

# Protocolo IP Internet Protocol

Ing. Gilberto Sánchez Quintanilla

## Introducción

- IP (Internet Protocol) conforma la capa Internet del modelo TCP/IP.
- Proporciona la funcionalidad de red que hace posible la existencia de redes a gran escala.

## Introducción

### ◆ Servicios IP

- Protocolo de red
- Protocolo de clientes múltiples
- Entrega de datagramas
- Independencia de la capa de interfaz de red
- Fragmentación y reensamblado
- Extensibles mediante opciones IP
- Tecnología de intercambio de paquetes de datagramas.

## Introducción

- Protocolo de red
  - ◆ IP es un protocolo de la capa de red.
  - ◆ IP es un protocolo enrutable.
  - ◆ El encabezado IP contiene información necesaria para enrutar el paquete, incluyendo direcciones IP de origen y destino.
  - ◆ IP contiene una cuenta de enlaces, que se utiliza para limitar el número de nodos por los cual puede pasar el paquete antes de ser descartado.

Enc. IP

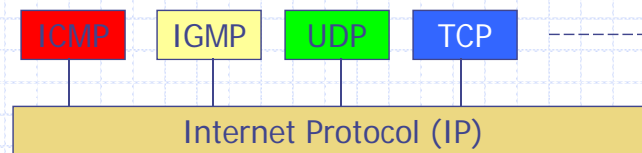
Datos

Datagrama IP

## Introducción

### ■ Protocolo de clientes múltiples

- ♦ IP es un transportador entre redes para protocolos de capa superior.
- ♦ Un paquete IP solo puede contener datos de un protocolo de capa superior.
- ♦ Tanto el cliente como el servidor, siempre utilizan el mismo protocolo para un intercambio específico de datos



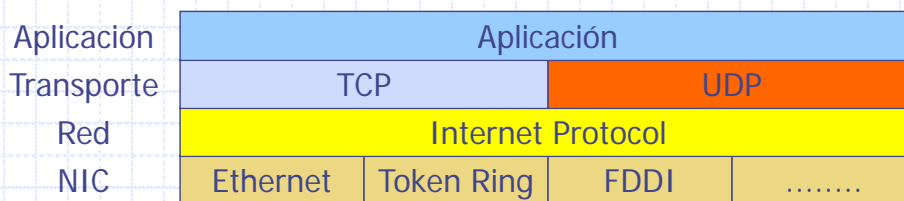
## Introducción

### ■ Entrega de datagramas

- ♦ IP es un protocolo de **entrega de datagramas** que proporciona un servicio no orientado a conexión.
- ♦ Es un protocolo **no confiable**, ya que IP envía un paquete sin secuencia y sin una confirmación de que ha llegado al destino.
- ♦ Es un protocolo del **mejor esfuerzo (best effort)**, ya que hace el mayor esfuerzo para entregar los paquetes al siguiente nodo o al destino final.

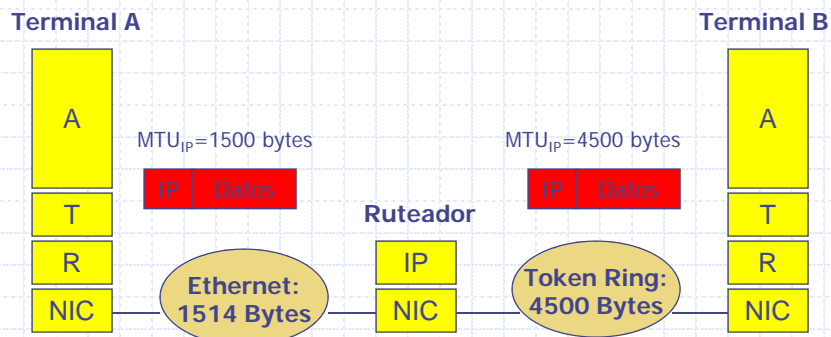
## Introducción

- Independencia de la capa de interfaz de red
  - ♦ En la capa de Internet, IP está diseñado para ser independiente de la tecnología de red presente en la capa de interfaz de red.



## Introducción

- Fragmentación y reensamblado
  - ♦ Para ser compatible con el MTU (unidad de transmisión máxima) de las tramas de las diferentes tecnologías de la capa de interfaz de red, IP permite la fragmentación de los datos al enviar los paquetes a través de una red que tenga un menor MTU (con respecto al paquete).

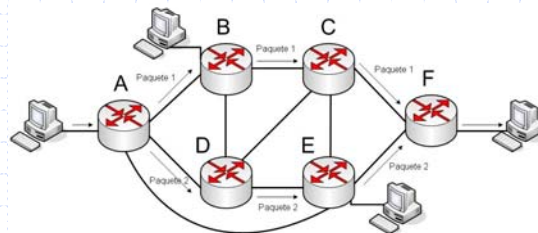


## Introducción

- Extensible mediante opciones IP
  - ♦ Cuando se requieren características que no están disponibles mediante el encabezado IP estándar (20 bytes), se pueden utilizar opciones IP.
  - ♦ Las opciones IP se anexan en la cabecera IP estándar y proporcionan funcionalidad personalizada, como la capacidad de especificar una ruta que puede seguir un datagrama IP en la red.

## Introducción

- Tecnología de intercambio de paquetes de datagrama
  - ♦ Cada paquete es un datagrama, un mensaje no secuenciado sin confirmación que se reenvía a través de los ruteadores de la red conmutada mediante una dirección global.



## Introducción

### ◆ MTU IP

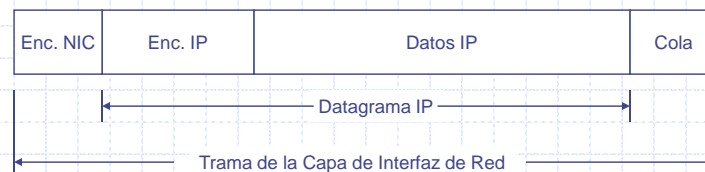
- Cada tecnología de la capa NIC impone un tamaño máximo (MTU) de trama que se puede enviar.

Tecnología de la NIC	MTU IP
Ethernet II	1500
IEEE 802.3 (SNAP)	1492
Token Ring	Varía
FDDI	4352
X.25	1600
Frame Raley	1592
ATM	9180

## Introducción

### ◆ El datagrama IP

- El datagrama IP esta formado por un encabezado IP y datos IP (de subcapa o capa superior).

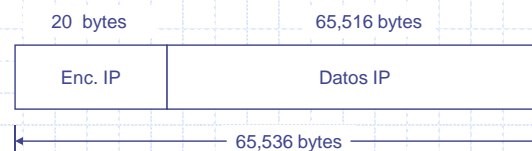


## Datagrama IP

- Encabezado IP: Tiene un tamaño variable , entre 20 y 60 bytes, en incrementos de 4 bytes.
- Proporciona:
  - ◆ Compatibilidad de enrutamiento
  - ◆ Identificación de carga
  - ◆ Indicación del tamaño del encabezado
  - ◆ Indicación del tamaño del datagrama
  - ◆ Compatibilidad de fragmentación
  - ◆ Opciones

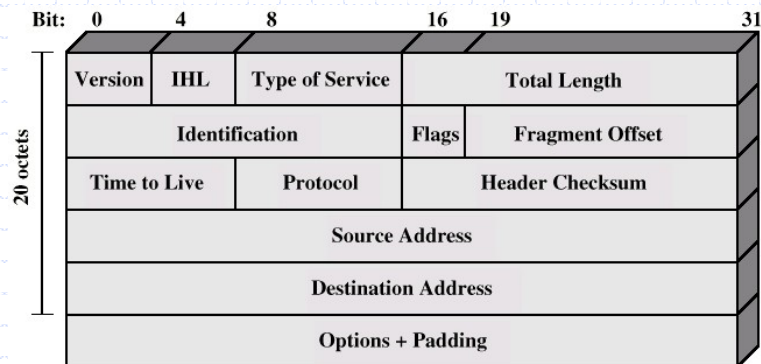
## Datagrama IP

- Carga IP: La carga IP (datos) tiene un tamaño variable de hasta 65,516 bytes (un datagrama IP de 65,536 bytes con un encabezado IP de 20 bytes)

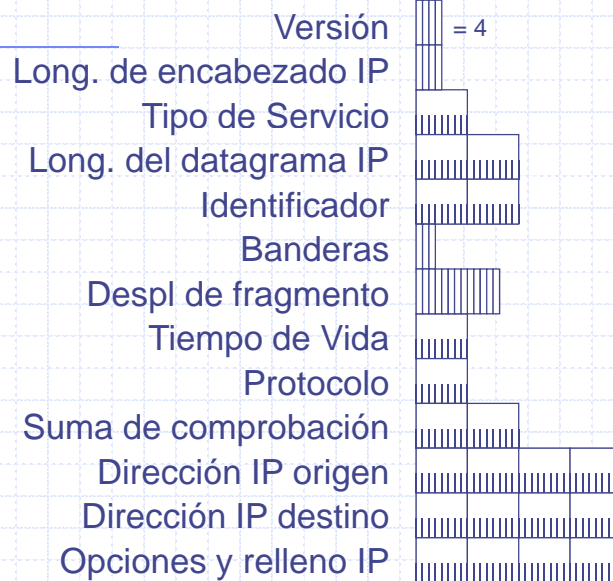


## Encabezado IP

- La estructura del encabezado IP es la siguiente.



## Encabezado IP





## Encabezado IP

### ■ Versión.

- ♦ Es un campo de 4 bits de longitud y se utiliza para indicar la versión del encabezado IP.
- ♦ La versión IP estandar utilizada en la actualidad en redes corporativas e Internet es la versión 4
- ♦ La siguiente versión de IP es IPv6 (pero el encabezado IP cambia en esta versión)
- ♦ <http://www.iana.org/assignments/version-numbers>

## Encabezado IP

Registry Name: IP Version Numbers

Reference: [RFC2780]

Registration Procedures: IETF Standards Action

### Registry:

Decimal	Keyword	Version	Reference
0-1	Reserved		[JBP][RFC4928]
2-3	Unassigned		[JBP]
4	IP	Internet Protocol	[RFC791][JBP]
5	ST	ST Datagram Mode	[RFC1190][JWF]
6	IPv6	Internet Protocol v6	[RFC1752]
7	TP/IX	TP/IX: The Next Int.	[RFC1475]
8	PIP	The P Internet Prot.	[RFC1621]
9	TUBA	TUBA	[RFC1347]
10-14		Unassigned	[JBP]
15		Reserved	[JBP]

## Encabezado IP

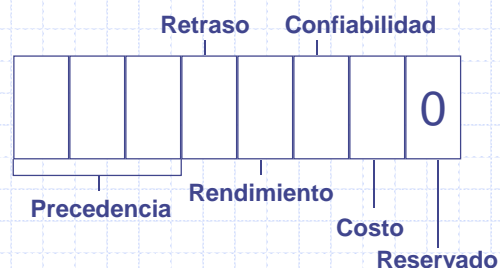
### ■ Longitud del encabezado IP

- ♦ Es un campo de 4 bits
- ♦ Con 4 bits se pueden tener valores de 0 a 15.  
 $2^n = 16$  (0 a 15).
- ♦ Debido a que el encabezado IP estandar (desde versión a IP destino) tiene un tamaño de 20 bytes, el campo versión es un valor múltiplo de 4 bytes.
- ♦ Por lo tanto el mínimo valor es 5, donde  $5 \times 4 = 20$ .
- ♦ El máximo es 15, donde  $15 \times 4 = 60$ , donde 20 son del campo versión a IP destino y 40 son del campo opciones + relleno.

## Encabezado IP

### ■ Tipo de Servicio

- ♦ Campo de 8 bits de longitud.
- ♦ Se utiliza para indicar la calidad de servicio con la que el datagrama será entregado por el ruteador.



## Encabezado IP

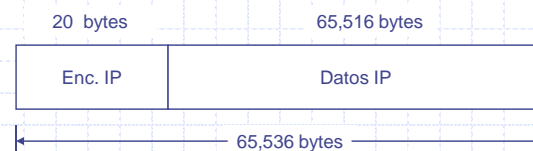
### ■ Tipo de servicio

- ♦ Normalmente un host emisor envía un datagrama IP con el campo TOS configurado con el valor de 0x00.
- ♦ Habitualmente, los ruteadores omiten los valores del campo TOS y reenvían todos los datagramas IP como si los campos no estuvieran configurados.
- ♦ Eso se conoce como enrutamiento **TOSO**.

## Encabezado IP

### ■ Longitud del datagrama IP

- ♦ Es un campo de 2 bytes de longitud y se usa para indicar el tamaño del datagrama IP.
- ♦ Con 16 bits la longitud máxima total que puede indicarse es de 65536 bytes.



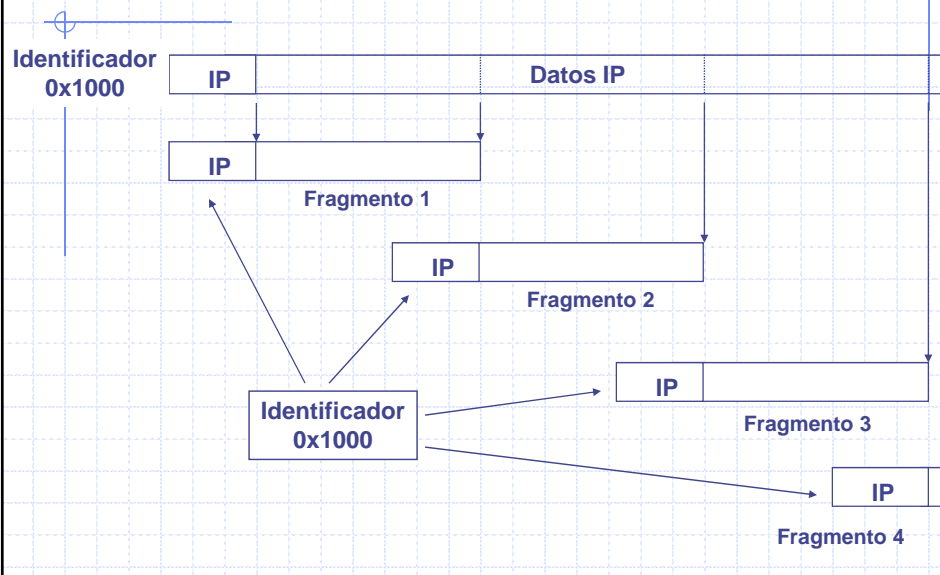
- ♦  $\text{Datos IP} = \text{Long. datagrama IP} - \text{Long. enc. IP}$

## Encabezado IP

### ■ Identificador

- ◆ Este campo tiene 2 bytes de longitud y se utiliza para identificar el paquete IP específico enviado entre el nodo origen y el nodo destino.
- ◆ El host emisor define el valor del campo, y el campo se incrementa para datagramas IP posteriores.
- ◆ El campo identificador se utiliza para identificar los fragmentos de un datagrama IP original.

## Encabezado IP



## Encabezado IP

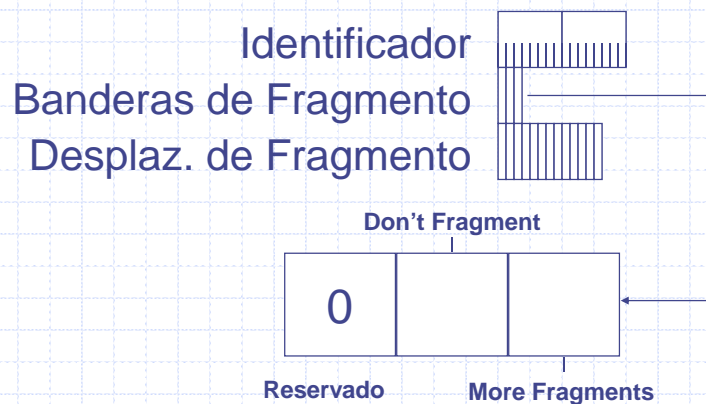
### ■ Banderas (Indicadores)

- ♦ Campo de 3 bits, que contiene 2 indicadores de fragmentación.
- ♦ No Fragmentar (DF - Don't Fragment).  
Bandera que se utiliza para indicar si un paquete (datos IP) son adecuados para la fragmentación.
  - DF = 0, se puede fragmentar el paquete.
  - DF = 1, no se puede fragmentar el paquete
- ♦ Mas Fragmentos (MF – More Fragments).  
Bandera que indica si existen más gfragmentos a seguir para este datagrama IP.
  - MF = 0, no hay más fragmentos.
  - MF = 1, hay más fragmentos

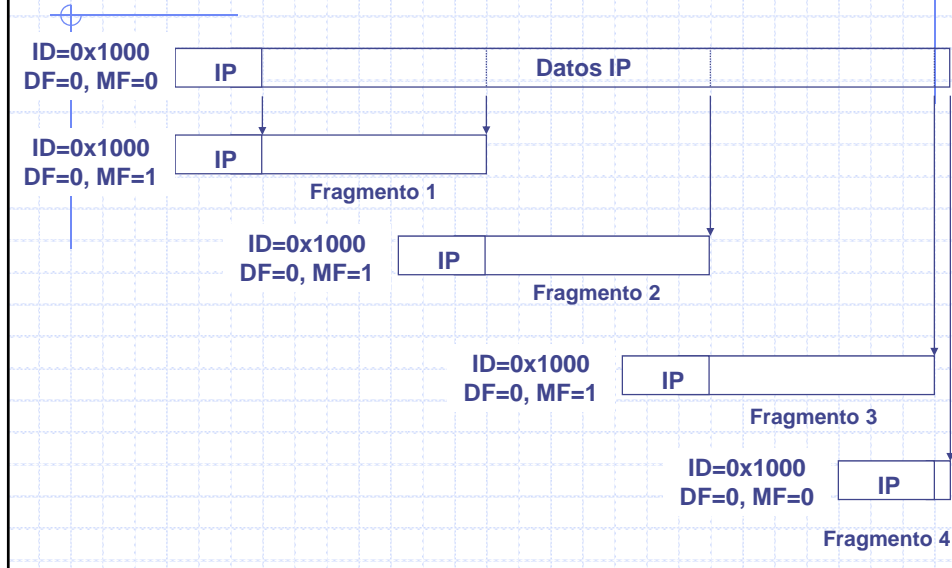
## Encabezado IP

### ■ Banderas (Indicadores)

- ♦ Los datos IP (carga útil – Payload) es segmentado y cada segmento es enviado con su propio encabezado IP.

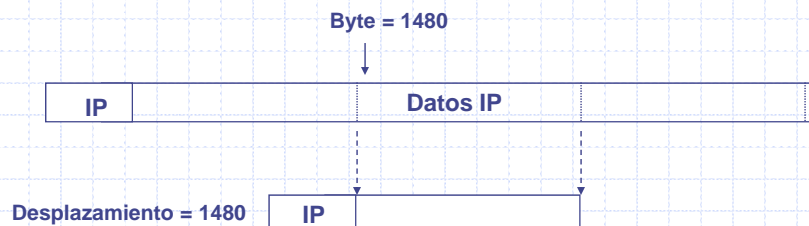


## Encabezado IP



## Encabezado IP

- Desplazamiento de fragmento
  - ♦ Campo de 13 bits que indica el desplazamiento del lugar donde empieza ese fragmento, en relación con los datos IP (carga IP) original no fragmentada.



## Encabezado IP

### ■ Desplazamiento de fragmento

- ♦ Con 13 bits se pueden direccionar  $2^{13} = 8192$  bytes.
- ♦ Si el paquete fuera tan grande como 65,516 bytes de datos (de 0 a 65,515), con el campo desplazamiento de fragmento no se podría direccionar un valor de 664,980.

## Encabezado IP

Desplaz. de fragmento = Long. datagrama IP

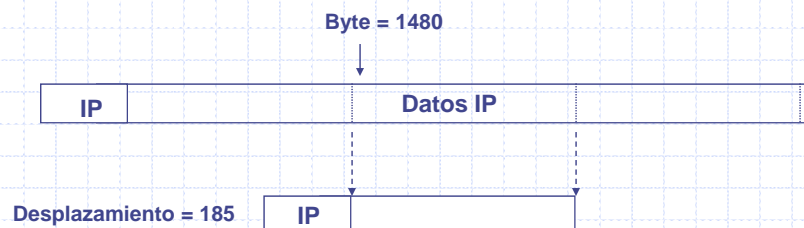
$$X \cdot 2^{13} = 2^{16}$$

$$X = 2^{16}/2^{13}$$

$$X = 2^3$$

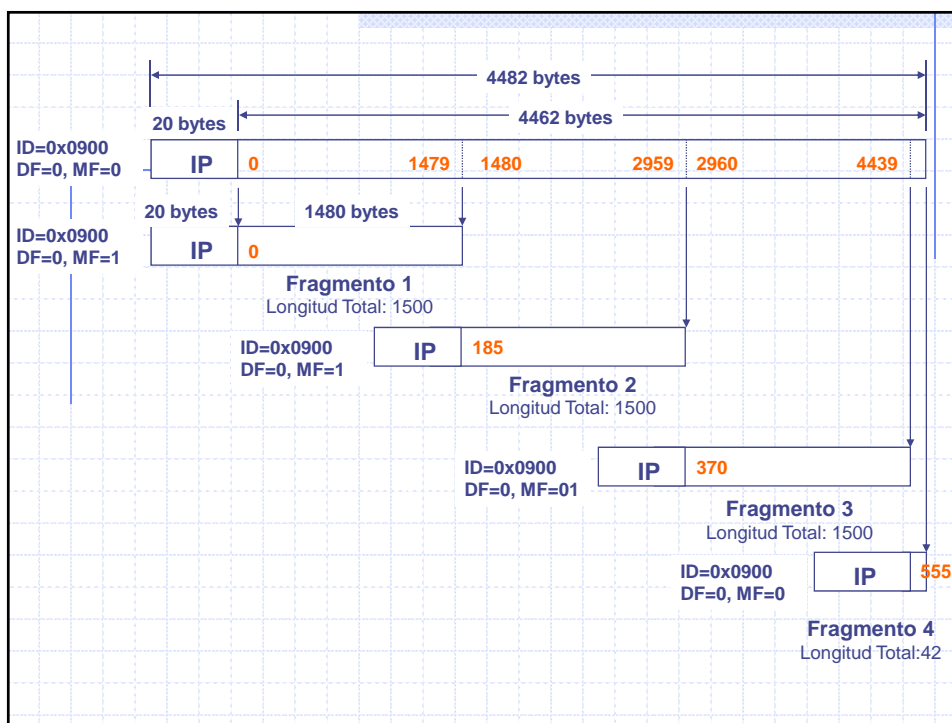
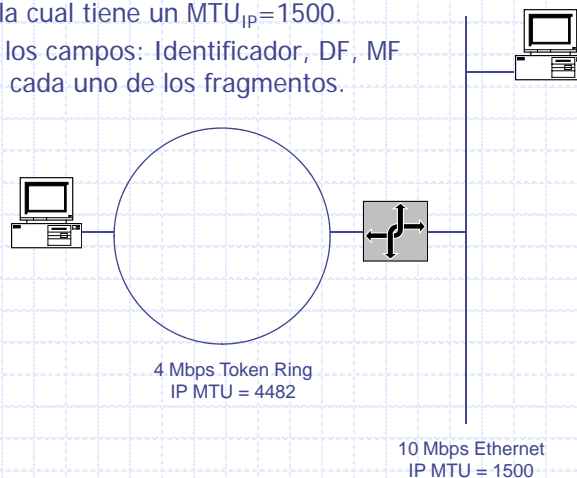
$$X = 8$$

- ♦ Por lo tanto el campo desplazamiento es un valor que es múltiplo de 8.



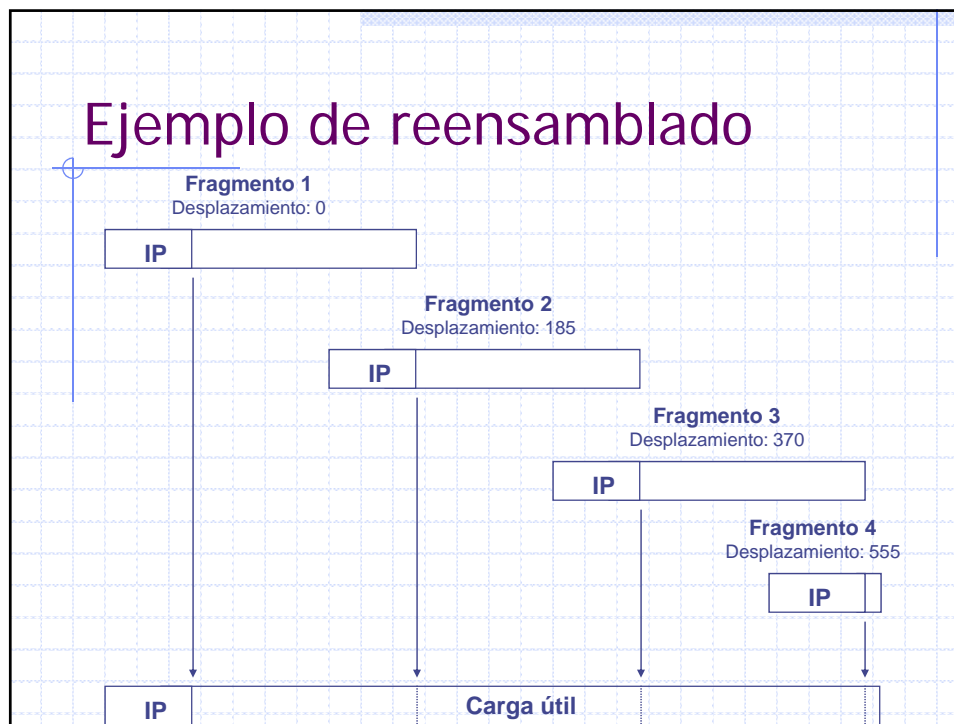
## Encabezado IP

- Ejemplo: Se tiene una red Token Ring de 4 Mbps, con un  $MTU_{IP}=4482$ , la cual esta conectada a una red Ethernet de 10 Mbps, la cual tiene un  $MTU_{IP}=1500$ .
- Indique los valores de los campos: Identificador, DF, MF y desplazamiento para cada uno de los fragmentos.





## Ejemplo de reensamblado



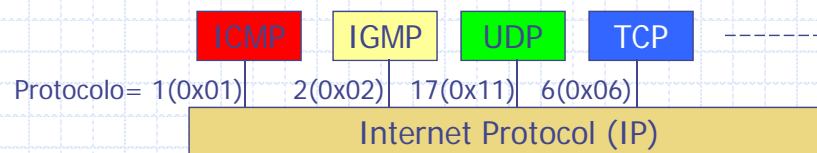
## Encabezado IP

- Tiempo de vida
  - ♦ Este campo (TTL – Time to Live) es de 1 byte de longitud.
  - ♦ El TTL es un número de enlaces inverso.
  - ♦ El host emisor define el TTL inicial, que actúa como un número máximo de ruteadores, por los que puede viajar el datagrama, e impide que un datagrama realice bucles indefinidamente.
  - ♦ Los ruteadores decrementan el TTL en 1 antes de reenviar un datagrama IP. El ruteador que logra que TTL sea cero, elimina el paquete y envía un mensaje ICMP al origen indicando que el paquete fue eliminado porque el TTL expiro.

## Encabezado IP

### ■ Protocolo

- ◆ Campo de 1 byte que indica el protocolo de subcapa o capa superior incluido en la carga IP.



## Encabezado IP

### ■ Suma de comprobación (checksum)

- ◆ Es un campo de 2 bytes y realiza una comprobación de la integridad de nivel de bit del encabezado IP.
- ◆ El host emisor al principio tiene el campo suma de comprobación en cero, calcula el checksum con el encabezado IP y lo agrega al mismo.
- ◆ Al recibir el receptor el paquete, el calcula el checksum con el encabezado IP recibido, si el resultado da cero, el encabezado no tiene error, si es diferente de cero el encabezado tiene error.

## Encabezado IP

C:\>ping 192.168.2.2

Haciendo ping a 192.168.2.2 con 32 bytes de datos:

0000	00 14 d1 c2 38 be 00 18	e7 33 3d c3 08 00 45 00	....8....3=...E.
0010	00 3c 00 32 00 00 80 01	00 00 c0 a8 02 3c c0 a8	<.2....<..
0020	02 02 08 00 42 5c 02 00	09 00 61 62 63 64 65 66	...B\...abcdef
0030	67 68 69 6a 6b 6c 6d 6e	6f 70 71 72 73 74 75 76	ghijklmn opqrstuv
0040	77 61 62 63 64 65 66 67	68 69	wabcdefg hi

abcdef...

32 bytes

Enc. ICMP

abcdef...

Subcapa de RED

Enc. IP

Enc. ICMP

abcdef...

Capa de RED

Enc. MAC

Enc. IP

Enc. ICMP

abcdef...

CRC

Interfaz de Red

## Encabezado IP

En el transmisor:

45 00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           4A FD + 2 4A FF         </div>	45 00
00 3c		00 3c
00 32		00 32
00 00		00 00
80 01		80 01
00 00		B5 00
c0 a8		c0 a8
02 3c	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           FF FF 4A FF B5 00         </div>	02 3c
c0 a8		c0 a8
02 02		02 02
<div style="border-top: 1px solid black; display: inline-block;">24A FD</div>		

Checksum

En el receptor:

45 00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           FF FD + 2 FF FF         </div>	45 00
00 3c		00 3c
00 32		00 32
00 00		00 00
80 01		80 01
B5 00		B5 00
c0 a8		c0 a8
02 3c	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           FF FF FF FF 00 00         </div>	02 3c
c0 a8		c0 a8
02 02		02 02
<div style="border-top: 1px solid black; display: inline-block;">2FF FD</div>		

Checksum es igual a cero. Por lo tanto no hay error

## Encabezado IP

### ■ Dirección origen

- ◆ Campo de 4 bytes que indica la dirección IP de host de origen.
- ◆ La dirección IP origen es de unicast

### ■ Dirección destino

- ◆ Campo de 4 bytes que indica la dirección IP de host de destino.
- ◆ La dirección IP destino puede ser de unicast, multicast o broadcast.

## Encabezado IP

### ■ Analizar los siguientes paquetes IP

```

Trama 3
0000 00 14 d1 c2 38 be 00 18 e7 33 3d c3 08 00 45 00 ....8... .3=...E.
0010 00 3c 00 32 00 00 80 01 b5 00 c0 a8 02 3c c0 a8 .<.2.... ..<..
0020 02 02 08 00 42 5c 02 00 09 00 61 62 63 64 65 66 ...B\.. ..abcdef
0030 67 68 69 6a 6b 6c 6d 6e 6f 70 71 72 73 74 75 76 ghijklmn opqrstuv
0040 77 61 62 63 64 65 66 67 68 69 wabcdefg hi

Trama 4
0000 00 18 e7 33 3d c3 00 14 d1 c2 38 be 08 00 45 00 ...3=... .8...E.
0010 00 3c 97 00 00 00 40 01 5e 32 c0 a8 02 02 c0 a8 .<....@. ^2....
0020 02 3c 00 00 4a 5c 02 00 09 00 61 62 63 64 65 66 .<..J\.. ..abcdef
0030 67 68 69 6a 6b 6c 6d 6e 6f 70 71 72 73 74 75 76 ghijklmn opqrstuv
0040 77 61 62 63 64 65 66 67 68 69 wabcdefg hi

```

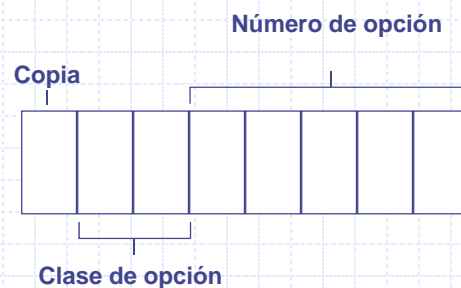
## Encabezado IP

### ■ Opciones IP

- ♦ Son campos adicionales anexados al encabezado IP estándar de 20 bytes.
- ♦ Las opciones IP se utilizan con poca frecuencia para pruebas de redes.
- ♦ El tamaño de las opciones IP (más relleno) pueden variar desde 4 bytes hasta 40 bytes, creciendo siempre en múltiplos de 4 bytes.
- ♦ El primer byte de opciones, me indica el tipo de opción IP que se esta utilizando.

## Encabezado IP

### ■ Opciones IP



## Encabezado IP

### ■ Copia

- ◆ Tiene 1 bit de longitud y se utiliza cuando un enrutador o host emisor debe fragmentar el datagrama IP.

Copia = 0, el campo opciones IP solo debe copiarse en el primer fragmento.

Copia = 1, el campo opciones IP debe copiarse en todos los fragmentos.

## Encabezado IP

### ■ Clase de opción

- ◆ Tiene dos bits de longitud y se utiliza para indicar la clase general de la opción.

Clase de opción	Descripción
0	Control de Red
1	Reservada para su uso posterior
2	Depuración y Medida
3	Reservada para uso posterior

## Encabezado IP

### ■ Número de opción

- ◆ Campo de 5 bits de longitud, que indica una opción específica de la clase.

Clase de opción	Número de opción	Descripción
0	0	Fin de lista de opciones
0	1	Sin operación
0	3	Ruta de origen no estricta
0	7	Registrar ruta
0	9	Ruta de origen estricta
0	20	Alerta de enrutador IP
2	4	Marca de hora de Internet

## Encabezado IP

### ■ Fin de la lista de opción

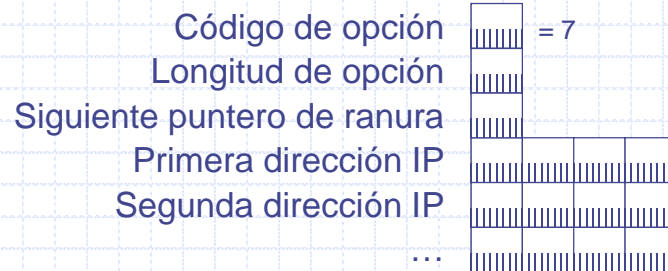
Código de opción  = 0

### ■ Sin operación

Código de opción  = 1

## Encabezado IP

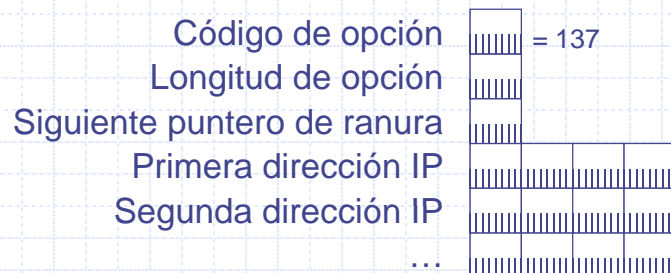
### ■ Registrar ruta



```
C: />ping -r 7 10.0.0.1
```

## Encabezado IP

### ■ Ruta de origen estricta

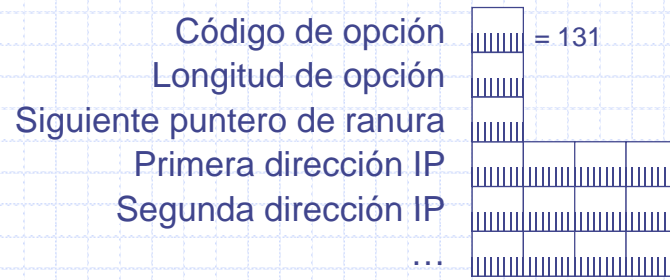


```
C: />ping -k 192.168.1.1 192.168.2.1 10.0.0.1
```



## Encabezado IP

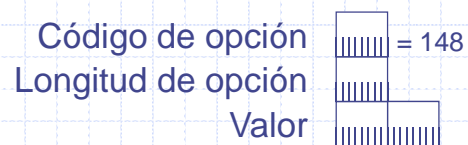
### ■ Ruta de origen no estricta



```
C:/>ping -j 192.168.1.1 192.168.2.1 10.0.0.1
```

## Encabezado IP

### ■ Alerta de enrutador IP



## Encabezado IP

- Marca de hora de Internet

