



PROTOCOLO IP

Fragmentación de datagramas en IPv4



Introducción

- En este documento se explicará el método que utiliza IPv4 (IP versión 4) para fragmentar los datos de un datagrama IP en varios datagramas de menor tamaño.
- Conocimientos previos.
 - *Para entender bien el contenido de este documento es necesario conocer el formato del datagrama IP.*
 - *No se debe confundir **el tamaño total de un datagrama** con **el tamaño de los datos de un datagrama**. El tamaño total es la suma del tamaño de la cabecera más el tamaño de los datos.*

Introducción

- **¿Qué es** la fragmentación de un datagrama IP?
 - *Consiste en fraccionar los datos de un datagrama en varios fragmentos. Para cada uno de estos fragmentos se creará un nuevo datagrama IP, y serán estos datagramas IP los que se envíen a través de la red.*
- **¿Quién puede** fragmentar un datagrama IP?
 - *Cualquier dispositivo que vaya a enviar un datagrama (hosts o routers) puede realizar dicha fragmentación.*
- **¿Cuándo se puede** fragmentar un datagrama IP?
 - *Todos los datagramas cuyo bit **DF** (Don't Fragment) esté desactivado (sea igual a 0) pueden ser fragmentados. Dicho bit se encuentra en el campo flags de la cabecera del datagrama.*
 - *Un fragmento puede ser fragmentado de nuevo.*
- **¿Quién puede reconstruir** un datagrama fragmentado?
 - *Solamente el dispositivo destino del datagrama.*
 - *Los routers no reconstruyen datagramas que estén de paso.*

Introducción

- ¿Cuándo se debe fragmentar un datagrama IP?
 - *Cuando un datagrama sea más grande que el tamaño máximo de los datos que caben en un paquete de nivel inferior (el nivel de enlace).*
- ¿Cómo se determina el tamaño máximo de los datos que caben en un paquete de nivel de enlace?
 - *Mediante el MTU de la tecnología de red usada.*
 - **MTU (Maximum Transmission Unit):** Es un valor que expresa el tamaño en *bytes* de la **unidad de datos más grande** que puede enviarse a través de un protocolo de red.
 - Ejemplo: En *Ethernet*, el MTU es 1500 *bytes*
- Si el tamaño total de un datagrama IP; que incluye cabecera y datos, y que viene indicado en el campo “tamaño total” de la cabecera del datagrama; es mayor que el MTU de la red local entonces el dispositivo debe fragmentar el datagrama IP.
- ¿Qué ocurre si un datagrama debe fragmentarse, pero el bit **DF** de la cabecera de dicho datagrama está activado?
 - *En ese caso el dispositivo descarta el datagrama IP ya que el bit DF nos indica que no podemos fragmentarlo; además, tampoco podemos enviarlo porque es demasiado grande.*
 - El dispositivo que descarta dicho datagrama puede informar del error al origen usando el protocolo ICMP.

¿Qué se fragmenta?

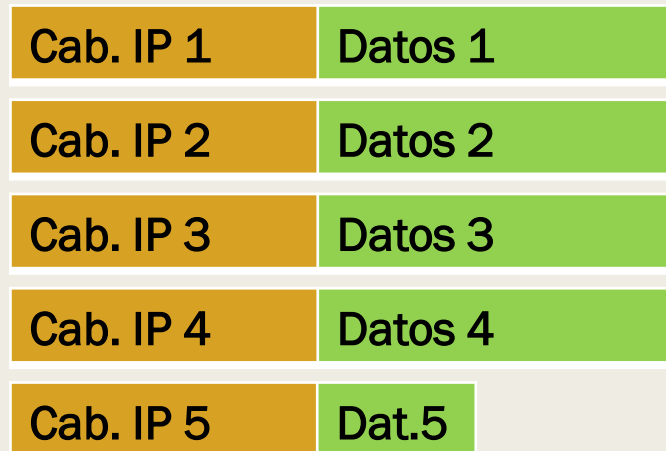
Datagrama completo:



Se fragmentan los datos:



Cada fragmento tendrá su propia cabecera IP:



Campos de la cabecera IPv4 afectados

0-3	4-7	8-15	16-18	19-31
Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio (ToS)	Longitud Total	
Identificador			Flags	Desplazamiento Fragmento (offset)
Tiempo de vida (TTL)	Protocolo		Suma de control de la cabecera (checksum)*	
Dirección IP origen				
Dirección IP destino				
Opciones...				
Datos...				

* El *checksum* se recalcula cada vez que cambia un campo de la cabecera IP.

Campos de la cabecera IPv4 afectados

- La cabecera de IPv4 utiliza cuatro campos para que los dispositivos puedan gestionar los fragmentos de un datagrama.
 - **Identificador (16 bits):** Lo usa el destino para saber a que datagrama completo pertenece cada fragmento que recibe.
 - El dispositivo origen del datagrama incluirá en este campo un identificador, que debe ser único para dicho dispositivo.
 - Cuando un datagrama es fragmentado, el identificador es copiado en todos los fragmentos, por lo que, todos los fragmentos cuyo origen es el mismo datagrama IP tendrán el mismo identificador en su cabecera IP.
 - El destino puede determinar a qué datagrama completo pertenece un fragmento mediante la “dirección IP origen” y el “identificador”
 - **Flags DF y MF:**
 - DF (Don't Fragment): Si está activado, un datagrama no puede ser fragmentado.
 - MF (More Fragments): Indica si es o no el último fragmento. El último fragmento tendrá MF = 0, el resto, MF = 1.
 - **Tamaño total (16 bits):** El “tamaño total” de un datagrama IP que contiene un fragmento es el tamaño de los datos del fragmento más el tamaño de la cabecera del fragmento, todo ello en bytes.
 - **Offset o desplazamiento (13 bits):** Indica la posición que ocupa el primer byte de este fragmento en el datagrama completo *dividida por ocho*.
 - Para determinar la posición que ocupa dicho byte hay que multiplicar el offset por ocho.
 - En binario, multiplicar por ocho es equivalente a añadir tres ceros a la derecha.
 - Este campo obliga a que el tamaño de los datos de los fragmentos (que no sean el último) debe ser múltiplo de ocho.

Fragmentación

- Lo primero que hay que hacer es decidir si se debe o no fragmentar un datagrama.
 - Debemos conocer la **MTU** de la red local, el **tamaño total** del datagrama y el bit **DF** de la cabecera del datagrama.
 - Si DF está activado no podemos fragmentar.
 - Si “MTU” \geq “tamaño total”, no hay que fragmentar.
 - Si “MTU” $<$ “tamaño total” y DF está desactivado, hay que fragmentar.

Fragmentación

- Para fragmentar, hay que determinar cuál es el tamaño de cada fragmento.
 - *Hay que tener en cuenta lo siguiente:*
 - Se fragmentan solo los datos del datagrama, no la cabecera IP.
 - El tamaño de los datos de todos los fragmentos menos el último debe ser múltiplo de ocho.
 - El tamaño total, incluyendo cabecera y datos, de los datagramas que contengan fragmentos debe ser menor o igual que el MTU de la red local.
 - *Al ser de tamaño variable, el tamaño de la cabecera IP de cada fragmento lo debemos conocer.*
 - Por defecto, consideraremos que el tamaño de la cabecera IP es el mínimo, 20 bytes.

Fragmentación

- Determinar el tamaño de los datos de cada fragmento, excepto el último:
 1. *Calculamos la resta: “MTU” - “tamaño de la cabecera”*
 2. *Dividimos el resultado por 8*
 3. *Comprobamos si es un número entero*
 - Si no lo es, nos quedamos solo con la parte entera del resultado de la división
 4. *Multiplicamos el resultado por 8.*
 - *Si en el paso 2 obtuvimos un número entero, en los pasos 3 y 4 obtendremos como resultado el valor calculado por la resta del paso 1.*
- Para determinar el “tamaño total” de un fragmento hay que sumar el “tamaño de la cabecera” al tamaño obtenido en el punto anterior.

Fragmentación

- Determinar el tamaño de los datos de cada fragmento, **ejemplo:**
 - Tamaño total = 2000 bytes
 - DF = 0
 - MTU de la red local = 1000 bytes
 - Tamaño de las cabeceras IP = 20 bytes
- Como $2000 > 1000$ y $DF = 0 \rightarrow$ Hay que fragmentar
- Calculamos.
 1. $1000 - 20 = 980$
 2. $980 / 8 = 122,5$
 3. 122
 4. $122 * 8 = 976$
- El ***tamaño de los datos*** de un fragmento es 976 bytes.
- El ***tamaño total*** del datagrama que contiene el fragmento es $976 + 20 = 996$ bytes.

Fragmentación

- Una vez calculado el tamaño de los datos de cada fragmento podemos calcular el número de fragmentos dividiendo y redondeando hacia arriba:

$$\text{Número de fragmentos} = \left\lceil \frac{\text{Tamaño de los datos del datagrama original}}{\text{Tamaño de los datos de un fragmento}} \right\rceil$$

- Siguiendo el ejemplo anterior:

$$\text{Tamaño de los datos del datagrama original} = 2000 - 20 = 1980 \text{ bytes}$$

$$\text{Tamaño de los datos de un fragmento} = 976 \text{ bytes}$$

$$\text{Número de fragmentos} = \left\lceil \frac{1980}{976} \right\rceil = [2,029] = 3 \text{ fragmentos}$$

- Ya disponemos de toda la información que necesitamos para calcular los valores de las cabeceras de todos los fragmentos (ver los siguientes casos)

Fragmentación

Caso 1: Fragmentando un datagrama completo

Datagrama con tamaño total = **2000 bytes**, DF = 0 y tamaño de la cabecera **20 bytes**. MTU de la red local = **1000 bytes**.

Los datos que vamos a fragmentar son $2000 - 20 = 1980$ bytes.

A partir del MTU, calculamos el tamaño de los fragmentos: $1000 - 20 = 980 \rightarrow 980 / 8 = 122,5 \rightarrow 122 * 8 = 976$ bytes

$$\text{Número de fragmentos} = \left\lceil \frac{1980}{976} \right\rceil = \lceil 2,029 \rceil = 3$$

Datagrama original:

	Campos de la cabecera IP				Tamaños en bytes	
#	Identificador	MF	Offset (despl/8)	Tamaño total	Desplazamiento (bytes)	Tamaño Datos (bytes)
1	0x0324	0	0	2000	0	1980

Fragmentación

Datagrama original:

	Campos de la cabecera IP				Tamaños en <i>bytes</i>	
#	Identificador	MF	Offset (despl/8)	Tamaño total	Desplazamiento (bytes)	Tamaño Datos (bytes)
1	0x0324	0	0	2000	0	1980

Fragmentos:

Tamaño máximo de los datos de los fragmentos: 976 bytes

	Campos de la cabecera IP				Cálculos en bytes		
#	Identificador	MF	Offset (depl/8)	Tamaño total	Desplazamiento (bytes)	Tamaño Datos (bytes)	Datos restantes (bytes)
1	0x0324	1	0	$976+20 = 996$	0	976	$1980-976 = 1004$
2	0x0324	1	$976/8 = 122$	$976+20 = 996$	$0+976 = 976$	976	$1004-976 = 28$
3	0x0324	0	$1952/8 = 244$	$28+20 = 48$	$976+976 = 1952$	28	$28-28 = 0$

Fragmentación

Caso 2: Fragmentando un fragmento de datagrama

Fragmento con tamaño total = **1204 bytes**, offset = **1272 bytes**, MF = **1**, DF = **0** y tamaño de la cabecera **20 bytes**.
MTU de la red local = **444 bytes**.

Los datos que vamos a fragmentar son $1204 - 20 = 1184$ bytes.

A partir del MTU, calculamos el tamaño de los fragmentos: $444 - 20 = 424 \rightarrow 424 / 8 = 53 \rightarrow 424$ bytes

$$\text{Número de fragmentos} = \left\lceil \frac{1184}{424} \right\rceil = \lceil 2,792 \rceil = 3$$

Datagrama original:

	Campos de la cabecera IP				Tamaños en bytes	
#	Identificador	MF	Offset (despl/8)	Tamaño total	Desplazamiento (bytes)	Tamaño Datos (bytes)
1	0x1345	1	159	1204	1272	1184



Fragmentación

Datagrama original:

	Campos de la cabecera IP				Tamaños en <i>bytes</i>	
#	Identificador	MF	Offset (despl/8)	Tamaño total	Desplazamiento (bytes)	Tamaño Datos (bytes)
1	0x1345	1	159	1204	1272	1184

Fragmentos:

Tamaño máximo de los datos de los fragmentos: 424 bytes

	Campos de la cabecera IP				Cálculos en bytes		
#	Identificador	MF	Offset (depl/8)	Tamaño total	Desplazamiento (bytes)	Tamaño Datos (bytes)	Datos restantes (bytes)
1	0x1345	1	$1272/8 = 159$	$424+20 = 444$	1272	424	$1184-424 = 760$
2	0x1345	1	$1696/8 = 212$	$424+20 = 444$	$1272+424 = 1696$	424	$760-424 = 336$
3	0x1345	1	$2120/8 = 265$	$336+20 = 356$	$1696+424 = 2120$	336	$336-336 = 0$