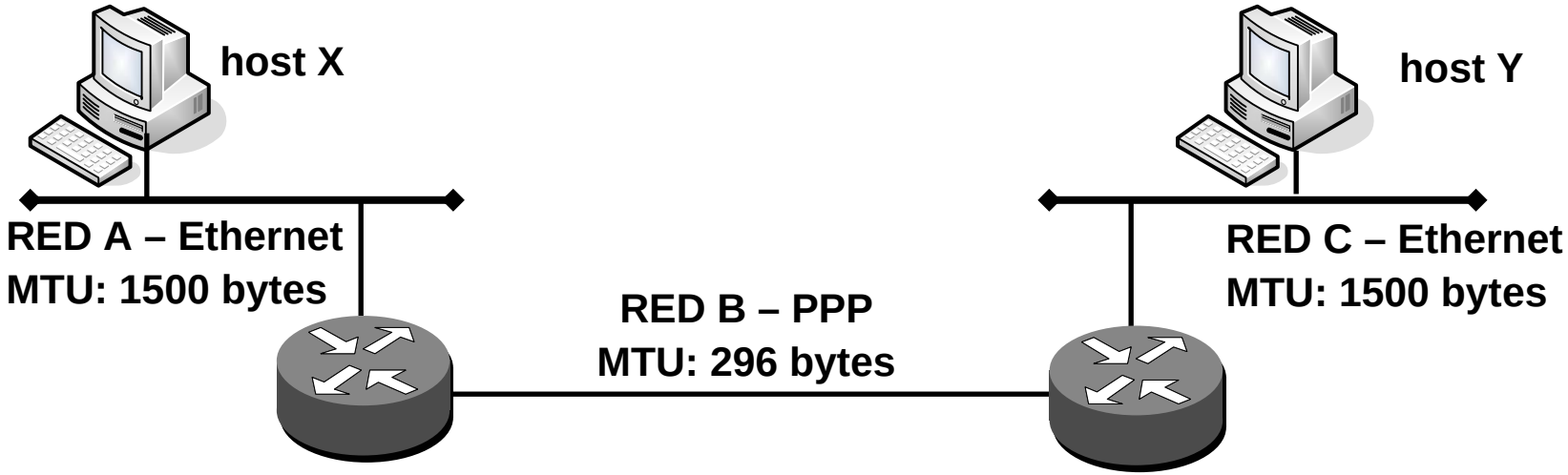


Fragmentación IP: Ejemplo 1



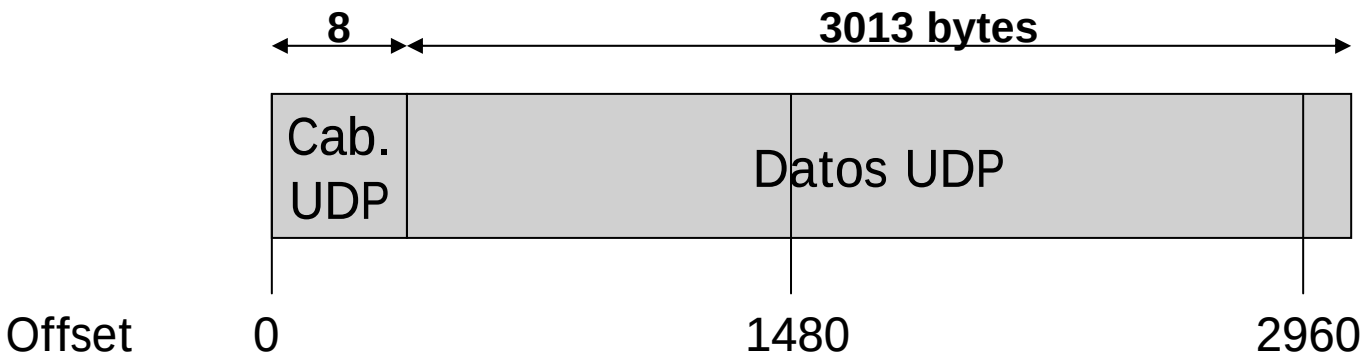
Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Desde el host X se envían al host Y 3013 bytes de datos UDP (sin incluir la cabecera UDP).



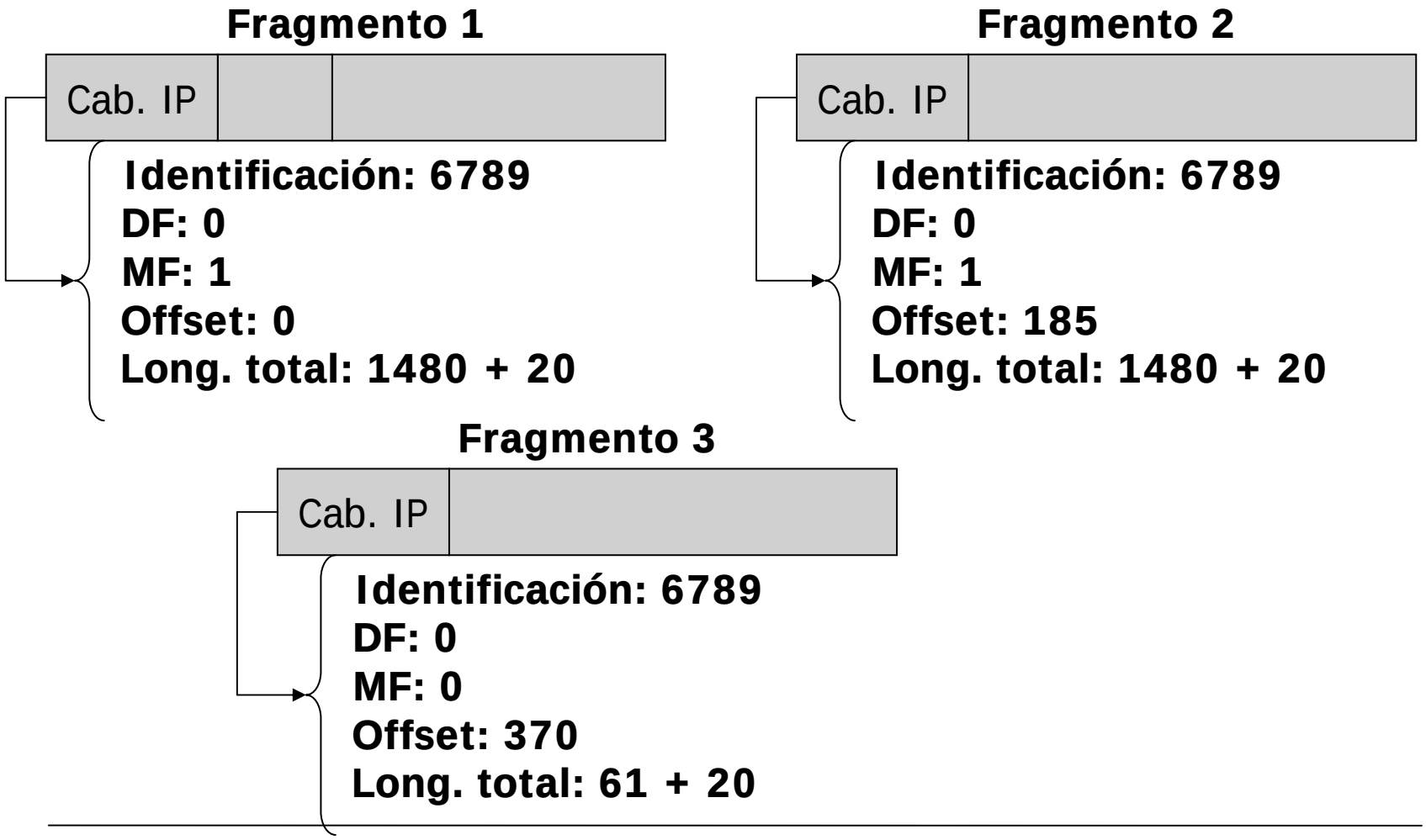
Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red A
  - MTU: 1500 bytes – 20 bytes (cab. IP) = 1480 bytes (1480/8=185 ➔ Múltiplo de 8)
  - 3013 bytes + 8 bytes = 3021 bytes de datos IP
  - Dividir 3021 bytes en fragmentos de 1480
    - Fragmentos 1 y 2: 1480 bytes
    - Fragmento 3: 61 bytes



Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red A:

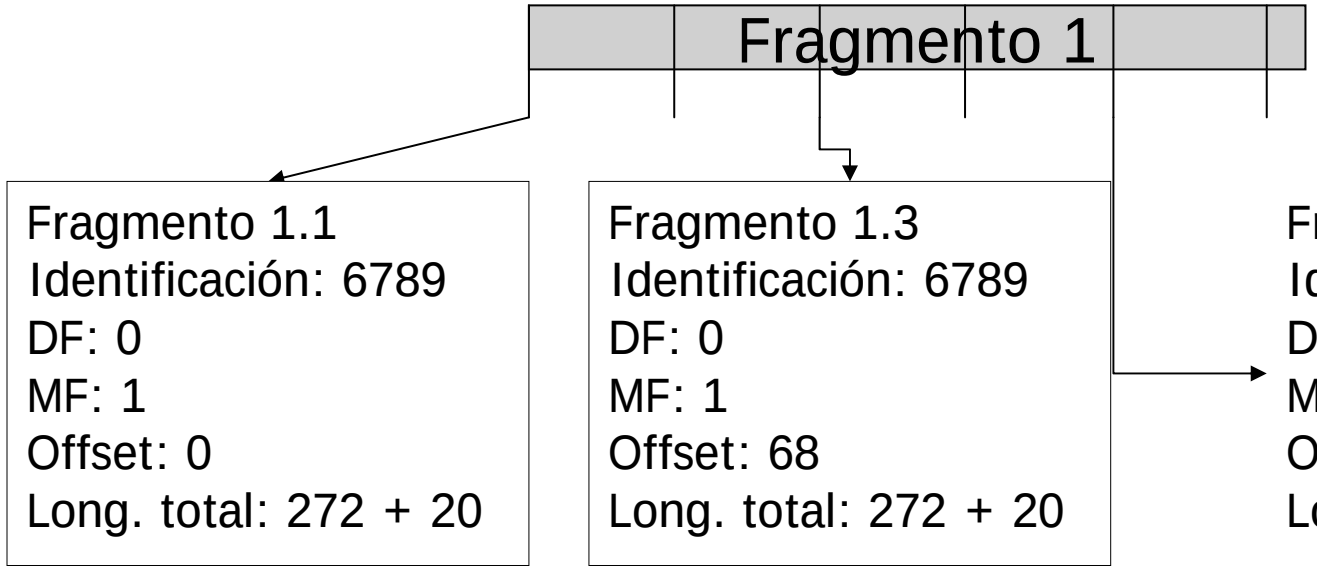


Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B
  - MTU: 296 bytes – 20 bytes (cab. IP) = 276 bytes (276/8=34.5 ➔ No es múltiplo de 8 ➔ Primer múltiplo menor de 276 ➔ 272 bytes)
  - ¿Se reagrupan los fragmentos? NO!
  - Dividir el Fragmento 1 ➔ Dividir 1480 bytes en fragmentos de 272 bytes:
    - 5 fragmentos de 272 bytes y 1 fragmento de 120 bytes
  - Dividir el Fragmento 2 ➔ Igual que el fragmento 1
  - Dividir el Fragmento 3 ➔ No: 81 bytes <= MTU

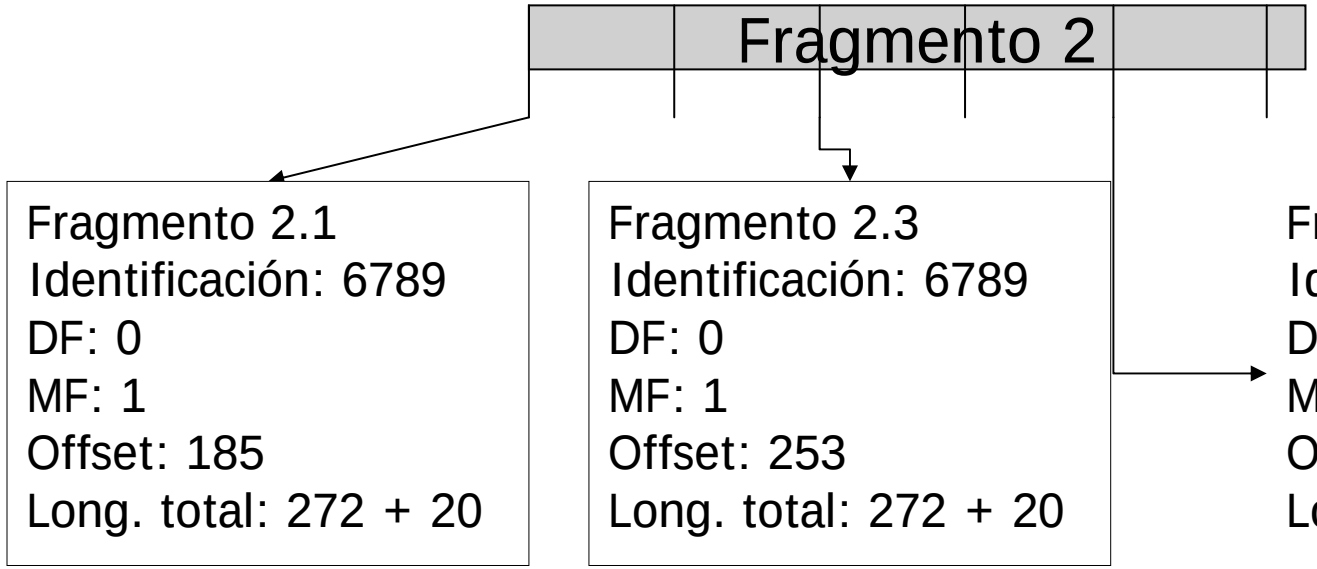
Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B



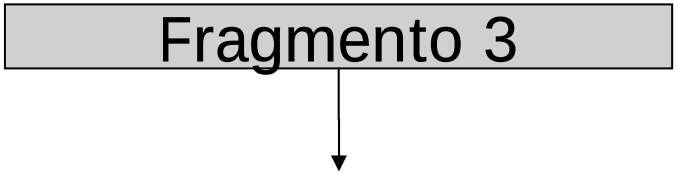
Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B



Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B

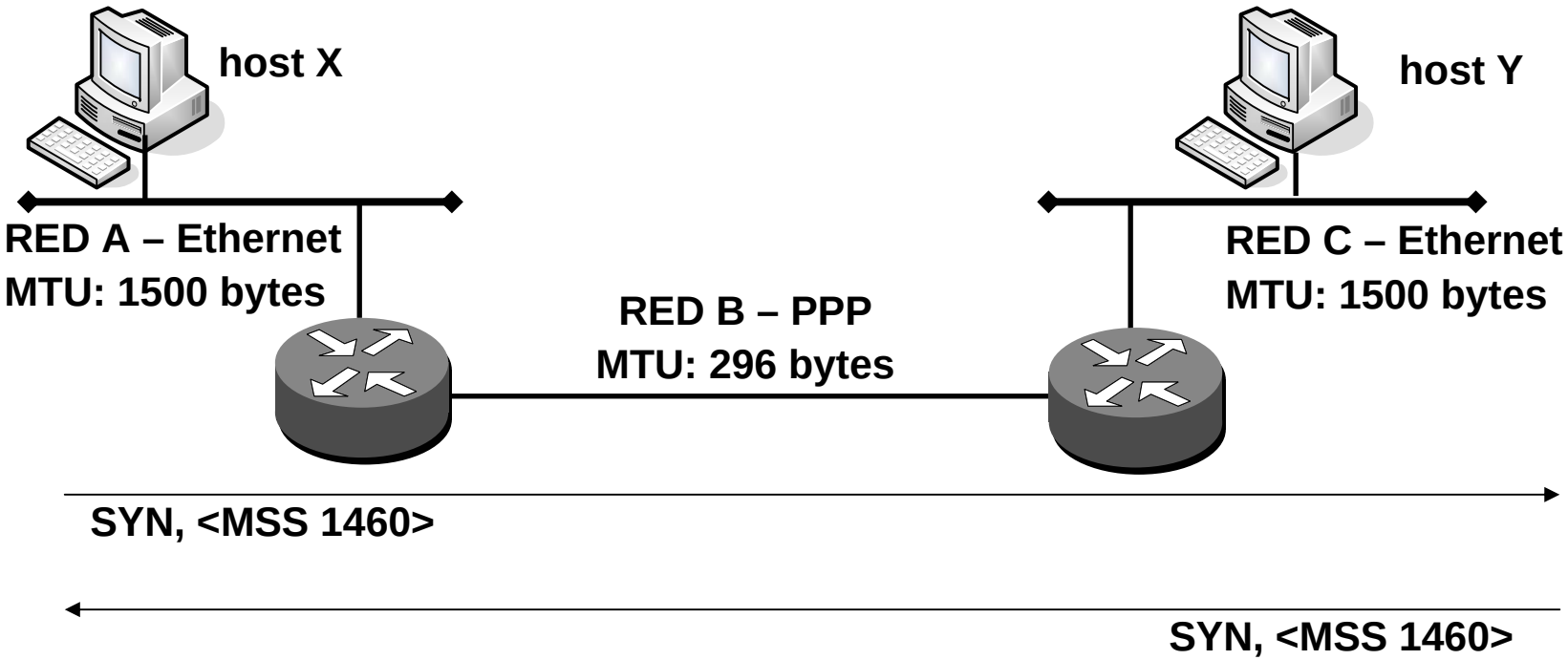


Fragmento 3
Identificación: 6789
DF: 0
MF: 0
Offset: 370
Long. total: 61 + 20

Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red C
  - MTU: 1500 bytes
  - ¿Qué fragmentos circulan por la red C: los mismos que por la red A o por la red B?
  - No se reagrupan hasta llegar al destino final ➔ Los mismos que por la red B.

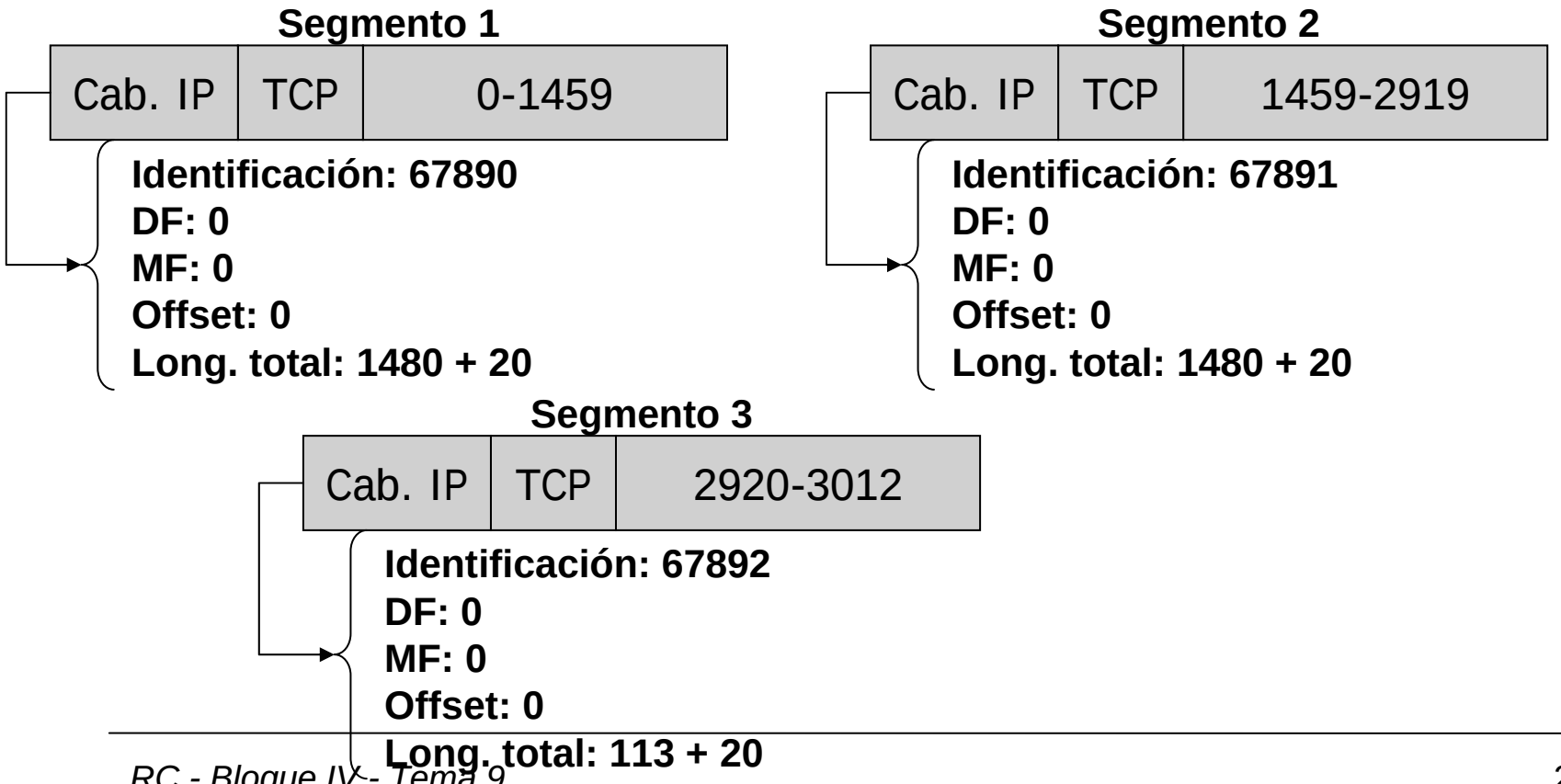
Fragmentación IP: Ejemplo 2



- Desde A se envían a B 3013 bytes de datos TCP (sin incluir la cabecera TCP).

Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red A
  - MSS: 1460 bytes
  - Dividir 3013 bytes en segmentos de 1460 bytes:
    - Segmento 1: 1460 bytes (0-1459)
    - Segmento 2: 1460 bytes (1460-2919)
    - Segmento 3: 93 bytes (2920-3012)

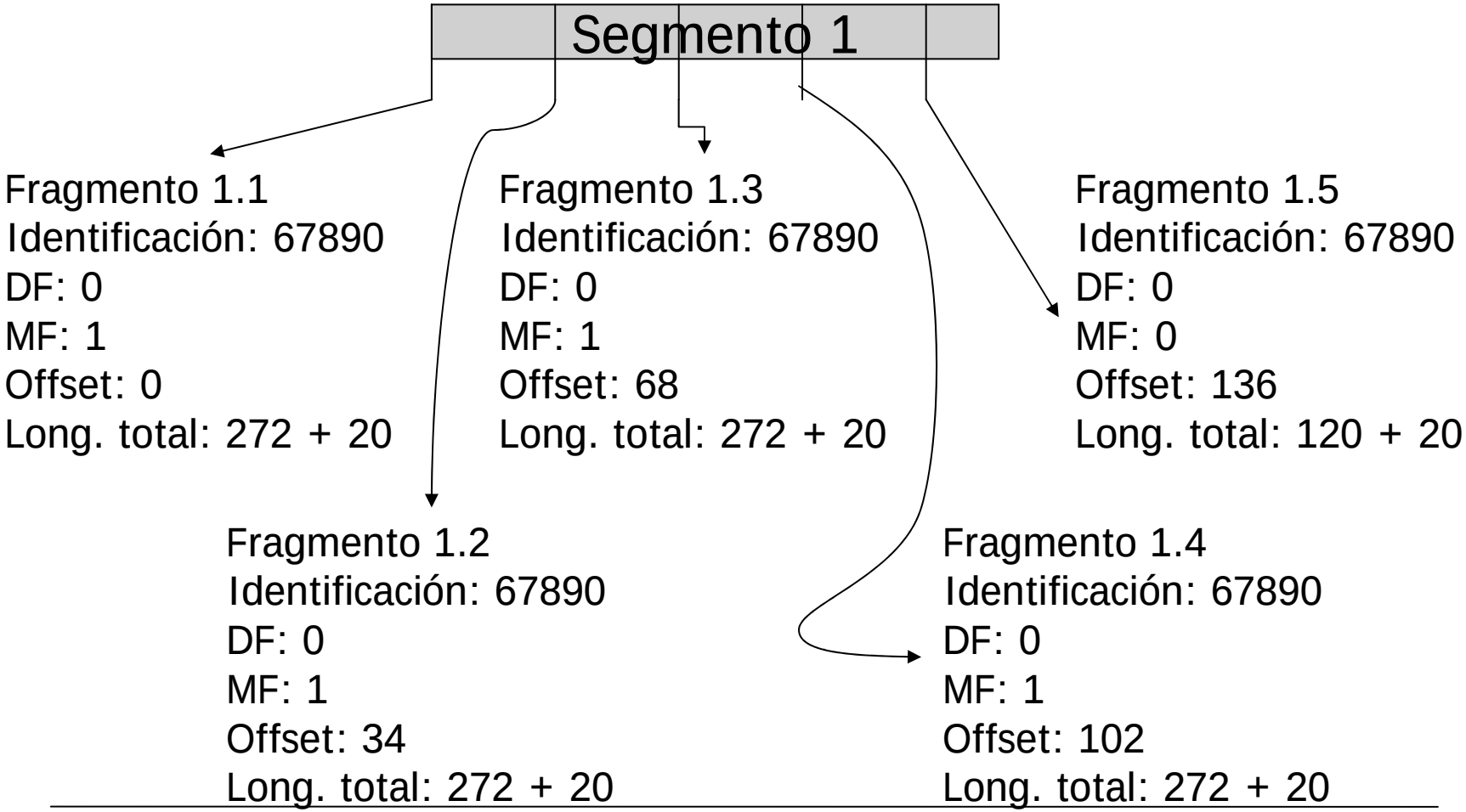


Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B
  - MTU: 296 bytes – 20 bytes (cab. IP) = 276 bytes (276/8=34.5 ➔ No es múltiplo de 8 ➔ Primer múltiplo menor de 276 ➔ 272 bytes)
  - Dividir el segmento 1 ➔ Dividir 1480 bytes en fragmentos de 272 bytes:
    - 5 fragmentos de 272 bytes y 1 fragmento de 120 bytes
  - Dividir el segmento 2 ➔ Igual que el fragmento 1
  - Dividir el segmento 3 ➔ No: 113 bytes <= MTU

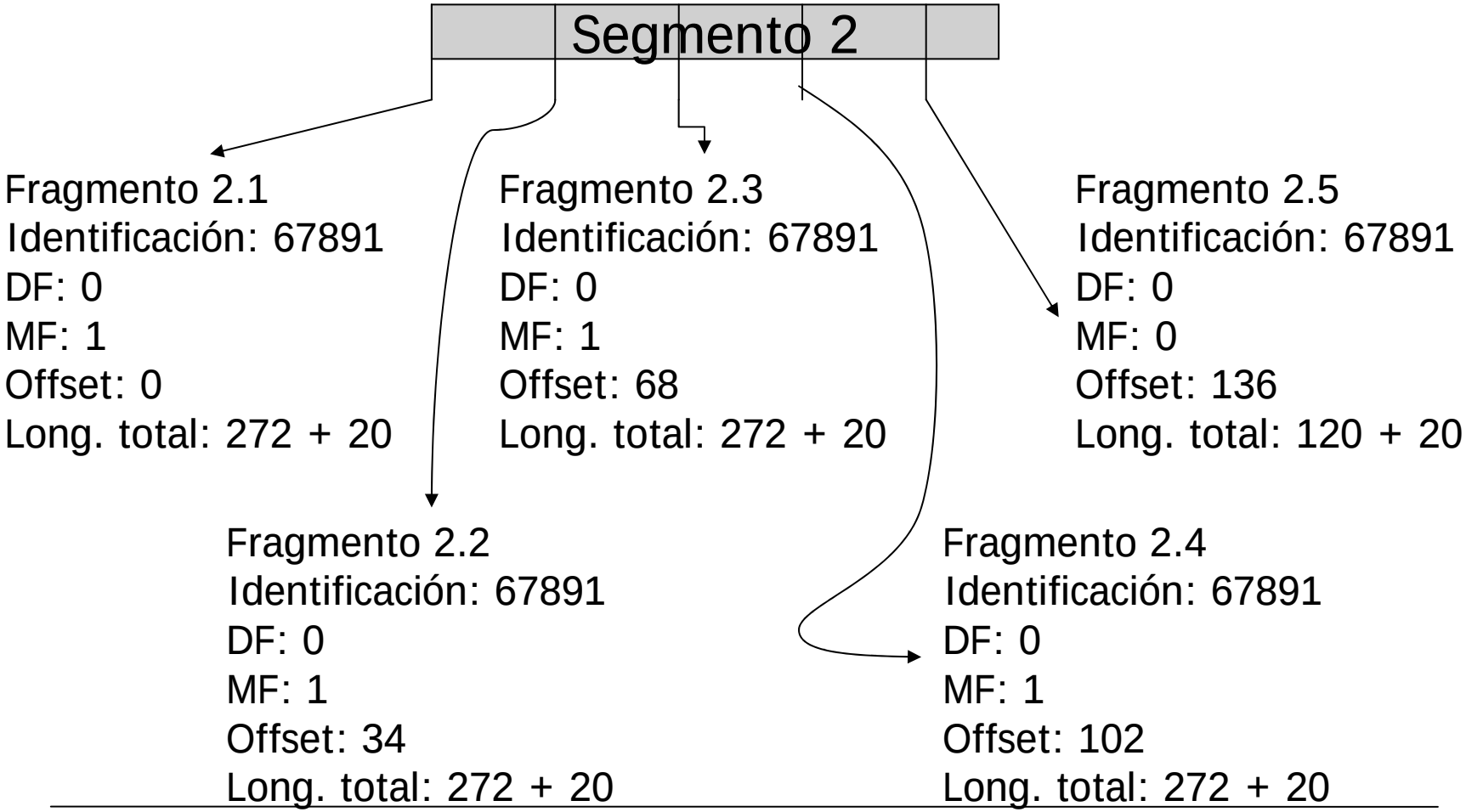
Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B



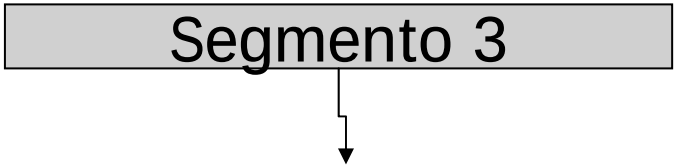
Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B



Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red B



Identificación: 67892
DF: 0
MF: 0
Offset: 0
Long. total: 113 + 20

Fragmentación IP: Ejemplo 2

- Red C
  - MTU: 1500 bytes
  - ¿Qué fragmentos circulan por la red C: los mismos que por la red A o por la red B?
  - No se reagrupan hasta llegar al destino final ➔ Los mismos que por la red B.