

# Redes y Servicios de Telecomunicación

## Ejercicios Resueltos

**Purificación Sáiz Agustín**  
**Maidor Huarte Arrayago**  
**Juan José Unzilla Galán**

ARGITALPEN ZERBITZUA  
SERVICIO EDITORIAL

[www.argitalpenak.ehu.es](http://www.argitalpenak.ehu.es)

ISBN: 978-84-9860-459-7

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



ÍNDICE.....	i
INTRODUCCIÓN .....	1
ENUNCIADOS.....	3
1.....	7
2.....	9
3.....	10
4.....	12
5.....	14
6.....	17
7.....	18
8.....	21
9.....	23
10.....	26
11.....	31
12.....	33
13.....	35
SOLUCIONES .....	37
1.....	39
2.....	45
3.....	48
4.....	58
5.....	65
6.....	77
7.....	80
8.....	92
9.....	102
10.....	117
11.....	133
12.....	142
13.....	150



# INTRODUCCIÓN



En este libro se presenta una colección de ejercicios en los que se plantean diferentes problemas de comunicación en red (nivel de red e inferiores), y se presenta una posible solución a los mismos. Este material está diseñado para servir de soporte a las siguientes asignaturas impartidas en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU):

- “Redes y Servicios de Telecomunicación”, segundo curso de las titulaciones de Ingeniería Técnica de Telecomunicación (planes de estudios de 2001).
- “Redes y Servicios de Telecomunicación I”, segundo curso de la titulación Ingeniería de Telecomunicación (plan de estudios de 1995).

Pero puede ser útil también para estudiantes de materias similares en otras asignaturas de diferentes disciplinas universitarias y planes de estudios relacionados con redes de comunicaciones.

El objetivo de la publicación en un libro de esta recopilación de ejercicios es proporcionar al alumno material adicional que le ayude en la adquisición de las competencias de dichas asignaturas; en concreto, que facilite la comprensión de cómo los conceptos teóricos aprendidos en dichas asignaturas tienen su aplicación práctica en diferentes escenarios de redes de comunicaciones reales.

El libro incluye 13 ejercicios, la mayoría de ellos procedentes de exámenes de anteriores convocatorias de las asignaturas indicadas. Se incluyen tanto los enunciados como una propuesta de resolución. Dada la voluntad didáctica del libro, la propuesta de resolución no se limita a contestar exclusivamente a las preguntas realizadas, sino que en muchos casos se amplía la respuesta, justificándola o contextualizándola. Además, como sucede en los escenarios reales de comunicaciones, la solución propuesta no es en todos los casos la única posible.

Los ejercicios se plantean en orden de complejidad creciente, abordando los diferentes problemas en el mismo orden en que se van presentando en la parte teórica de las asignaturas. Así, los ejercicios 1 y 2 plantean cuestiones relacionadas con los principios básicos de redes orientadas a conexión y redes no orientadas a conexión, respectivamente. Los siguientes cuatro ejercicios permiten estudiar en mayor profundidad estos tipos de redes. En concreto, los ejercicios 3 y 4 analizan el comportamiento de las redes orientadas a conexión, la fragmentación en las mismas, el comportamiento ante fallos de red, posibilidad de tablas de encaminamiento mejoradas... Los ejercicios 5 y 6, por su parte, muestran el funcionamiento básico de IP (como representante por excelencia de los protocolos de red no orientados a conexión) sobre redes LAN, prestando especial atención al direccionamiento de los niveles 2 y 3, a los procedimientos de obtención de direcciones en redes LAN, y a los procesos de

fragmentación y reensamblado. Los siguientes ejercicios combinan los dos tipos de comunicaciones. Así, se plantean cuestiones acerca de diferentes escenarios de comunicación IP entre equipos conectados a redes LAN, que a su vez están interconectadas a través de redes orientadas a conexión (ejercicios 7, 8 y 9) o a través de redes no orientadas a conexión (ejercicio 10). Además el ejercicio 10 introduce ciertas cuestiones relacionadas con el funcionamiento de algunos equipos de interconexión. Los ejercicios 11 y 12 continúan en esa misma línea, prestando atención a que las comunicaciones que tienen lugar a través de las diferentes redes son debidas a una necesidad de intercambio de información a nivel de aplicación entre pares de equipos. Aunque a lo largo de los ejercicios anteriores ya se han ido introduciendo diferentes equipos de interconexión, es en el ejercicio 13 donde se requiere expresamente que el alumno seleccione el equipamiento de interconexión más adecuado para cada uno de los distintos escenarios de interconexión planteados.

# ENUNCIADOS



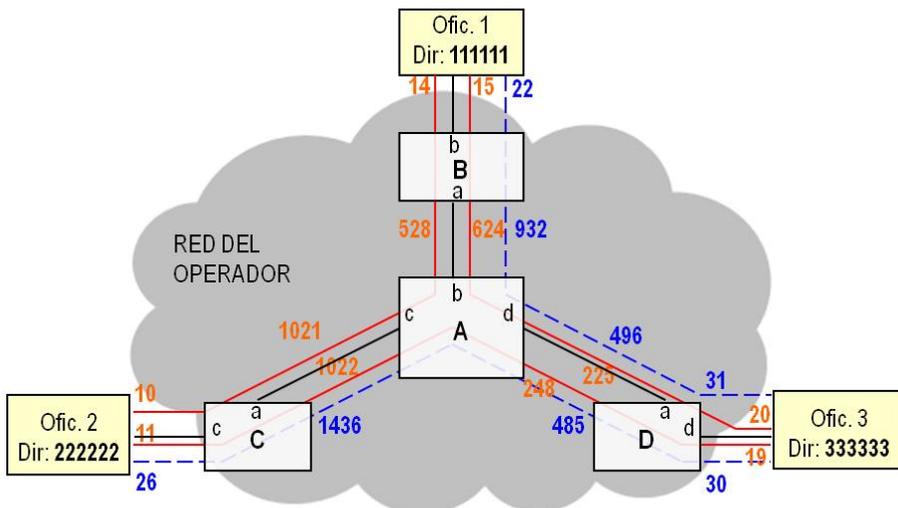
# 1.

Un operador de telecomunicaciones dispone de una red de conmutación de paquetes orientada a conexión que consta de 4 conmutadores, siendo uno de ellos (*A*) el centro de una estrella cuyas puntas son los otros 3 conmutadores (*B*, *C* y *D*).

Una empresa que dispone de 3 oficinas en diferentes ciudades solicita al operador el servicio de conexión entre sus oficinas mediante circuitos virtuales bidireccionales tanto permanentes (1 entre cada par de oficinas) como conmutados (3 canales lógicos en las oficinas 1 y 3, y 2 en la oficina 2). El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 de la empresa cliente a los conmutadores *B*, *C* y *D* del operador respectivamente.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red del operador y los equipos del cliente que están conectados a la misma, así como las direcciones de red asignadas por el operador a cada uno de los equipos del cliente (en negrita). En la figura también se muestran gráficamente los circuitos virtuales que están establecidos **en un momento determinado**, indicándose los LCIs asignados a los mismos en cada enlace:

- En línea roja continua, los 3 circuitos virtuales permanentes (CVP).
- En línea azul discontinua, los 2 circuitos virtuales conmutados (CVC) que están establecidos en ese momento:
  - o Uno entre la oficina 1 y la oficina 3
  - o El otro entre la oficina 2 y la oficina 3



Responder a las siguientes preguntas:

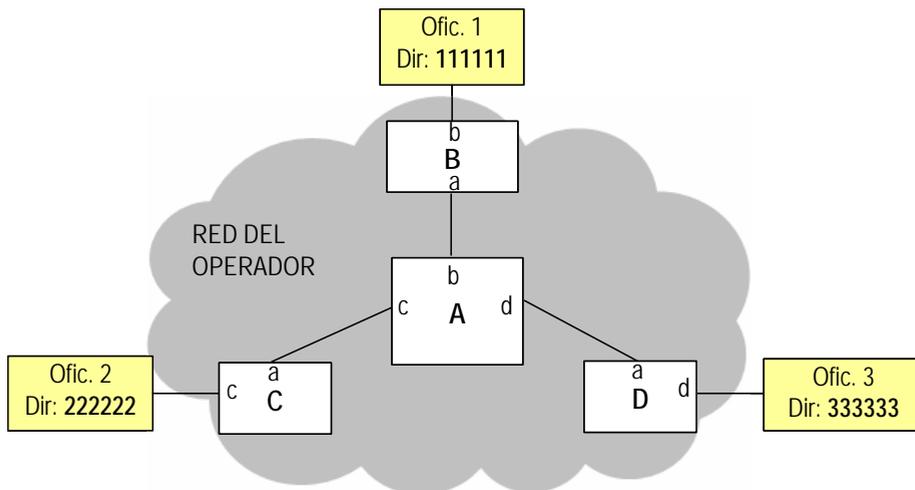
- a) Indicar cuál es el contenido de las tablas de conexiones de los 4 conmutadores de la red en el momento al que se refiere el enunciado y que se encuentra reflejado en la figura. Identificar cuáles de las entradas de dichas tablas de conexiones se refieren a CVP y cuáles a CVC.
- b) Teniendo en cuenta que para poder establecer CVCs los conmutadores tienen que decidir hacia dónde encaminar los paquetes de solicitud de establecimiento de CV, y que para ello necesitan tener una tabla de encaminamiento, indicar cuál es el contenido de las tablas de encaminamiento de los 4 conmutadores.
- c) Suponiendo que la solicitud de establecimiento del CVC existente entre la oficina 1 y la oficina 3 fue iniciada por la oficina 1:
  - Indicar cuáles de las entradas de las tablas de encaminamiento de cada conmutador han sido tenidas en cuenta en el establecimiento de dicho CVC.
  - Indicar cuáles de las entradas de las tablas de conexiones de cada conmutador han sido creadas durante el establecimiento de dicho CVC.
- d) A continuación la oficina 3 solicita el establecimiento de un nuevo CVC hacia la oficina 1:
  - Indicar cuáles de las entradas de las tablas de encaminamiento de cada conmutador son utilizadas para establecer dicho CVC.
  - Dibujar el camino que van a seguir los paquetes pertenecientes a ese nuevo CVC, asignando LCIs en cada uno de los tramos del mismo.
  - Indicar el contenido de las tablas de conexiones de los 4 conmutadores después de que dicho CVC haya sido correctamente establecido.

## 2.

Un operador de telecomunicaciones dispone de una red de conmutación de paquetes NO orientada a conexión que consta de 4 equipos, siendo uno de ellos (*A*) el centro de una estrella cuyas puntas son los otros 3 (*B*, *C* y *D*).

Una empresa que dispone de 3 oficinas en diferentes ciudades solicita al operador el servicio de conexión entre sus 3 oficinas. El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 de la empresa cliente a los equipos B, C y D del operador respectivamente.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red del operador y los equipos del cliente que están conectados a la misma, así como las direcciones de red asignadas por el operador a cada uno de los equipos del cliente (en negrita).



Responder a las siguientes preguntas:

- Indicar cuál es el contenido de las tablas de conexiones de A, B, C y D.
- Indicar cuál es el contenido de las tablas de encaminamiento de A, B, C y D.
- Suponiendo que la oficina 1 y la oficina 3 mantienen entre sí una comunicación:
  - Indicar cuáles de las entradas de las tablas de encaminamiento son utilizadas para hacer posible dicha comunicación.
  - Indicar cuáles de las entradas de las tablas de conexiones son utilizadas para conmutar los paquetes de dicha comunicación.

### 3.

Un operador de telecomunicaciones necesita dar servicio de conexión a una empresa mediante una red de conmutación de paquetes X.25. La red de la que dispone el operador consta de 4 conmutadores X.25, siendo uno de ellos (*A*) el centro de una estrella cuyas puntas son los otros 3 conmutadores (*B*, *C* y *D*)

Dicha empresa solicita el servicio de conexión entre sus 3 oficinas mediante circuitos virtuales tanto permanentes (1 entre cada par de oficinas) como conmutados (4 canales lógicos bidireccionales en la oficina 1, y 3 en las oficinas 2 y 3). El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 a los conmutadores B, C y D respectivamente.

- a) Dibujar la solución de red propuesta, incluyendo los CV.  
Establecer un esquema de direccionamiento y asignar las correspondientes direcciones a cada instalación y los LCIs asignados por el operador.
- b) Construir las tablas de encaminamiento de los conmutadores.
- c) Construir las tablas de conexiones de los conmutadores en el momento en el que la oficina 2 tiene establecido un circuito virtual conmutado con la oficina 3, y la oficina 3 tiene establecidos 2 circuitos virtuales conmutados con la oficina 1.

Estando en la situación del apartado anterior, la oficina 1 establece un circuito virtual conmutado con la oficina 2 para enviarle un mensaje de 624 bytes. La oficina 2 le contesta con un mensaje de 84 bytes y a continuación libera dicho circuito virtual.

- d) Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada uno de los enlaces involucrados en el establecimiento, transferencia de datos y liberación de dicho CV. Mostrar para cada uno de ellos:
  - Estructura de trama y valores de los campos de nivel de enlace
  - Estructura de paquete y valores de los campos de nivel de red

Considerar que:

-  En los datos de tamaño de los mensajes a intercambiar, se consideran incluidas las cabeceras de todos los niveles superiores al nivel de red
-  Las únicas tramas que viajan por los enlaces durante el tiempo que dura la comunicación son las correspondientes a este CV.
-  Durante la fase de establecimiento de todos los enlaces se ha fijado el modo ABM con módulo 8.

- ✎ Negociación en el establecimiento del CV: Módulo de ventana 8, tamaño de ventana 3, tamaño máximo del campo de datos del paquete de datos 128 bytes, confirmación de paquetes extremo a extremo.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 4.

Un operador de telecomunicaciones da servicios de conexión a empresas mediante una red de conmutación de paquetes X.25. La red de la que dispone el operador consta de 3 conmutadores X.25 (*A*, *B* y *C*), totalmente mallados entre sí. Esto permite al operador tener redundancia de caminos, ofreciendo la red una mayor robustez. Dicha redundancia se obtiene mediante tablas de encaminamiento en los conmutadores con 2 alternativas: como 1ª opción la ruta óptima, y una 2ª opción que ofrece redundancia a la red en caso de fallo de la ruta óptima.

Una empresa solicita el servicio de conexión entre sus 3 oficinas mediante circuitos virtuales tanto permanentes (1 entre cada par de oficinas) como conmutados (3 canales lógicos bidireccionales en las oficinas 1 y 2, y 2 en la oficina 3). El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 a los conmutadores *A*, *B* y *C* respectivamente.

Las direcciones X.121 asignadas a los DTEs en cada una de las oficinas son:

Oficina 1 (conmutador *A*) → 204334111

Oficina 2 (conmutador *B*) → 204334222

Oficina 3 (conmutador *C*) → 204334333

Los LCIs asignados por el operador en cada uno de los accesos son:

<i>Oficina</i>	Destino	LCI – CVP	LCI - CVC
1	Oficina 2	4	
	Oficina 3	5	
			20-22
2	Oficina 1	10	
	Oficina 3	11	
			15-17
3	Oficina 1	1	
	Oficina 2	2	
			3-4

Internamente, el operador tiene reservados los siguientes LCIs en cada enlace para CVPs y CVCs:

Enlace	LCI – CVP	LCI - CVC
<b>A-B</b>	101-199	1101-1299
<b>A-C</b>	101-199	1101-1299
<b>B-C</b>	101-299	1101-1499

- 
- a) Esquema donde se represente la planificación de la red del operador.
  - b) Tablas de encaminamiento en los conmutadores de la red (sólo las entradas que hacen referencia a esta empresa cliente), teniendo en cuenta el criterio de redundancia explicado anteriormente.
  - c) En un momento determinado la oficina 1 ha establecido un circuito con la oficina 2, a continuación otro con la oficina 3, y por último la oficina 2 ha establecido un circuito con la oficina 3. Indicar el contenido de las tablas de conexiones de los conmutadores de la red en ese momento, suponiendo que las únicas conexiones establecidas son las correspondientes a este cliente.
  - d) Estando establecidos los circuitos del apartado anterior, la oficina 2 quiere establecer un nuevo circuito virtual con la oficina 3. Comentar la situación.
  - e) En este momento, se produce un *fallo permanente* en el enlace A-B. ¿Qué sucede con los circuitos virtuales permanentes? ¿Y con los circuitos virtuales conmutados que estaban establecidos? ¿Cuál es el estado de las tablas de encaminamiento de los conmutadores? ¿Y de las tablas de conexiones?
  - f) A continuación la oficina 1 solicita el establecimiento de un circuito con la oficina 2. Indicar el estado de las tablas de conexiones de los conmutadores.
  - g) Sería deseable que la caída de los enlaces de la red, como el sucedido en el apartado e, fuera transparente para los usuarios finales. Propón una solución tanto para las aplicaciones que hacen uso de CVC como para aquellas que hacen uso de CVP.

## 5.

Se dispone de 4 redes LAN Ethernet (802.3) conectadas entre sí mediante otra red LAN Token Ring (802.5), para proveer una comunicación basada en IP, conformando el esquema de red mostrado en la figura de la página siguiente.

Para cada interfaz físico, se han indicado los siguientes datos:

Dirección IP
Dirección Física
Nombre del Puerto

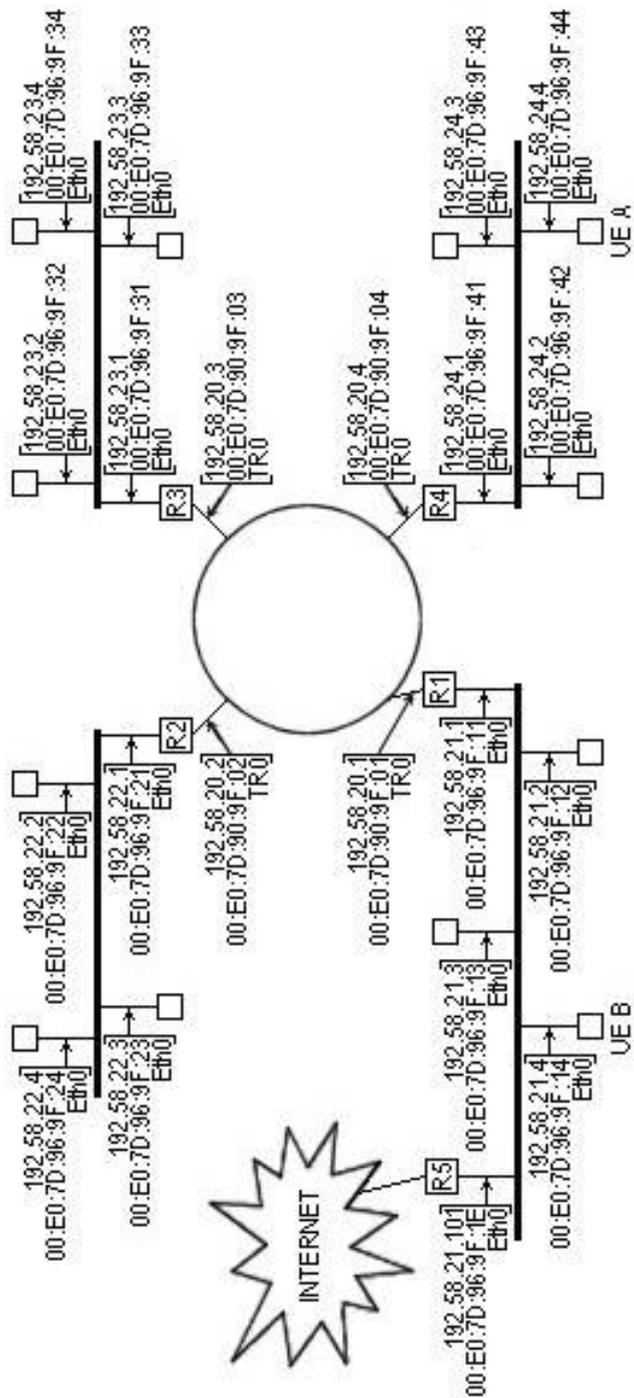
**A)** Supongamos que un usuario en la máquina UE A manda un mensaje a otro usuario en la máquina UE B. Se pide:

- Mostrar la arquitectura de protocolos (hasta el nivel de red) de los equipos implicados en el proceso de comunicación descrito.
- Tablas de encaminamiento IP de los equipos implicados en dicha comunicación.
- Indicar la secuencia de acontecimientos sucedidos desde que el mensaje llega al nivel IP de la máquina UE A hasta que lo recibe el nivel IP de la máquina UE B:
  - Describir cómo se produce la creación e intercambio de estructuras de datos, tanto entre niveles adyacentes en una misma máquina como entre entidades pares.
  - Indicar el contenido de los campos principales de dichas estructuras de datos.
- Indicar el contenido de las tablas de mapeo Direcciones IP / Direcciones Físicas en cada uno de los equipos implicados en la comunicación, en el momento en que finaliza la misma.

Considerar que:

-  Antes del inicio de la comunicación descrita, ninguna máquina conoce la Dirección Física de ninguna otra.
-  La comunicación descrita es la única que tiene lugar en la red.
-  No ocurre fragmentación para ninguno de los mensajes en ningún punto del recorrido.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.



**B)** En el segmento Token Ring de la red, además de los 4 routers existe una Base de Datos, a la cual puede consultar cualquiera de los equipos de usuario de las redes Ethernet.

UE-A lanza una consulta a la BD (ocupa 120 bytes) y ésta le envía la respuesta (10.000 bytes). Para este intercambio de información, se pide:

- a) Secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada una de las redes involucradas, y estructura de los mismos, indicando el valor que toman los campos principales de las cabeceras.
- b) Indicar en qué equipos y en qué niveles se realiza fragmentación en caso de ser necesaria.

Considerar que:

  $MTU_{802.3}=1500$ ,  $MTU_{802.5}=4464$ .

 En los datos del número de bytes de la consulta y la respuesta se consideran incluidas las cabeceras de transporte y aplicación.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 6.

El equipo X recibe los siguientes datagramas, todos ellos con dirección IP destino 245.36.22.110, que es la dirección IP del equipo X:

	Dirección IP origen	ID	MF	DF	Desplaz. fragmento	Long. total	Protocolo
Datagrama 1	48.143.25.12	454	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 2	48.143.25.12	454	1	0	368	1172	UDP (17)
Datagrama 3	212.203.92.105	43	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 4	212.203.92.105	43	1	0	368	1492	UDP (17)
Datagrama 5	212.203.92.105	43	1	0	552	636	UDP (17)
Datagrama 6	245.36.22.141	630	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 7	48.143.25.12	454	0	0	512	924	UDP (17)
Datagrama 8	212.203.92.105	43	1	0	629	1492	UDP (17)
Datagrama 9	93.46.25.4	43	0	0	184	788	UDP (17)
Datagrama 10	212.203.92.105	44	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 11	245.36.22.141	630	0	0	368	676	UDP (17)
Datagrama 12	212.203.92.105	44	0	0	184	1042	UDP (17)
Datagrama 13	245.36.22.141	630	1	0	184	1492	UDP (17)

Suponer que los únicos datagramas recibidos por el equipo X son los indicados en la tabla, y que se reciben en el orden indicado.

- a) A partir de los datagramas recibidos, el nivel IP del equipo X le pasa a su nivel UDP un determinado número de unidades de datos. Para cada una de esas unidades de datos que el nivel IP le pasa al nivel UDP, indicar:
- La dirección IP del equipo que generó el datagrama original.
  - La secuencia de datagramas a partir de los cuales se ha generado la unidad de datos.
- Identificar los datagramas por el número identificado en la 1ª columna. Indicar el orden en el que se reensamblan los fragmentos en el caso de que el datagrama original haya sido fragmentado en el camino desde el origen al destino.
- (Supóngase que la unidad de datos que le pasa el nivel IP al nivel UDP se ha obtenido reensamblando los fragmentos identificados como “Datagrama 102”, “Datagrama 100” y “Datagrama 107”, en ese orden. Habría que indicar que la secuencia de datagramas es 102, 100, 107).
- La longitud total de los datos que el nivel IP le pasa al nivel UDP.
- b) Indicar cuáles de los datagramas recibidos han atravesado uno o varios routers desde el origen al destino, y cuáles no. Justificar la respuesta.

## 7.

Las comunicaciones de una empresa de seguros se basan en IP. Dicha empresa está dividida geográficamente en 3 delegaciones:

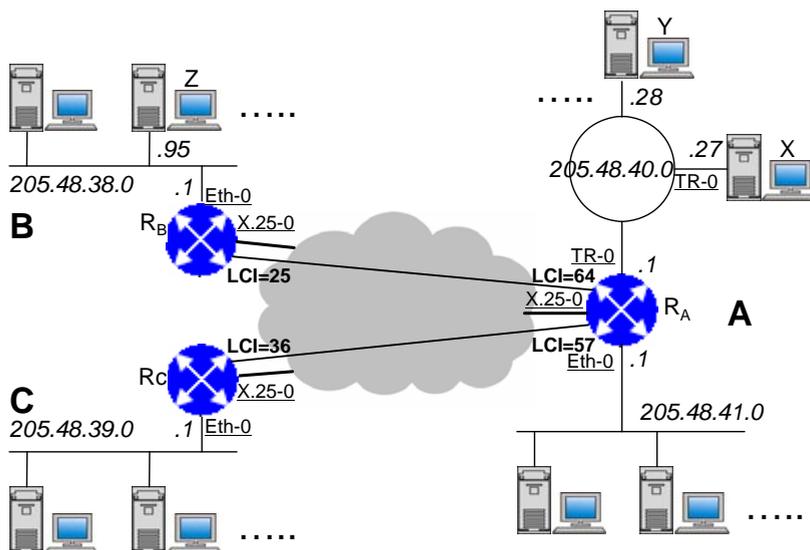
- En una de ellas (A) hay dos departamentos, organizados en torno a una red Ethernet y a una Token Ring respectivamente.
- En cada una de las otras dos (B y C) sólo hay un departamento, organizado en un segmento Ethernet.

Se pretende que cualquier equipo de la red de la empresa se pueda comunicar con cualquier otro equipo de la red, independientemente de su localización geográfica. Para ello, el ingeniero de diseño del departamento de comunicaciones de la aseguradora ha decidido que la comunicación entre delegaciones se realice a través de una red pública de datos X.25, a la que se conectará desde cada delegación con un router. Ha contratado los siguientes enlaces de acceso a la red X.25:

- En la delegación A, un enlace de 512 kbps.
- En las delegaciones B y C, un enlace de 256 kbps en cada una de ellas.

Además, ha contratado un CVP entre las delegaciones A y B, y otro CVP entre las delegaciones A y C.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red diseñada, donde también se muestra el plan de direccionamiento utilizado (en cursiva), los LCIs asignados por el operador de la red X.25 (en negrita), y los nombres de los interfaces físicos (subrayados).



- a) Indicar si la solución propuesta en la figura permite resolver el problema de comunicación planteado. Justificar la respuesta, explicando por qué es o no es adecuada cada una de las decisiones tomadas: arquitectura de red, equipamiento utilizado, servicios contratados al operador X.25, plan de direccionamiento utilizado...  
Si se considera que la solución propuesta no cumple los requisitos planteados, hacer una propuesta alternativa, justificándola.
- b) Indicar si la tabla de encaminamiento del equipo X de la red Token Ring de la delegación A que se indica a continuación es correcta. Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.  
Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.38.0	LCI = 64	X.25-0
205.48.39.0	LCI = 57	X.25-0
205.48.40.0	Directa	TR-0
205.48.41.0	205.48.41.1	Eth-0

- c) Construir las tablas de encaminamiento de los routers R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub> y R<sub>C</sub>.
- d) El equipo Y le quiere enviar un mensaje de 3200 bytes al equipo Z. Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada uno de los enlaces involucrados en dicha transferencia de información, indicando los valores de los campos más representativos de las cabeceras de los niveles de red y enlace (direccionamiento, fragmentación...). En caso de producirse fragmentación, indicar qué equipos y a qué nivel realizan la fragmentación y el reensamblado.
- e) Indicar si las tablas ARP que se muestran a continuación se corresponden con las de X y R<sub>A</sub> después de la transferencia de información descrita. Justificar la respuesta, explicando por qué se consideran correctas o incorrectas.  
Si se considera que son incorrectas, indicar cuál sería el contenido correcto de las mismas, justificando la modificación.

<u>X</u>		<u>R<sub>A</sub></u>	
Dir. IP	Dir MAC	Dir. IP	Dir MAC
205.48.40.28	MAC-Y	205.48.40.28	MAC-Y
205.48.40.1	MAC-R <sub>A</sub> -TR.0	205.48.38.1	MAC-R <sub>B</sub> -X25.0

Considerar que:

- ✎ En el tamaño del mensaje se consideran incluidas las cabeceras de todos los niveles superiores al nivel de red.
- ✎ Antes de realizarse el intercambio de información del apartado d, las tablas ARP de todos los equipos están vacías.
- ✎ Los valores de las MTU de cada red son los siguientes:  $MTU_{ETH}=1500$ ;  $MTU_{TR}=4464$ ; tamaño máximo del campo de datos del paquete de datos en la red X.25 = 512 bytes

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 8.

Una empresa bancaria quiere instalar una red de comunicaciones basada en IP para integrar sus sucursales y la sede central. Cada sucursal está organizada en torno a un segmento Ethernet (IEEE 802.3) al que se conecta un servidor de aplicaciones, los equipos de usuario, un router para la conexión a la sede central a través de una red Frame Relay, y un router para el acceso de los cajeros a la sucursal a través de la red Iberpac (red X.25 de Telefónica). La sede central tiene la misma configuración que las sucursales, pero no dispone de cajeros y contiene el servidor central al que se conectan los diferentes servidores de aplicaciones de cada sucursal para realizar las operaciones bancarias correspondientes.

Se pide:

- a) Dibujar la solución de red propuesta.
- b) Dibujar la arquitectura de protocolos (hasta nivel de red) que utilizan los siguiente equipos:
  - un cajero de una sucursal (C),
  - el router que permite el acceso desde Iberpac a la red local de la sucursal (R1),
  - el router de la sucursal que da salida al tráfico hacia la sede central (R2) y
  - el router de la sede central (R3).
- c) Formato de paquetes y tramas intercambiados en cada una de las redes involucradas (indicando el valor de los campos principales y el tamaño de los paquetes) cuando desde un cajero se realiza una petición al servidor de la sucursal (cada petición ocupa 600 bytes) y éste le responde (la respuesta ocupa 800 bytes). Antes de responder al cajero, el servidor de la sucursal realiza una consulta al servidor central que supone 780 bytes y recibe un paquete de respuesta de 2.500 bytes en el que se autoriza la operación y se actualizan los datos.  
En caso de producirse fragmentación, indicar explícitamente en qué equipos y a qué nivel se realiza la fragmentación y el reensamblado.

Considerar que:

- ✎ En los datos del número de bytes de peticiones y respuestas se consideran incluidas las cabeceras de transporte y aplicación.
- ✎ Los valores de las MTU de cada red son los siguientes:  $MTU_{ETH}=1500$ ;  $MTU_{FR}=8000$ . Tamaño máximo del campo de datos del paquete de datos en la red X.25: 256 bytes.

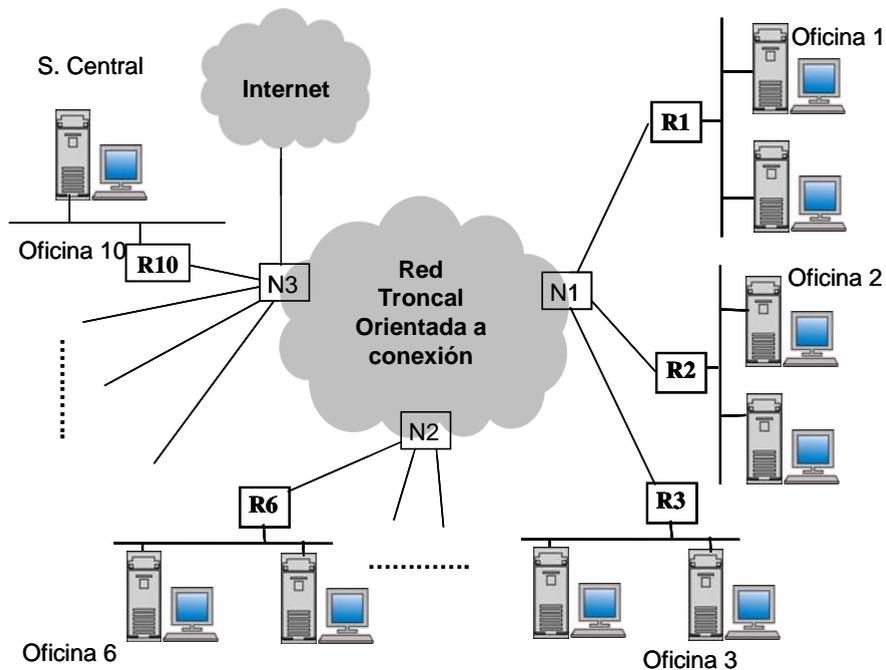
NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 9.

Una empresa que se dedica a la prestación de servicios a varios ayuntamientos, quiere instalar una red de comunicaciones basada en IP para conectar sus 9 oficinas y la sede central. Cada oficina está en una localidad diferente, organizada en torno a un segmento de red local (IEEE 802.3) al que se conecta un Servidor de Aplicaciones, los equipos de usuario y un router para la conexión a la sede central y al resto de oficinas a través de una red orientada a conexión.

La sede central tiene la misma configuración que las oficinas, pero contiene el Servidor Central al que se conectan los diferentes servidores de aplicaciones de cada sucursal para realizar las operaciones de actualización de las bases de datos distribuidas.

Debido a la distancia física entre las instalaciones, la solución de red que implementa el operador que ofrece la conexión, está formada por 3 conmutadores interconectados entre sí mediante líneas que gestiona dicho operador. El router de cada oficina está conectado al conmutador situado en la ciudad más cercana, según la arquitectura que muestra el gráfico siguiente:



Situación de los conmutadores del operador: N1: Ciudad 1. N2: Ciudad 2. N3: Ciudad 3.

Se contrata también con el operador la conexión de la empresa a Internet, conexión que se ofrece desde el nodo de la ciudad 3. Las direcciones IP asignadas por el operador a cada oficina son direcciones del rango 194.210.X.Y, donde:

X – Identifica a la oficina (Oficina 1: 1... Oficina 10: 10)

Y – Identifica al equipo dentro de la oficina.

Las direcciones de los 10 equipos de rutado en la red del operador son 2044467761ZZ, siendo ZZ números del 40 al 43 en la ciudad 3, del 50 al 52 en la ciudad 2 y del 60 al 62 en la ciudad 1.

Se pide:

- a) Representar en la figura el plan de direccionamiento indicado.  
Dimensionar el mínimo número de canales lógicos a contratar para permitir la conexión mediante circuitos virtuales permanentes entre todas las oficinas entre sí. Además, debe existir la posibilidad de establecer un circuito conmutado entre cada oficina y cualquier otra de la empresa, incluida la central.
- b) En un determinado momento la empresa está utilizando un circuito virtual conmutado entre la Oficina 1 y la sede central, y otro entre la Oficina 1 y la Oficina 3. En ese momento concreto:
  - Representar en la figura los CVPs que mantiene la Oficina 1, indicando los LCIs.
  - Mostrar las entradas de la tabla de conexiones de N1 relativas a los CVs de la Oficina 1.
- c) Construir las tablas de encaminamiento, tanto de los routers R1, R6 y R10 de la empresa de servicios como de los conmutadores del operador de red.
- d) Desde un equipo de usuario EU1 de la Oficina 1 se realiza una petición al Servidor de Aplicaciones de esa misma oficina (cada petición ocupa 600 bytes) y éste le responde (la respuesta ocupa 4000 bytes). Antes de responder a la aplicación del equipo del usuario EU1, el Servidor de la oficina realiza una consulta al Servidor Central (800 bytes) y recibe un paquete de respuesta en el que se autoriza la operación y se envía una actualización de los datos (2.700 bytes).  
Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada una de las redes involucradas, indicando los valores de los campos más representativos de las cabeceras de los niveles de red y enlace (direccionamiento, fragmentación...). En caso de producirse fragmentación, indicar explícitamente en qué equipos y a qué nivel se realiza la fragmentación y el reensamblado.

Considerar que:

- ✎ El valor de la MTU de la red 802.3 es 1500. El máximo tamaño de la información útil del paquete en la red del operador es de 1024 bytes.
- ✎ En los datos del número de bytes de peticiones y respuestas se consideran incluidas las cabeceras de transporte y aplicación.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 10.

Las comunicaciones de una empresa se basan en IP. Dicha empresa está dividida geográficamente en 3 delegaciones:

- En una de ellas (A) hay dos departamentos, organizados en torno a sendos segmentos Ethernet conectados entre sí a través de un switch.
- En cada una de las otras dos (B y C) sólo hay un departamento, organizado en un segmento Ethernet.

Se pretende que cualquier equipo de la red de la empresa se pueda comunicar con cualquier otro equipo de la red, independientemente de su localización geográfica. También se desea que los equipos de la empresa puedan acceder a Internet.

Para ello, el ingeniero de diseño del departamento de comunicaciones de la empresa ha decidido conectar las delegaciones a una red pública de datos no orientada a la conexión (red IP: Internet), a la que accede a través de sendos routers en cada delegación mediante el servicio proporcionado por un ISP (Internet Service Provider).

El ISP dispone de instalaciones en las 3 ciudades. En cada una de ellas, el equipamiento está organizado en un segmento Ethernet. La comunicación entre las distintas instalaciones (ciudades) se basa en la conexión entre pares de routers mediante líneas punto a punto. La conexión del ISP a Internet se basa en la conexión de routers del ISP con routers de Internet mediante líneas punto a punto.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red diseñada, tanto en las delegaciones de la empresa cliente como en las instalaciones del ISP.

Para el escenario planteado, se solicita...

- a) Indicar si la solución propuesta en la figura permite resolver el problema de comunicación planteado (SI/NO).  
Justificar la respuesta, explicando por qué es o no es adecuada cada una de las decisiones tomadas por el ingeniero de la empresa: arquitectura de red, equipamiento utilizado, tipo de red con la que se contrata el servicio, plan de direccionamiento utilizado...  
Si se considera que la solución propuesta no cumple los requisitos planteados, hacer una propuesta alternativa, justificándola.

- b) Indicar si la tabla de encaminamiento del  $R_{11}$  del ISP que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.  
Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	205.48.31.2	Serial-0
192.172.102.0	192.168.31.3	Eth-0
192.172.103.0	192.168.31.3	Eth-0
0.0.0.0	192.168.31.4	Eth-0

- c) Indicar si la tabla de encaminamiento del  $R_{11}$  del ISP que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.  
Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

**NOTA:** En la tabla de encaminamiento se muestran en negrita las diferencias con la tabla del apartado anterior.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	205.48.31.2	Serial-0
192.172.102.0	<b>192.168.31.2</b>	Eth-0
192.172.103.0	<b>192.168.31.4</b>	Eth-0
0.0.0.0	192.168.31.4	Eth-0

- d) ¿Es posible que la tabla de encaminamiento del  $R_{11}$  del ISP sea distinta en diferentes instantes de tiempo? (SI/NO). Justifica tu respuesta de forma concisa.

Adicionalmente...

...si tu respuesta es positiva, contesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué motivos pueden ocasionar que haya modificaciones en la tabla de encaminamiento?
- ¿Qué mecanismos se utilizan para realizar esas modificaciones en la tabla de encaminamiento?
- ¿Qué característica principal debe darse en la topología de la red para poder aplicar esos mecanismos?

...si tu respuesta es negativa, contesta a las siguientes preguntas:

- Si existen caminos redundantes para llegar a un destino, ¿qué criterio se utiliza para seleccionar cuál de ellos debe indicarse en la tabla de encaminamiento?
- ¿Qué sucede si la ruta indicada en la tabla de encaminamiento para llegar a un destino dado deja de estar disponible (y existe una ruta alternativa disponible)?
- ¿Qué ventaja supone el hecho de que exista redundancia de caminos frente a una situación en la que no existiera dicha redundancia?

**NOTA:** Responde a las cuestiones de este apartado:

- Primero de forma genérica (~teórica)
- A continuación de forma práctica, utilizando el esquema de red propuesto para poner ejemplos explicativos de la respuesta genérica que has dado.

- e) Indicar si la tabla de encaminamiento del equipo de usuario A (EU-A) que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.  
Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	Directa	Eth-0
0.0.0.0	192.172.101.1	Eth-0

- f) Un usuario en EU-A manda un mensaje a otro usuario en EU-B. Indicar la secuencia de acontecimientos sucedidos en la red para que el mensaje llegue desde el nivel IP de EU-A hasta el nivel IP del R<sub>11</sub> (no es necesaria la explicación de la parte final del trayecto, desde el R<sub>11</sub> hasta EU-B).  
Explicar las decisiones que se toman en cada uno de los equipos por los que va pasando el paquete, indicando las entradas de las tablas internas de dichos nodos utilizadas para tomar dichas decisiones.  
Indicar el contenido de los campos de direccionamiento de las tramas y paquetes intercambiados en los diferentes tramos de la parte del camino indicada (hasta que el R<sub>11</sub> lo encamina hacia el siguiente salto).

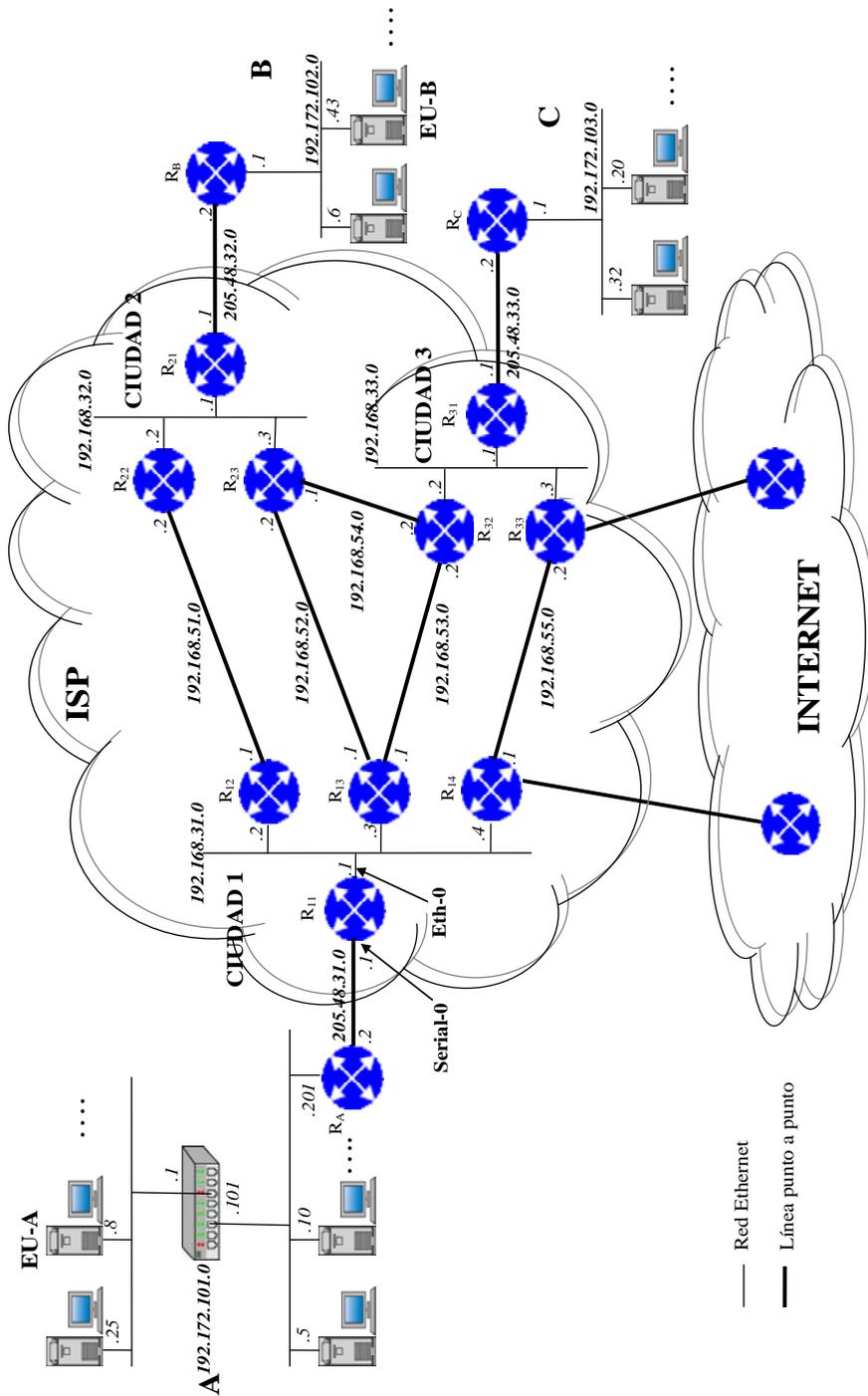
- g) Suponiendo que el paquete IP del apartado anterior ocupa 1753 bytes (incluyendo tanto los datos como la cabecera sin campos opcionales), y que la MTU de la red Ethernet a la que está conectado el R<sub>A</sub> son 1500 bytes, indicar en qué equipos y en qué nivel se realizaría la fragmentación y el reensamblado, en caso de ser necesario.  
Considerar sólo el trayecto hasta que la información sale del R<sub>A</sub>)
- h) Indicar si la tabla ARP que se muestra a continuación se corresponde con la de EU-A después de la transferencia de información descrita. Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.  
Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

Dir. IP	Dir MAC
192.172.101.1	MAC - Switch
192.172.101.201	MAC-R <sub>A</sub>
192.172.102.43	MAC - EU-B

Considerar que:

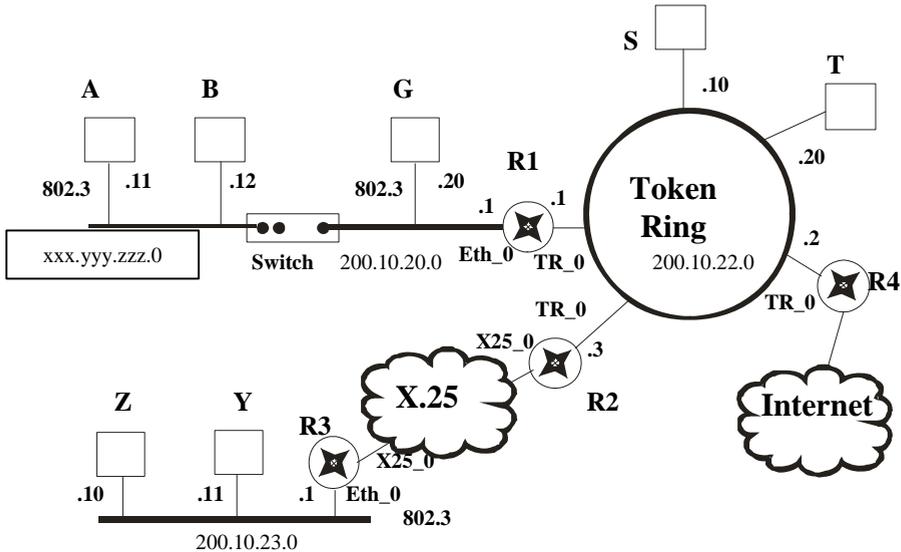
-  Antes de realizarse el intercambio de mensajes indicado, las tablas ARP de todos los equipos están vacías.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.



# 11.

En una empresa se tiene el siguiente esquema de red con segmentos Ethernet y Token Ring, en los que se realiza comunicación TCP/IP, conectados con una sede remota mediante una red de área extensa X25.



Sobre ese esquema de red, responder a las siguientes preguntas:

- Dar una numeración lógica a la red situada a la izquierda del switch y representada como xxx.yyy.zzz.0. Justificar la respuesta.
- Indicar si la tabla de encaminamiento del Router R2 que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta. Si es incorrecta, proponer una alternativa válida.

Destino	Siguiente salto	Puerto
200.10.22.0	Directo	TR_0
200.10.20.0	200.10.22.1	TR_0
200.10.21.0	200.10.22.1	TR_0
200.10.23.0	200.10.23.1	X25_0

- Escribir las tablas de encaminamiento IP de los equipos R1, T y Z.

Dentro de esta red, y con las tablas ARP vacías en todos los ordenadores, desde el ordenador A se comienza a ejecutar una aplicación que envía un mensaje de login de **200 bytes** al servidor local B.

- d) Desde el segmento donde se encuentra el ordenador G, ¿sería posible capturar dicho mensaje de “login” entre A y B? ¿Puede ver G alguno de los mensajes intercambiados entre A y B? ¿Cuáles?

Como resultado de este mensaje, el ordenador B necesita acceder al servidor Z situado en la sede remota, por lo que le envía un mensaje de **4.000 bytes**.

- e) Procesos de fragmentación y reensamblado que se dan en la comunicación completa ( $A \rightarrow B$  y  $B \rightarrow Z$ ) y contenido de los campos de cabecera más relevantes relacionados con la fragmentación
- f) Secuencia de mensajes a nivel de red desde que el mensaje llega al nivel IP de la máquina A hasta que la solicitud llega al fin a la máquina Z, suponiendo que todas las tablas ARP están vacías.
- g) Contenido de las tablas ARP de los equipos A, B, G y R1 al finalizar la comunicación.

Considerar que:

- ✎ En el dato de tamaño del mensaje está incluida la cabecera del nivel de Aplicación.  
¡Ojo! No se incluye la cabecera del nivel de transporte TCP=20 bytes.
- ✎ Los valores de las MTU de cada red son los siguientes:  $MTU_{802.3}=1500$ ,  $MTU_{TR}=8000$ , Tamaño máximo del campo de datos de un paquete de datos X25 = 512 bytes.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 12.

Una empresa de telecomunicaciones dedicada a dar servicio de conexión X.25 tiene dos sedes: Una de ellas, la Sede Norte (N) se encarga de los clientes del norte, mientras que la Sede Sur (S), se encarga de los clientes del sur.

La red X.25 de la empresa está compuesta por dos conmutadores conectados entre sí, cada uno de ellos en una de las sedes. Además, en cada una de ellas, la empresa tiene sus propias oficinas, con equipos conectados en torno a una red LAN 802.3. La comunicación entre equipos de las LAN de las dos sedes se realiza a través de la red X.25 mediante máquinas especiales para ello.

La información de los clientes de cada sede se gestiona en la propia sede, para lo cual se dispone de una máquina servidora en cada una de las sedes, de forma que las estaciones de trabajo consultan a ese servidor cuando necesitan información de un cliente.

Además, la empresa requiere un sistema de copia de seguridad externo, debido al volumen de clientes de la empresa. Para ello, se ha optado por contratar un servicio de Base de Datos Externo, formado por una potente máquina de almacenaje a la que ambas sedes se conectan a través de Internet. Así, cada vez que haya alguna modificación en alguno de los servidores de la empresa, éste se encarga de actualizar dicha modificación en la Base de Datos Externa. Para la interconexión de ambas sedes a Internet, se optó por un enlace PPP desde las mismas máquinas que se utilizan para la interconexión con la red X.25.

Así, la comunicación entre sedes se realiza a través de la red X.25. Y cuando hay alguna modificación a realizar en la Base de Datos Externa, se hace a través de Internet.

Se pide:

- a) Dibujar el esquema de red. Plantear un esquema de direccionamiento posible.
- b) Tablas de encaminamiento de:
  - Una Estación de Trabajo de la Sede Norte.
  - La máquina de interconexión entre la Sede Norte y la red X.25 e Internet. ¿Qué tipo de máquina es?
  - El conmutador X.25 que funciona como DCE de la Sede Sur.

Desde una estación A de la Sede Sur se quieren modificar los datos de un cliente de la Sede Norte. Para ello, le envía al servidor de la Sede Norte (S) una solicitud de modificación, utilizando un protocolo de aplicación propietario. Este mensaje ocupa 2048 bytes. Al recibir dicha solicitud, S debe solicitar a la Base de Datos Externa la actualización de la copia de seguridad, para lo que utiliza un protocolo de aplicación estándar de consulta de Bases de Datos (SQL). El mensaje SQL ocupa 516 bytes. La Base de Datos responderá a S con otro mensaje SQL indicando que la modificación se hizo correctamente. S, al recibir la respuesta de la Base de Datos, crea un mensaje del mismo protocolo de aplicación propietario mencionado anteriormente y se lo envía como respuesta a A.

- c) Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada uno de los enlaces involucrados en dicha transferencia de información hasta que la solicitud de actualización llega a la Base de Datos Externa, indicando los valores de los campos más representativos de las cabeceras de los niveles de red y enlace (direccionamiento, fragmentación...). En caso de producirse fragmentación, indicar qué equipos y a qué nivel realizan la fragmentación y el reensamblado.

Considerar que:

- En los datos de tamaños de los mensajes de nivel de aplicación, están incluidas las cabeceras de dicho protocolo de aplicación.
- Ambos protocolos de aplicación utilizan el servicio de transporte ofrecido por UDP, que no realiza segmentación. Cabecera UDP=20 bytes.
- Las únicas tramas que viajan por los enlaces durante el tiempo que dura la comunicación, son las correspondientes a la comunicación descrita en el enunciado.
- $MTU_{ETH}=1500$ ;  $MTU_{PPP}=6500$ ; tamaño máximo del campo de datos de los paquetes X.25 = 512 bytes.

NOTA: Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 13.

Una multinacional tiene sedes en 3 países contiguos. La sede en el país A es la Sede Central, y está compuesta por dos segmentos 802.3 y un segmento 802.5 interconectados entre sí con un Sistema Intermedio (Intermediate System, IS) IS1, y además, en el segmento 802.5 hay un equipo (IS2) que interconecta la sede con 2 redes X.25 (redes X e Y) diferentes.

La red X interconecta la Sede Central con la sede del país B, que está compuesta por dos segmentos 802.3, interconectados entre sí por un equipo (IS3). En uno de esos segmentos, se ubica el equipo IS4, que interconecta la sede del país B con la red X.

La red Y interconecta la Sede Central con la sede del país C, que tiene un único segmento 802.3, con normativa 10BASE-T. El equipo central de su topología es el equipo IS5, y el que interconecta la sede del país C con la red Y, el IS6.

Los servicios contratados con las Operadoras de las redes X.25 son 3 CVPs en la red X y la posibilidad de establecer hasta 5 CVCs en la red Y.

Suponiendo que las comunicaciones en todas las redes de la multinacional están basadas en la arquitectura TCP/IP, y **que todos los equipos IS tienen la capacidad mínima necesaria** para el problema de interconexión que solucionan, contestar a las siguientes preguntas:

- a) Dibujar el esquema descrito, indicando qué tipo de máquina es cada IS. Definir el plan de direccionamiento, y asignar direcciones a los equipos que lo requieran. Designar cada puerto.
- b) Indicar la arquitectura de protocolos de cada IS
- c) Tablas de encaminamiento IP de:
  - Un equipo terminal de la red 802.5 de la Sede Central
  - IS2
  - IS3
  - IS4

La red X está compuesta por 3 conmutadores (K1, K2 y K3) que están conectados entre sí mediante una topología totalmente mallada. K1 y K2 actúan como DCEs de la sede del país A y la sede del país B respectivamente. De todos los CVPs contratados por la multinacional en la red X, sólo uno de ellos pasa por K3.

- d) Dibujar el esquema de esta red X, indicando los LCIs asignados a cada CVP contratado.
- e) Escribir la tabla de conexiones de K1.
- f) Un Equipo Terminal del país B envía un mensaje a otro Equipo Terminal del país C. Explicar la secuencia de acontecimientos sucedidos desde que ese mensaje entra al IS4 hasta que sale del IS2.

# **SOLUCIONES**



# 1.

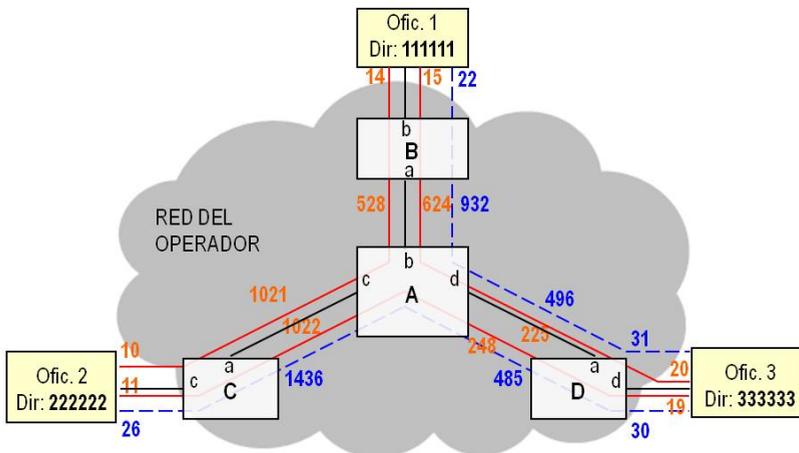
Un operador de telecomunicaciones dispone de una red de conmutación de paquetes orientada a conexión que consta de 4 conmutadores, siendo uno de ellos (A) el centro de una estrella cuyas puntas son los otros 3 conmutadores (B, C y D).

Una empresa que dispone de 3 oficinas en diferentes ciudades solicita al operador el servicio de conexión entre sus oficinas mediante circuitos virtuales bidireccionales tanto permanentes (1 entre cada par de oficinas) como conmutados (3 canales lógicos en las oficinas 1 y 3, y 2 en la oficina 2). El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 de la empresa cliente a los conmutadores B, C y D del operador respectivamente.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red del operador y los equipos del cliente que están conectados a la misma, así como las direcciones de red asignadas por el operador a cada uno de los equipos del cliente (en **negrita**).

En la figura también se muestran gráficamente los circuitos virtuales que están establecidos en un momento determinado, indicándose los LCIs asignados a los mismos en cada enlace:

- En línea roja continua, los 3 circuitos virtuales permanentes (CVP).
- En línea azul discontinua, los 2 circuitos virtuales conmutados (CVC) que están establecidos en ese momento:
  - o Uno entre la oficina 1 y la oficina 3
  - o El otro entre la oficina 2 y la oficina 3



Responder a las siguientes preguntas:

- a) Indicar cuál es el contenido de las tablas de conexiones de los 4 conmutadores de la red en el momento al que se refiere el enunciado y que se encuentra reflejado en la figura. Identificar cuáles de las entradas de dichas tablas de conexiones se refieren a CVP y cuáles a CVC.

Conmutador A

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>b</b>	<b>528</b>	<b>c</b>	<b>1021</b>
<b>b</b>	<b>624</b>	<b>d</b>	<b>225</b>
b	932	d	496
<b>c</b>	<b>1021</b>	<b>b</b>	<b>528</b>
<b>c</b>	<b>1022</b>	<b>d</b>	<b>248</b>
c	1436	d	485
<b>d</b>	<b>225</b>	<b>b</b>	<b>624</b>
<b>d</b>	<b>248</b>	<b>c</b>	<b>1022</b>
d	485	c	1436
d	496	b	932

Conmutador B

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>b</b>	<b>14</b>	<b>a</b>	<b>528</b>
<b>b</b>	<b>15</b>	<b>a</b>	<b>624</b>
b	22	a	932
<b>a</b>	<b>528</b>	<b>b</b>	<b>14</b>
<b>a</b>	<b>624</b>	<b>b</b>	<b>15</b>
a	932	b	22

Conmutador C

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>c</b>	<b>10</b>	<b>a</b>	<b>1021</b>
<b>c</b>	<b>11</b>	<b>a</b>	<b>1022</b>
c	26	a	1436
<b>a</b>	<b>1021</b>	<b>c</b>	<b>10</b>
<b>a</b>	<b>1022</b>	<b>c</b>	<b>11</b>
a	1436	c	26

Conmutador D

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>d</b>	<b>19</b>	<b>a</b>	<b>248</b>
<b>d</b>	<b>20</b>	<b>a</b>	<b>225</b>
d	30	a	485
d	31	a	496
<b>a</b>	<b>225</b>	<b>d</b>	<b>20</b>
<b>a</b>	<b>248</b>	<b>d</b>	<b>19</b>
a	485	d	30
a	496	d	31

**Negrita** --> CVP, normal --> CVC

- b) Teniendo en cuenta que para poder establecer CVCs los conmutadores tienen que decidir hacia dónde encaminar los paquetes de solicitud de establecimiento de CV, y que para ello necesitan tener una tabla de encaminamiento, indicar cuál es el contenido de las tablas de encaminamiento de los 4 conmutadores.

**Conmutador A**

Destino	Enlace
111111	b
222222	c
333333	d

**Conmutador B**

Destino	Enlace
111111	b
222222	a
333333	a

**Conmutador C**

Destino	Enlace
111111	a
222222	c
333333	a

**Conmutador D**

Destino	Enlace
111111	a
222222	a
333333	d

c) Suponiendo que la solicitud de establecimiento del CVC existente entre la oficina 1 y la oficina 3 fue iniciada por la oficina 1:

- Indicar cuáles de las entradas de las tablas de encaminamiento de cada conmutador han sido tenidas en cuenta en el establecimiento de dicho CVC.

**Conmutador A**

Destino	Enlace
111111	b
222222	c
<u>333333</u>	<u>d</u>

**Conmutador B**

Destino	Enlace
111111	b
222222	a
<u>333333</u>	<u>a</u>

**Conmutador C**

Destino	Enlace
111111	a
222222	c
333333	a

**Conmutador D**

Destino	Enlace
111111	a
222222	a
<u>333333</u>	<u>d</u>

- Indicar cuáles de las entradas de las tablas de conexiones de cada conmutador han sido creadas durante el establecimiento de dicho CVC.

**Conmutador A**

ENTRADA		SALIDA	
Enl	LCI	Enlac	LCI
<b>b</b>	<b>528</b>	<b>c</b>	<b>1021</b>
<b>b</b>	<b>624</b>	<b>d</b>	<b>225</b>
<u>b</u>	<u>932</u>	<u>d</u>	<u>496</u>
<b>c</b>	<b>1021</b>	<b>b</b>	<b>528</b>
<b>c</b>	<b>1022</b>	<b>d</b>	<b>248</b>
c	1436	d	485
<b>d</b>	<b>225</b>	<b>b</b>	<b>624</b>
<b>d</b>	<b>248</b>	<b>c</b>	<b>1022</b>
d	485	c	1436
<u>d</u>	<u>496</u>	<u>b</u>	<u>932</u>

**Conmutador B**

ENTRADA		SALIDA	
Enlac	LCI	Enlac	LCI
<b>b</b>	<b>14</b>	<b>a</b>	<b>528</b>
<b>b</b>	<b>15</b>	<b>a</b>	<b>624</b>
<u>b</u>	<u>22</u>	<u>a</u>	<u>932</u>
<b>a</b>	<b>528</b>	<b>b</b>	<b>14</b>
<b>a</b>	<b>624</b>	<b>b</b>	<b>15</b>
<u>a</u>	<u>932</u>	<u>b</u>	<u>22</u>

**Conmutador C**

ENTRADA		SALIDA	
Enlac	LCI	Enlac	LCI
<b>c</b>	<b>10</b>	<b>a</b>	<b>1021</b>
<b>c</b>	<b>11</b>	<b>a</b>	<b>1022</b>
c	26	a	1436
<b>a</b>	<b>1021</b>	<b>c</b>	<b>10</b>
<b>a</b>	<b>1022</b>	<b>c</b>	<b>11</b>
a	1436	c	26

**Conmutador D**

ENTRADA		SALIDA	
Enlac	LCI	Enlac	LCI
<b>d</b>	<b>19</b>	<b>a</b>	<b>248</b>
<b>d</b>	<b>20</b>	<b>a</b>	<b>225</b>
d	30	a	485
<u>d</u>	<u>31</u>	<u>a</u>	<u>496</u>
<b>a</b>	<b>225</b>	<b>d</b>	<b>20</b>
<b>a</b>	<b>248</b>	<b>d</b>	<b>19</b>
a	485	d	30
<u>a</u>	<u>496</u>	<u>d</u>	<u>31</u>

d) A continuación la oficina 3 solicita el establecimiento de un nuevo CVC hacia la oficina 1:

- Indicar cuáles de las entradas de las tablas de encaminamiento de cada conmutador son utilizadas para establecer dicho CVC.

**Conmutador A**

Destino	Enlace
<u>111111</u>	<u>b</u>
222222	c
333333	d

**Conmutador B**

Destino	Enlace
<u>111111</u>	<u>b</u>
222222	a
333333	a

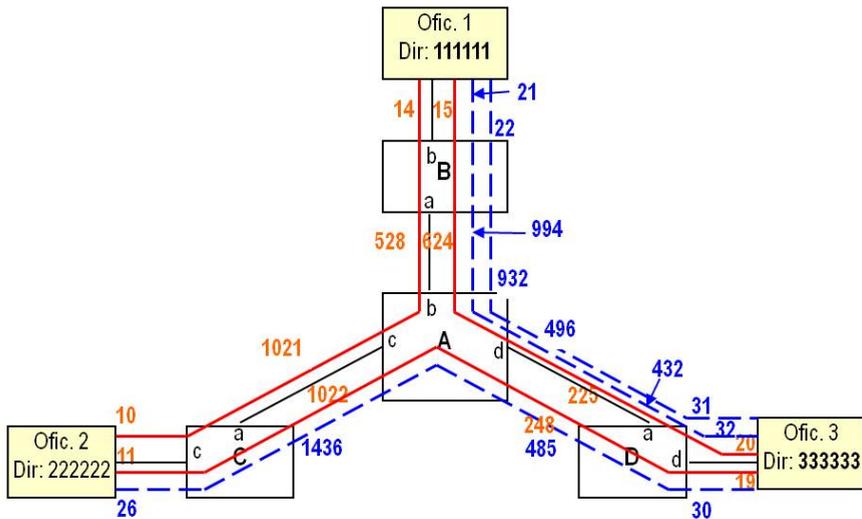
**Conmutador C**

Destino	Enlace
111111	a
222222	c
333333	a

**Conmutador D**

Destino	Enlace
<u>111111</u>	<u>a</u>
222222	a
333333	d

- Dibujar el camino que van a seguir los paquetes pertenecientes a ese nuevo CVC, asignando LCIs en cada uno de los tramos del mismo.



- Indicar el contenido de las tablas de conexiones de los 4 conmutadores después de que dicho CVC haya sido correctamente establecido.

**Conmutador A**

ENTRADA		SALIDA	
Enl	LCI	Enlac	LCI
b	528	c	1021
b	624	d	225
b	932	d	496
<u>b</u>	<u>994</u>	<u>d</u>	<u>432</u>
c	1021	b	528
c	1022	d	248
c	1436	d	485
d	225	b	624
d	248	c	1022
<u>d</u>	<u>432</u>	<u>b</u>	<u>994</u>
d	485	c	1436
d	496	b	932

**Conmutador B**

ENTRADA		SALIDA	
Enlac	LCI	Enlac	LCI
b	14	a	528
b	15	a	624
<u>b</u>	<u>21</u>	<u>a</u>	<u>994</u>
b	22	a	932
a	528	b	14
a	624	b	15
a	932	b	22
<u>a</u>	<u>994</u>	<u>b</u>	<u>21</u>

**Conmutador C**

ENTRADA		SALIDA	
Enlac	LCI	Enlac	LCI
<b>c</b>	<b>10</b>	<b>a</b>	<b>1021</b>
<b>c</b>	<b>11</b>	<b>a</b>	<b>1022</b>
c	26	a	1436
<b>a</b>	<b>1021</b>	<b>c</b>	<b>10</b>
<b>a</b>	<b>1022</b>	<b>c</b>	<b>11</b>
a	1436	c	26

**Conmutador D**

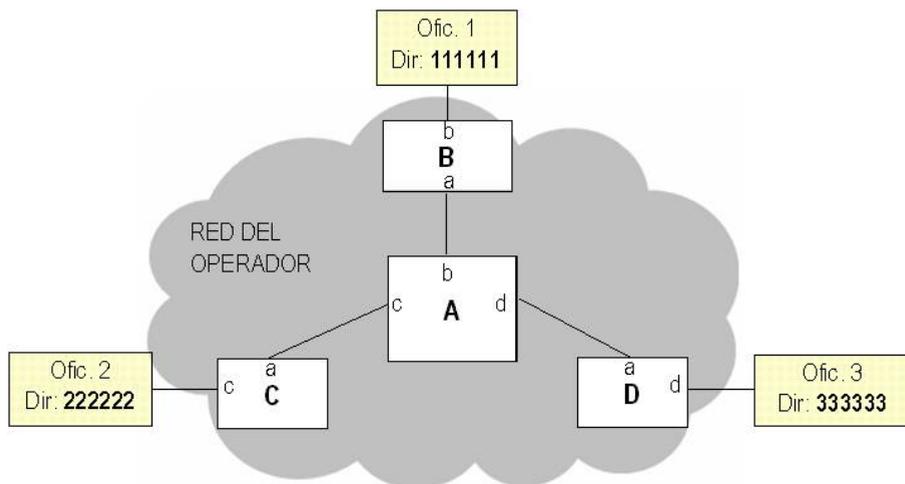
ENTRADA		SALIDA	
Enlac	LCI	Enlac	LCI
<b>d</b>	<b>19</b>	<b>a</b>	<b>248</b>
<b>d</b>	<b>20</b>	<b>a</b>	<b>225</b>
d	30	a	485
d	31	a	496
<i><u>d</u></i>	<i><u>32</u></i>	<i><u>a</u></i>	<i><u>432</u></i>
<b>a</b>	<b>225</b>	<b>d</b>	<b>20</b>
<b>a</b>	<b>248</b>	<b>d</b>	<b>19</b>
<i><u>a</u></i>	<i><u>432</u></i>	<i><u>d</u></i>	<i><u>32</u></i>
a	485	d	30
a	496	d	31

## 2.

Un operador de telecomunicaciones dispone de una red de conmutación de paquetes **NO** orientada a conexión que consta de 4 equipos, siendo uno de ellos (**A**) el centro de una estrella cuyas puntas son los otros 3 (**B**, **C** y **D**).

Una empresa que dispone de 3 oficinas en diferentes ciudades solicita al operador el servicio de conexión entre sus 3 oficinas. El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 de la empresa cliente a los equipos **B**, **C** y **D** del operador respectivamente.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red del operador y los equipos del cliente que están conectados a la misma, así como las direcciones de red asignadas por el operador a cada uno de los equipos del cliente (en **negrita**).



Responder a las siguientes preguntas:

- a) Indicar cuál es el contenido de las tablas de conexiones de **A**, **B**, **C** y **D**.

En una red **NO** orientada a conexión no hay tablas de conexiones. Una tabla de conexiones en un conmutador indica cómo debe conmutar los paquetes pertenecientes a los circuitos virtuales que pasan por dicho

conmutador. Por lo tanto, sólo existen en los conmutadores de las redes en las que hay circuitos virtuales, es decir, en las redes orientadas a conexión.

- b) Indicar cuál es el contenido de las tablas de encaminamiento de A, B, C y D.

A

Destino	Enlace
111111	b
222222	c
333333	d

B

Destino	Enlace
111111	b
222222	a
333333	a

C

Destino	Enlace
111111	a
222222	c
333333	a

D

Destino	Enlace
111111	a
222222	a
333333	d

- c) Suponiendo que la oficina 1 y la oficina 3 mantienen entre sí una comunicación:

- Indicar cuáles de las entradas de las tablas de encaminamiento son utilizadas para hacer posible dicha comunicación.

En verde: Para los paquetes que van de la Oficina 1 a la Oficina 3.

En rojo: Para los paquetes que van de la Oficina 3 a la Oficina 1.

A

Destino	Enlace
111111	b
222222	c
333333	d

B

Destino	Enlace
111111	b
222222	a
333333	a

C

Destino	Enlace
111111	a
222222	c
333333	a

D

Destino	Enlace
111111	a
222222	a
333333	d

- **Indicar cuáles de las entradas de las tablas de conexiones son utilizadas para conmutar los paquetes de dicha comunicación.**

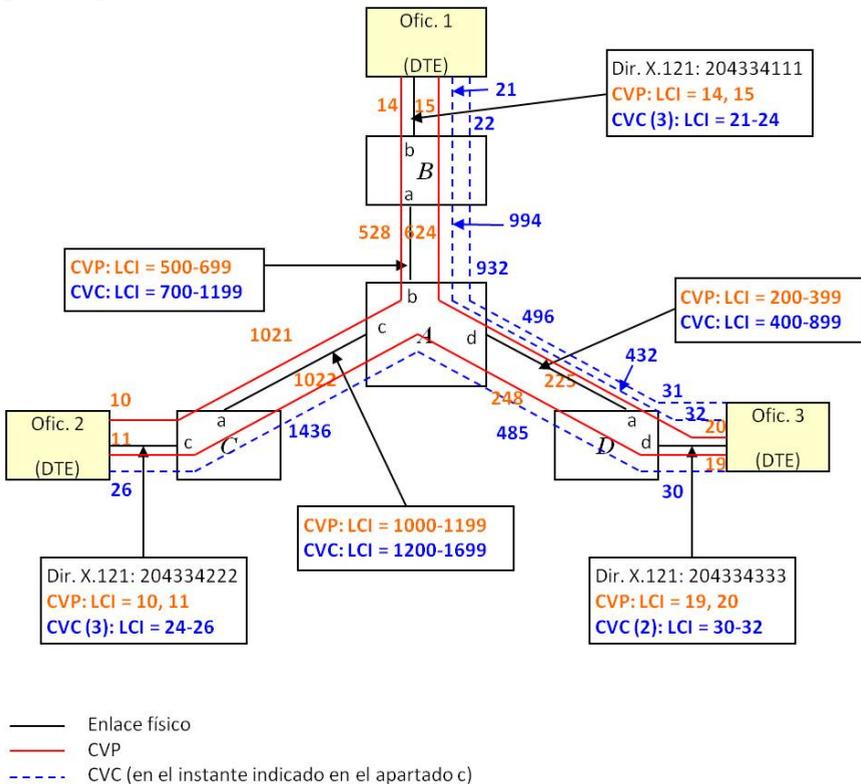
Como se ha indicado antes, no hay tablas de conexiones. En una red NO orientada a conexión, todos los paquetes llevan en la cabecera de control la dirección del destino, y cada nodo de la red del operador toma la decisión de encaminamiento para cada uno de los paquetes en función de dicha dirección y el contenido de su tabla de encaminamiento.

### 3.

Un operador de telecomunicaciones necesita dar servicio de conexión a una empresa mediante una red de conmutación de paquetes X.25. La red de la que dispone el operador consta de 4 conmutadores X.25, siendo uno de ellos (A) el centro de una estrella cuyas puntas son los otros 3 conmutadores (B, C y D)

Dicha empresa solicita el servicio de conexión entre sus 3 oficinas mediante circuitos virtuales tanto permanentes (1 entre cada par de oficinas) como conmutados (4 canales lógicos bidireccionales en la oficina 1, y 3 en las oficinas 2 y 3). El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 a los conmutadores B, C y D respectivamente.

- e) Dibujar la solución de red propuesta, incluyendo los CV.  
 Establecer un esquema de direccionamiento y asignar las correspondientes direcciones a cada instalación y los LCIs asignados por el operador.



f) Construir las tablas de encaminamiento de los conmutadores.

**Conmutador A**

Destino	Enlace
204334111	b
204334222	c
204334333	d

**Conmutador B**

Destino	Enlace
204334111	b
204334222	a
204334333	a

**Conmutador C**

Destino	Enlace
204334111	a
204334222	c
204334333	a

**Conmutador D**

Destino	Enlace
204334111	a
204334222	a
204334333	d

g) Construir las tablas de conexiones de los conmutadores en el momento en el que la oficina 2 tiene establecido un circuito virtual conmutado con la oficina 3, y la oficina 3 tiene establecidos 2 circuitos virtuales conmutados con la oficina 1.

**Conmutador A**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>b</b>	<b>528</b>	<b>c</b>	<b>1021</b>
<b>b</b>	<b>624</b>	<b>d</b>	<b>225</b>
b	932	d	496
b	994	d	432
<b>c</b>	<b>1021</b>	<b>b</b>	<b>528</b>
<b>c</b>	<b>1022</b>	<b>d</b>	<b>248</b>
c	1436	d	485
<b>d</b>	<b>225</b>	<b>b</b>	<b>624</b>
<b>d</b>	<b>248</b>	<b>c</b>	<b>1022</b>
d	432	b	994
d	485	c	1436
d	496	b	932

**Conmutador B**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>b</b>	<b>14</b>	<b>a</b>	<b>528</b>
<b>b</b>	<b>15</b>	<b>a</b>	<b>624</b>
b	21	a	994
b	22	a	932
<b>a</b>	<b>528</b>	<b>b</b>	<b>14</b>
<b>a</b>	<b>624</b>	<b>b</b>	<b>15</b>
a	932	b	22
a	994	b	21

Conmutador C

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>c</b>	<b>10</b>	<b>a</b>	<b>1021</b>
<b>c</b>	<b>11</b>	<b>a</b>	<b>1022</b>
c	26	a	1436
<b>a</b>	<b>1021</b>	<b>c</b>	<b>10</b>
<b>a</b>	<b>1022</b>	<b>c</b>	<b>11</b>
a	1436	c	26

Conmutador D

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>d</b>	<b>19</b>	<b>a</b>	<b>248</b>
<b>d</b>	<b>20</b>	<b>a</b>	<b>225</b>
d	30	a	485
d	31	a	496
d	32	a	432
<b>a</b>	<b>225</b>	<b>d</b>	<b>20</b>
<b>a</b>	<b>248</b>	<b>d</b>	<b>19</b>
a	432	d	32
a	485	d	30
a	496	d	31

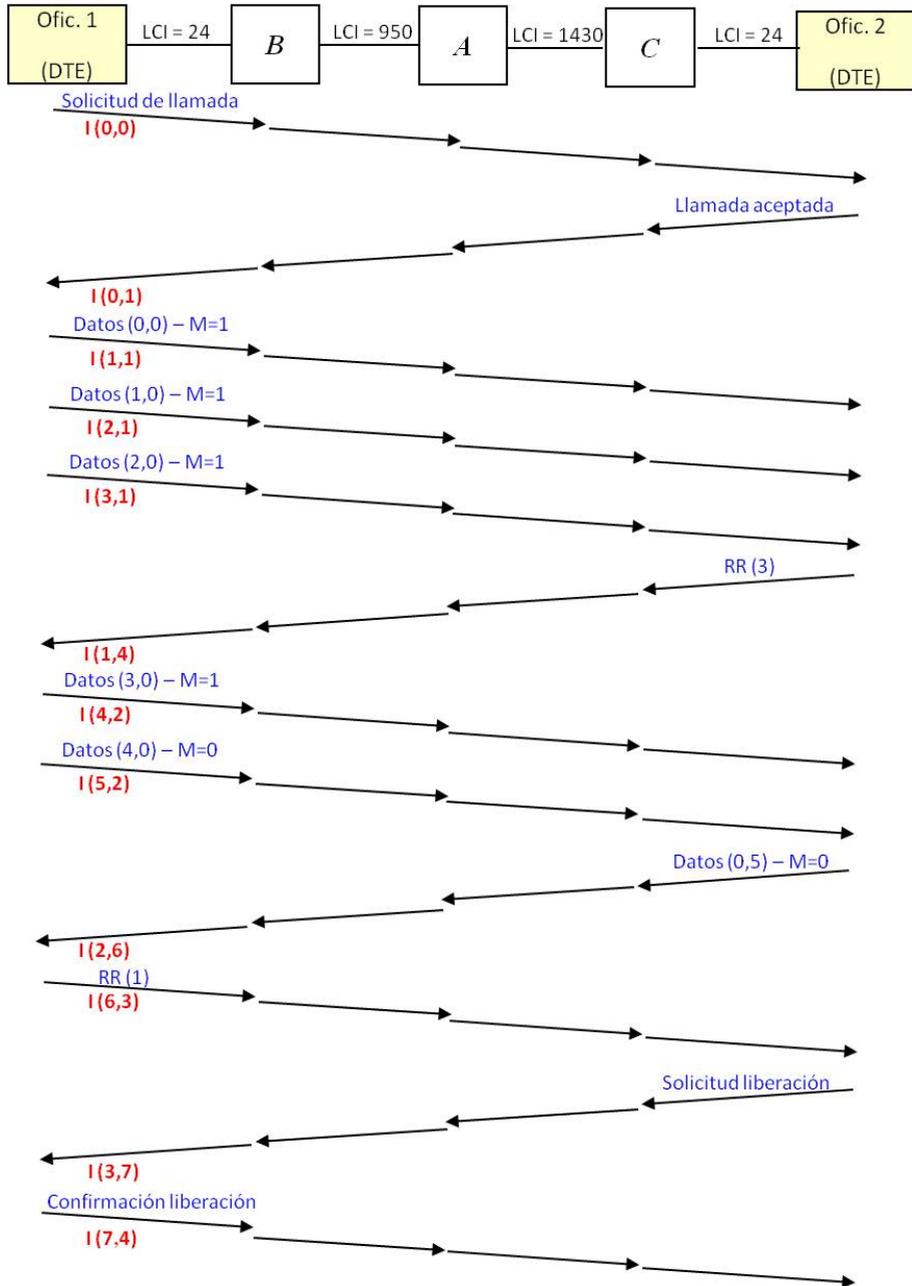
**Negrita** --> CVP, normal --> CVC

Estando en la situación del apartado anterior, la oficina 1 establece un circuito virtual conmutado con la oficina 2 para enviarle un mensaje de 624 bytes. La oficina 2 le contesta con un mensaje de 84 bytes y a continuación libera dicho circuito virtual.

- h) Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada uno de los enlaces involucrados en el establecimiento, transferencia de datos y liberación de dicho CV. Mostrar para cada uno de ellos:
- Estructura de trama y valores de los campos de nivel de enlace
  - Estructura de paquete y valores de los campos de nivel de red

A continuación se muestra la secuencia de mensajes intercambiados entre los diferentes equipos involucrados en el establecimiento, transferencia de datos y liberación del CV.

- Se ha indicado por encima de la flecha y en azul información del paquete (nivel de red)
- Se ha indicado por debajo de la flecha, en rojo y en negrita información de la trama (nivel de enlace)

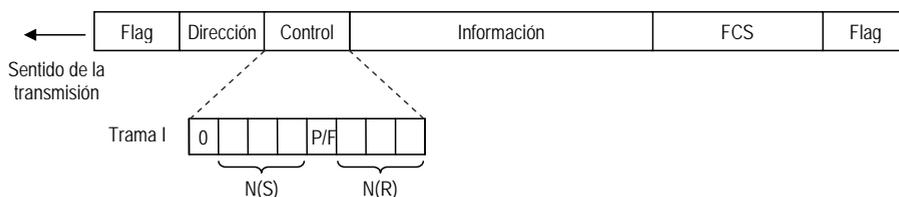


Se considera que el nivel de enlace en cada uno de los enlaces involucrados está previamente establecido en modo ABM (así lo indica el enunciado, y en cualquier caso se podría deducir porque ya existen CV establecidos en dichos enlaces, y por lo tanto se están intercambiando tramas de información por los mismos).

Por lo tanto, la secuencia de mensajes intercambiados son paquetes de nivel de red encapsulados a nivel de enlace en el campo Información de tramas I.

### NIVEL DE ENLACE

El formato de las tramas I es el siguiente:



En la figura en la que se muestran los flujos de mensajes se indica el valor de los campos (N(S), N(R)) en uno de los enlaces.

Como el enunciado dice que las únicas tramas que viajan por los enlaces durante el tiempo que dura esta comunicación son las correspondientes a este CV, se puede observar que la numeración de dichas tramas es consecutiva.

En el resto de enlaces será similar, aunque los números de secuencia a nivel de enlace en un enlace son totalmente independientes de los números de secuencia en cualquier otro enlace. Por lo tanto, es posible que las tramas intercambiadas entre los conmutadores B y A fueran:

→ I(3,1),

← I(1,4)

→ I(4,2)

→ I(5,2)

....

El campo direcciones en el nivel de enlace toma los siguientes valores en cada una de las tramas en los enlaces entre DTE-DCE:

SENTIDO	COMANDO	RESPUESTA
PC (DTE) → red (DCE)	01hex (B)	03hex (A)
Red (DCE) → PC (DTE)	03hex (A)	01hex (B)

En los enlaces entre conmutadores no podemos asegurar los valores que tomarían dichos campos, porque la especificación X.25 sólo indica cómo debe ser en el interfaz de acceso a la red.

## **NIVEL DE RED**

La secuencia de paquetes de nivel de red intercambiados es:

- Fase de establecimiento de CV:
  - Solicitud de llamada
  - Aceptación de llamada
- Fase de transferencia de datos:
  - Datos
  - RR
- Fase de liberación de CV:
  - Solicitud de liberación
  - Confirmación de liberación

Cada uno de estos paquetes se repetirá en cada uno de los enlaces involucrados, variando sólo el campo LCI (LGN+LCN), tomando el valor correspondiente al LCI asignado a ese CV en el enlace correspondiente (el indicado en la figura entre cada par de equipos). Teniendo esto en cuenta, sólo se va a mostrar el formato de los paquetes en uno de los enlaces (Oficina 1 – Conmutador B), y el resto se puede deducir con lo explicado en este párrafo.

## **FASE DE ESTABLECIMIENTO DE CV**

El DTE de la oficina 1 intenta establecer el nuevo CVC hacia el DTE de la Oficina 2. Para ello debe indicar en el paquete de Establecimiento de Llamada tanto el N° Llamante (su propia dirección X.121) como el N° Llamado (la dirección X.121 del destino). Dicho paquete de establecimiento de llamada se encamina desde el conmutador B, al A, al C al DTE de la Oficina 2. El N° llamado será utilizado por cada uno de los conmutadores por donde pasa el paquete de Establecimiento de Llamada para tomar la decisión de encaminamiento en base al contenido de su tabla de encaminamiento, e ir creando así el CV.

Además, en cada enlace hay que asignar un LCI (de entre los LCIs libres reservados para CVC) al CV que se está estableciendo. El DTE 1 elegirá el más alto de los que tiene libres (LCI=24), DCE-C el más bajo (LCI=24). Así se van creando nuevas entradas en las tablas de conexiones de cada conmutador, correspondientes al CV que se está estableciendo. En concreto, aparecen las siguientes nuevas entradas:

**Conmutador A**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
b	950	c	1430
c	1430	b	950

**Conmutador B**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
b	24	a	950
a	950	b	24

**Conmutador C**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
a	1430	c	24
c	24	a	1430

Adicionalmente, el DTE 1 hace una propuesta de tamaño de ventana (3), que indica en el campo Facilidades.

Cuando el paquete de Establecimiento de Llamada llega al DTE 2, éste acepta la llamada con las Facilidades solicitadas. Este paquete se irá pasando hacia atrás hasta llegar al DTE1, sirviendo para activar las entradas recién creadas en las tablas de conexiones.

• Paquete de Solicitud de Llamada

0	0	0	1	0	0	0	0	Módulo 8 (0 1) LCI = 24 (950, 1430, 24 en el resto de enlaces)
LCGN				LCN				
0	0	0	1	1	0	0	0	Paquete de Control Solicitud de llamada
PTI				Long N° llamante = Log N° llamado = 9 (9 nibbles, cada uno de ellos correspondiente con un dígito decimal)				
Long N° llamante				Long N° llamado				N° llamante: 204334111 N° llamado: 204334222
1	0	0	1	1	0	0	1	
N° llamante y N° llamado								
0	0	1	0	0	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	1	1	
0	0	1	1	0	1	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	1	
0	0	0	1	0	0	1	0	
0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	1	1	0	0	1	1	
0	1	0	0	0	0	1	0	
0	0	1	0	0	0	1	0	
0	0	Long Facilidades						En Facilidades se debe codificar el Tamaño de Ventana de este CV (3). No es necesario indicar el tamaño de paquete (128), porque ése es el valor por defecto.
Facilidades								

• Paquete de Aceptación de Llamada:

0	0	0	1	0	0	0	0
LCN				LCGN			
0	0	0	1	1	0	0	0
PTI				Llamada aceptada			
Lng N° llamante				Long N° llamado			
1	0	0	1	1	0	0	1
N° llamante y N° llamado							
0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	Long Facilidades					
Facilidades							

Módulo 8 (0 1)  
LCI = 24 (950, 1430, 24 en el resto de enlaces)

Paquete de Control

Long N° llamante = Long N° llamado = 9 (9 nibbles, cada uno de ellos correspondiente con un dígito decimal)

**FASE DE TRANSFERENCIA DE DATOS**

El DTE de la oficina 1 quiere enviar 624 bytes al de la oficina 2. Sin embargo, el tamaño máximo del campo de datos de los paquetes de datos es 128 bytes. Por lo tanto X.25-PLP tendrá que fragmentar dicho paquete (fragmenta DTE de la Oficina 1, reensambla DTE de la Oficina 2):

4 paquetes x 128 bytes, con bit M=1.  
1 paquete x 112 bytes, con bit M=0.

Estos paquetes se numeran secuencialmente P(S).

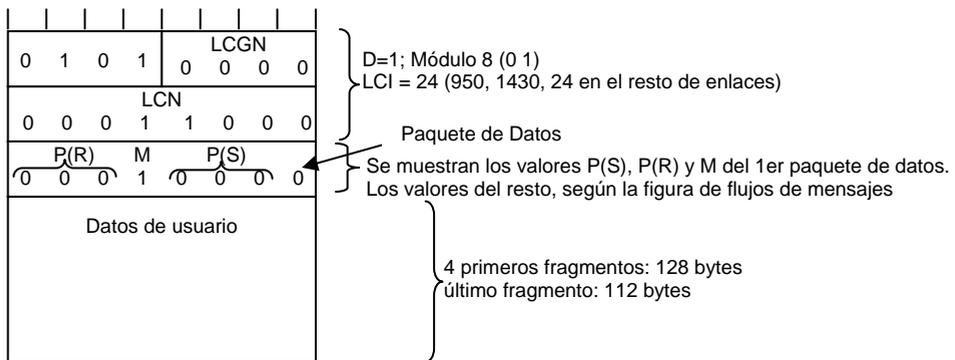
Sin embargo, el tamaño de ventana a nivel de red se ha establecido a 3. Por lo tanto, no pueden enviarse más de 3 paquetes de datos en cada sentido sin haber sido confirmados. En este ejemplo en concreto, la oficina 1, después de enviar 3 paquetes de datos (P(S)=0, 1, 2) debe parar la transmisión hasta que reciba la confirmación de alguno de ellos. Se ha considerado que Oficina 2 envía la confirmación del último (RR con P(R)=3), lo que le permite a Oficina 1 volver

a enviar otros 3 paquetes. Es decir, ya puede enviar los 2 que tiene pendientes ( $P(S)=3, 4$ ).

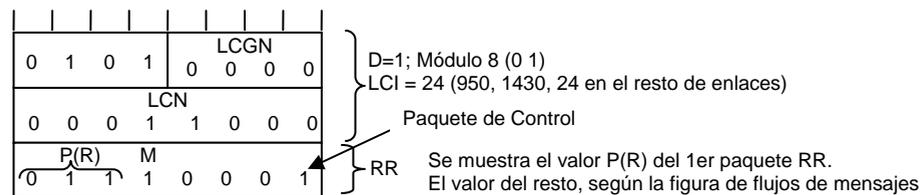
El DTE de la Oficina 2, una vez que ha recibido los 5 fragmentos, los reensambla obteniendo el paquete original, procesa dicho paquete, y genera una respuesta de 84 bytes ( $P(S)=0$ ).

El DTE de la Oficina 1 debe confirmar la recepción de dicho paquete de datos (RR con  $P(R)=1$ ), lo que le permitirá al DTE de la Oficina 2 pasar a la siguiente fase de Liberación del CV.

- Paquetes de datos



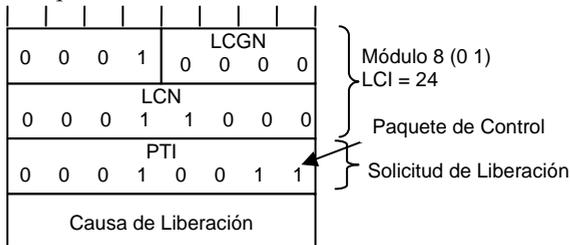
- Paquetes RR



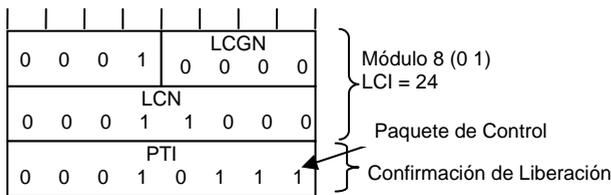
## FASE DE LIBERACIÓN DE CV

Una vez finalizada la transferencia de datos, la Oficina 2 inicia la liberación del CV, enviando un Paquete de Solicitud de Liberación, que se confirma con una Confirmación de Liberación. Al pasar por cada uno de los conmutadores intermedios, se va borrando la entrada de la tabla de conexiones correspondiente a este CVC, quedando así libres los LCIs de cada uno de los enlaces para su posterior uso en otros CVC.

• Paquete de Solicitud de Liberación



• Paquete de Confirmación de Liberación



Considerar que:

- ✎ En los datos de tamaño de los mensajes a intercambiar, se consideran incluidas las cabeceras de todos los niveles superiores al nivel de red
- ✎ Las únicas tramas que viajan por los enlaces durante el tiempo que dura la comunicación son las correspondientes a este CV.
- ✎ Durante la fase de establecimiento de todos los enlaces se ha fijado el modo ABM con módulo 8.
- ✎ Negociación en el establecimiento del CV: Módulo de ventana 8, tamaño de ventana 3, tamaño máximo del campo de datos del paquete de datos 128 bytes, confirmación de paquetes extremo a extremo.

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 4.

Un operador de telecomunicaciones da servicios de conexión a empresas mediante una red de conmutación de paquetes X.25. La red de la que dispone el operador consta de 3 conmutadores X.25 (A, B y C), totalmente mallados entre sí. Esto permite al operador tener redundancia de caminos, ofreciendo la red una mayor robustez. Dicha redundancia se obtiene mediante tablas de encaminamiento en los conmutadores con 2 alternativas: como 1ª opción la ruta óptima, y una 2ª opción que ofrece redundancia a la red en caso de fallo de la ruta óptima.

Una empresa solicita el servicio de conexión entre sus 3 oficinas mediante circuitos virtuales tanto permanentes (1 entre cada par de oficinas) como conmutados (3 canales lógicos bidireccionales en las oficinas 1 y 2, y 2 en la oficina 3). El operador le ofrece este servicio conectando cada una de las oficinas 1, 2 y 3 a los conmutadores A, B y C respectivamente.

Las direcciones X.121 asignadas a los DTEs en cada una de las oficinas son:

Oficina 1 (conmutador A) → 204334111

Oficina 2 (conmutador B) → 204334222

Oficina 3 (conmutador C) → 204334333

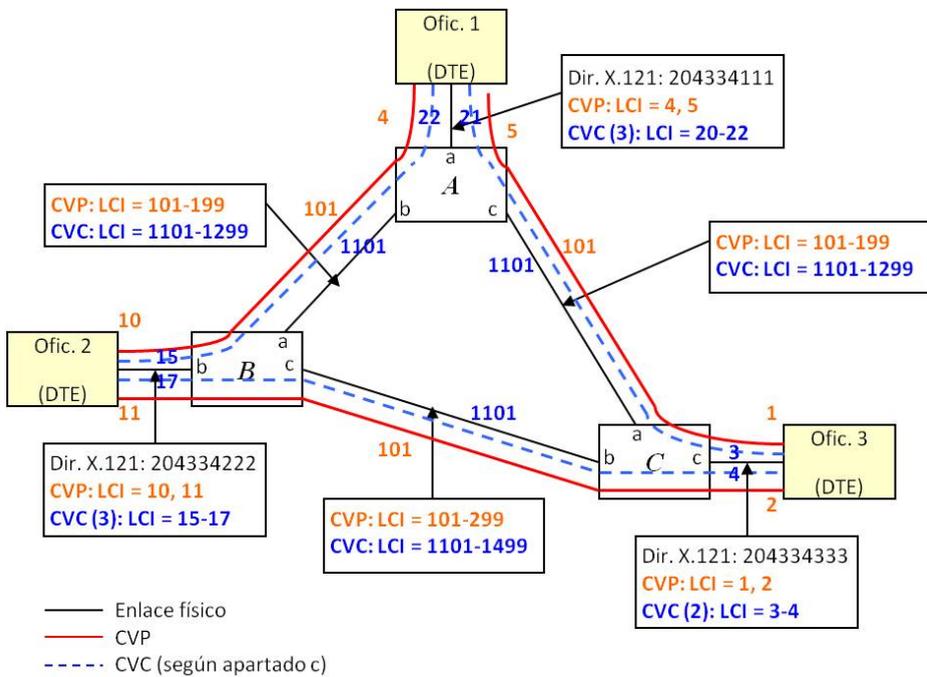
Los LCIs asignados por el operador en cada uno de los accesos son:

<i>Oficina</i>	Destino	LCI – CVP	LCI - CVC
1	Oficina 2	4	
	Oficina 3	5	
			20-22
2	Oficina 1	10	
	Oficina 3	11	
			15-17
3	Oficina 1	1	
	Oficina 2	2	
			3-4

Internamente, el operador tiene reservados los siguientes LCIs en cada enlace para CVPs y CVCs:

Enlace	LCI – CVP	LCI - CVC
A-B	101-199	1101-1299
A-C	101-199	1101-1299
B-C	101-299	1101-1499

a) Esquema donde se represente la planificación de la red del operador.



b) Tablas de encaminamiento en los conmutadores de la red (sólo las entradas que hacen referencia a esta empresa cliente), teniendo en cuenta el criterio de redundancia explicado anteriormente.

**Conmutador A**

Destino	1ª opc. Enlace	2ª opc. Enlace
204334111	a	
204334222	b	c
204334333	c	b

**Conmutador B**

Destino	1ª opc. Enlace	2ª opc. Enlace
204334111	a	c
204334222	b	
204334333	c	a

**Conmutador C**

Destino	1ª opc. Enlace	2ª opc. Enlace
204334111	a	b
204334222	b	a
204334333	c	

- c) En un momento determinado la oficina 1 ha establecido un circuito con la oficina 2, a continuación otro con la oficina 3, y por último la oficina 2 ha establecido un circuito con la oficina 3. Indicar el contenido de las tablas de conexiones de los conmutadores de la red en ese momento, suponiendo que las únicas conexiones establecidas son las correspondientes a este cliente.

**Conmutador A**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>a</b>	<b>4</b>	<b>b</b>	<b>101</b>
<b>a</b>	<b>5</b>	<b>c</b>	<b>101</b>
a	22	b	1101
a	21	c	1101
<b>b</b>	<b>101</b>	<b>a</b>	<b>4</b>
b	1101	a	22
<b>c</b>	<b>101</b>	<b>a</b>	<b>5</b>
c	1101	a	21

**Conmutador B**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>b</b>	<b>10</b>	<b>a</b>	<b>101</b>
<b>b</b>	<b>11</b>	<b>c</b>	<b>101</b>
b	15	a	1101
b	17	c	1101
<b>a</b>	<b>101</b>	<b>b</b>	<b>10</b>
a	1101	b	15
<b>c</b>	<b>101</b>	<b>b</b>	<b>11</b>
c	1101	b	17

**Conmutador C**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>c</b>	<b>1</b>	<b>a</b>	<b>101</b>
<b>c</b>	<b>2</b>	<b>b</b>	<b>101</b>
c	3	a	1101
c	4	b	1101
<b>a</b>	<b>101</b>	<b>c</b>	<b>1</b>
a	1101	c	3
<b>b</b>	<b>101</b>	<b>c</b>	<b>2</b>
b	1101	c	4

**Negrita** --> CVP, normal --> CVC

Es necesario identificar de alguna forma si la entrada en la tabla de conexiones pertenece a un CVP o a un CVC, porque el comportamiento en caso de caída de un enlace por el que pasa es diferente:

- si CVC: se borra la entrada de la tabla de conexiones
- si CVP: se mantiene la entrada, indicando de alguna forma el estado erróneo.

**d) Estando establecidos los circuitos del apartado anterior, la oficina 2 quiere establecer un nuevo circuito virtual con la oficina 3. Comentar la situación.**

La oficina 2 intenta establecer el nuevo CVC usando el LCI que tiene libre (LCI=16). El paquete de establecimiento de llamada se encamina desde el conmutador B hasta el C. Sin embargo, llega al conmutador C y éste busca un LCI libre en el enlace hacia la oficina 3 para entregar esta llamada, y encuentra que no quedan LCIs libres (los 2 únicos LCIs existentes, 3 y 4, están ya utilizados por sendos CVC). Por lo tanto, no se puede establecer el CVC, y el conmutador C enviará hacia atrás (al conmutador B) un mensaje de Liberación indicando la causa por la cual no se ha podido establecer. El conmutador B enviará dicho paquete al DTE de la oficina 2 para informarle del fallo en el intento de establecimiento.

La entrada que había creado cada conmutador en su tabla de conexiones para este CVC al recibir el Establecimiento de Llamada, se borra al recibir el paquete de Solicitud de Liberación.

**e) En este momento, se produce un fallo permanente en el enlace A-B. ¿Qué sucede con los circuitos virtuales permanentes? ¿Y con los circuitos virtuales conmutados que estaban establecidos? ¿Cuál es el estado de las tablas de encaminamiento de los conmutadores? ¿Y de las tablas de conexiones?**

Los CVP que pasan por ese enlace pasan a un estado de error debido al fallo del nivel físico en ese tramo del CV (pero siguen estando establecidos). En concreto, el CVP que falla es el que corresponde con LCI=101 en ese enlace, es decir, el CVP existente entre Of 1 y Of 2. Los conmutadores A y B envían mensajes Reset a los DTEs implicados para los CV afectados.

También se ven afectados los CVC que pasan por dicho enlace, es decir el que tiene LCI=1101 en ese enlace (CVC entre Of 1 y Of 2). La forma en la que se ve afectado es que se libera el CVC. Los conmutadores A y B envían mensajes de Liberación de Llamada a los DTEs implicados para el CV afectado.

Las tablas de encaminamiento siguen siendo igual que antes. Sin embargo, en los conmutadores A y B habrá rutas que están en un estado indisponible: aquellas que pasan por el enlace caído (enlace b para el conmutador A, enlace a para el conmutador B). Por lo tanto, tanto en A como en B hay un destino cuya 1ª opción está en un estado indisponible (conmut A: la ruta hacia Of 2; conmut B: la ruta hacia Of 1). Así que si fuera necesario establecer un nuevo CVC hacia el destino en cuestión, se encaminará en función de la 2ª alternativa.

En las tablas de conexiones, desaparecen las entradas asociadas a los CVCs afectados.

En cuanto a los CVPs, las entradas de los CVPs afectados siguen existiendo, pero con algún flag de estado indicando que están en fallo (las entradas tienen que seguir existiendo porque en cuanto se recupere el enlace, los CVPs tienen que recuperarse inmediatamente, sin intervención manual). Por lo tanto, el nuevo estado de las tablas de conexiones sería:

### Conmutador A

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<u>a</u>	<u>4</u>	<u>b</u>	<u>101</u>
a	5	c	101
a	21	c	1101
<u>b</u>	<u>101</u>	<u>a</u>	<u>4</u>
c	101	a	5
c	1101	a	21

### Conmutador B

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<u>b</u>	<u>10</u>	<u>a</u>	<u>101</u>
b	11	c	101
b	17	c	1101
<u>a</u>	<u>101</u>	<u>b</u>	<u>10</u>
c	1101	b	17
c	101	b	11

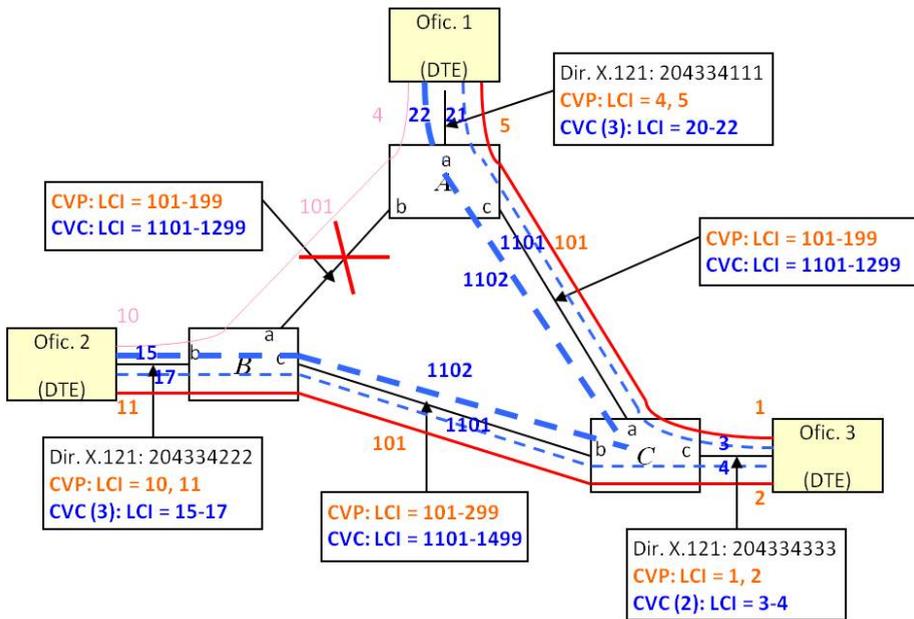
### Conmutador C

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
c	1	a	101
c	2	b	101
c	3	a	1101
c	4	b	1101
a	101	c	1
a	1101	c	3
b	101	c	2
b	1101	c	4

***Negrita, cursiva, subrayado*** -> CVP afectados por el fallo en el enlace

- f) A continuación la oficina 1 solicita el establecimiento de un circuito con la oficina 2. Indicar el estado de las tablas de conexiones de los conmutadores.

El conmutador A, para llegar a Ofic. 2 no puede utilizar la 1ª alternativa de su tabla de encaminamiento, porque el enlace está caído. Por lo tanto utilizará la 2ª alternativa, es decir, a través del conmutador C, que a su vez lo encaminará hacia el conmutador B.



**Conmutador A**

**Conmutador B**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<u>a</u>	<u>4</u>	<u>b</u>	<u>101</u>
a	5	c	101
a	21	c	1101
a	22	c	1102
<u>b</u>	<u>101</u>	<u>a</u>	<u>4</u>
c	101	a	5
c	1101	a	21
c	1102	a	22

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<u>b</u>	<u>10</u>	<u>a</u>	<u>101</u>
b	11	c	101
b	17	C	1101
b	15	c	1102
<u>a</u>	<u>101</u>	<u>b</u>	<u>10</u>
a	1101	b	17
c	101	b	11
c	1102	b	15

**Conmutador C**

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>c</b>	<b>1</b>	<b>a</b>	<b>101</b>
<b>c</b>	<b>2</b>	<b>b</b>	<b>101</b>
c	3	a	1101
c	4	b	1101
<b>a</b>	<b>101</b>	<b>c</b>	<b>1</b>
a	1101	c	3
<b>a</b>	<b>1102</b>	<b>b</b>	<b>1102</b>
<b>b</b>	<b>101</b>	<b>c</b>	<b>2</b>
b	1101	c	4
<b>b</b>	<b>1102</b>	<b>a</b>	<b>1102</b>

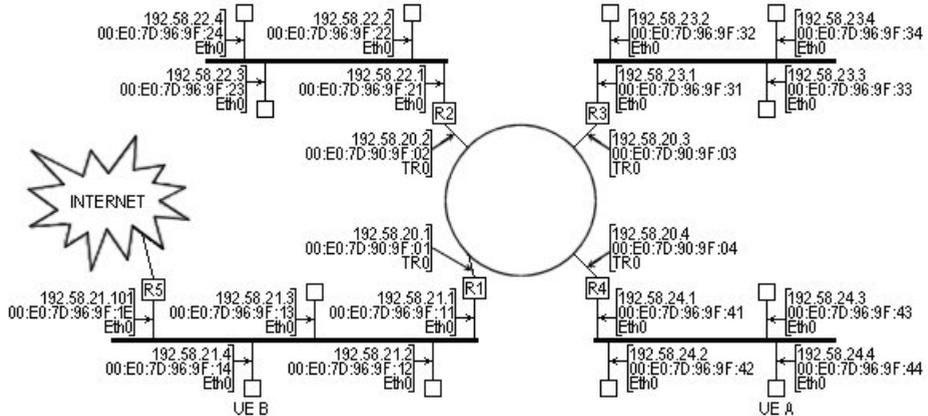
- g) Sería deseable que la caída de los enlaces de la red, como el sucedido en el apartado e, fuera transparente para los usuarios finales. Propón una solución tanto para las aplicaciones que hacen uso de CVC como para aquellas que hacen uso de CVP.

Los niveles por encima de X.25 en los extremos de la red X.25 deberían ser capaces de detectar el fallo del CV del que se están sirviendo, y reaccionar en consecuencia:

- En el caso de CVC, debería solicitarse el establecimiento de un nuevo CVC (se establecerá por una ruta diferente, utilizando la 2ª opción de la tabla de encaminamiento allí donde el enlace que es 1ª opción esté caído). Los niveles superiores deberían sincronizarse y continuar enviando datos por el nuevo CVC a partir de la última información enviada/recibida correctamente.
- En el caso de CVP, no es posible “establecer” un nuevo CVP (no es posible hacerlo de forma automática, sería necesaria la definición manual por parte del operador de un nuevo circuito). Pero es posible solicitar el establecimiento de un CVC si cae el CVP que se estaba utilizando, y el resto del proceso sería igual que en el caso anterior.  
Sin embargo, en este último caso, el nivel superior debería estar monitorizando periódicamente la recuperación del CVP, para hacer retornar el tráfico al mismo y poder así liberar el CVC.  
Además, si la empresa quiere tener esta transparencia, posiblemente necesite contratar más CVCs para poder sustituir a los CVPs afectados por un fallo en la red.

### 5.

Se dispone de 4 redes LAN Ethernet (802.3) conectadas entre sí mediante otra red LAN Token Ring (802.5), para proveer una comunicación basada en IP, conformando el siguiente esquema de red:

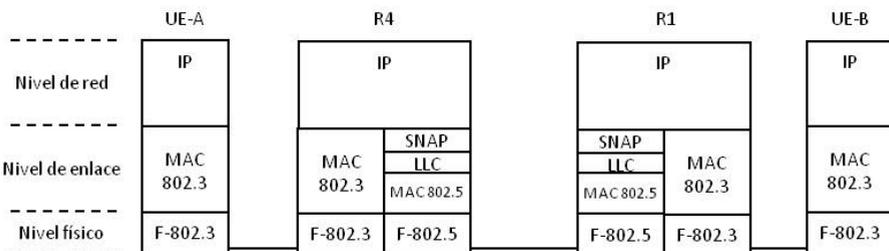


Para cada interfaz físico, se han indicado los siguientes datos:

Dirección IP  
Dirección Física  
Nombre del Puerto

A) Supongamos que un usuario en la máquina UE A manda un mensaje a otro usuario en la máquina UE B. Se pide:

- a) Mostrar la arquitectura de protocolos (hasta el nivel de red) de los equipos implicados en el proceso de comunicación descrito.



NOTA: En las redes Ethernet también podría tenerse este encapsulado: IP/SNAP/LLC/MAC

**b) Tablas de encaminamiento IP de los equipos implicados en dicha comunicación.**

UE-A

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.58.24.0	Directa	Eth0
0.0.0.0	192.58.24.1	Eth0

R4

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.58.20.0	Directa	TR0
192.58.21.0	192.58.20.1	TR0
192.58.22.0	192.58.20.2	TR0
192.58.23.0	192.58.20.3	TR0
192.58.24.0	Directa	Eth0
0.0.0.0	192.58.20.1	TR0

R1

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.58.20.0	Directa	TR0
192.58.21.0	Directa	Eth0
192.58.22.0	192.58.20.2	TR0
192.58.23.0	192.58.20.3	TR0
192.58.24.0	192.58.20.4	TR0
0.0.0.0	192.58.21.101	Eth0

UE-B

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.58.20.0	192.58.21.1	Eth0
192.58.21.0	Directa	Eth0
192.58.22.0	192.58.21.1	Eth0
192.58.23.0	192.58.21.1	Eth0
192.58.24.0	192.58.21.1	Eth0
0.0.0.0	192.58.21.101	Eth0

Otra de las opciones para la tabla de encaminamiento de UE-B:

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.58.21.0	Directa	Eth0
0.0.0.0	192.58.21.1	Eth0

**c) Indicar la secuencia de acontecimientos sucedidos desde que el mensaje llega al nivel IP de la máquina UE A hasta que lo recibe el nivel IP de la máquina UE B:**

- Describir cómo se produce la creación e intercambio de estructuras de datos, tanto entre niveles adyacentes en una misma máquina como entre entidades pares.
- Indicar el contenido de los campos principales de dichas estructuras de datos.

UE-A creará un mensaje cuyo destinatario es UE-B. Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, UE-A crea un paquete IP en el que:

- Dirección IP origen: 192.58.24.4 (UE-A)
- Dirección IP destino: 192.58.21.4 (UE-B)

Esta información del paquete a nivel IP no cambia en todo el recorrido que sigue el paquete. Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 73, que también se mantiene a lo largo de todo el camino.

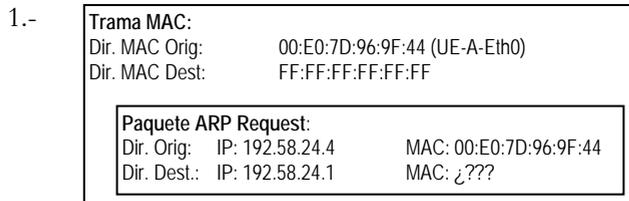
También suponemos que el tamaño del mensaje es tal que puede atravesar todas las redes existentes entre UE A y UE B sin necesidad de ser fragmentado.

El nivel IP de UE-A consulta su tabla de encaminamiento, y al no encontrar una entrada específica para llegar a 192.58.21.0, utiliza la entrada 0.0.0.0, que le indica que el siguiente salto para dicho datagrama es el equipo con dirección IP 192.58.24.1 (R4), al que llega a través del interfaz Eth0.

Se pasa el datagrama IP al controlador Ethernet del interfaz identificado como Eth0 (el único existente en UE-A), que deberá encapsular ese datagrama en una trama MAC. Para rellenar la dirección MAC destino de dicha trama (la correspondiente al interfaz cuya dirección IP es 192.58.24.1), UE-A consulta su tabla ARP, que el enunciado dice que inicialmente está vacía. Por lo tanto, para obtener dicha dirección MAC, UE-A tendrá que enviar un paquete ARP Request, con los siguientes campos de direcciones:

IP-orig: 192.58.24.4 (UE-A)    MAC-orig: 00:E0:7D:96:9F:44(UE-A-Eth0)  
 IP-dest: 192.58.24.1 (R4)    MAC-dest: ????

Este paquete se envía en una trama broadcast por la red Eth en la que se encuentra UE-A (1).



Como es una trama broadcast, todos los equipos conectados a dicha red la analizan y le pasan el contenido de la trama al nivel ARP. Pero a nivel ARP sólo uno de ellos (R4) identifica la dirección IP destino del paquete ARP como propia, y por lo tanto R4 responderá con un paquete ARP Response con los siguientes campos de direcciones:

IP-orig: 192.58.24.1 (R4)    MAC-orig: 00.E0:7D:96:9F:41 (R4-Eth0)  
 IP-dest: 192.58.24.4 (UE-A)    MAC-dest: 00.E0:7D:96:9F:44 (UE-A-Eth0)

Este paquete se envía en una trama cuyo destinatario a nivel MAC es UE-A (no es un broadcast) (2).

2.-

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	00.E0:7D:96:9F:41 (R4-Eth0)
Dir. MAC Dest:	00.E0:7D:96:9F:44 (UE-A-Eth0)
<b>Paquete ARP Response:</b>	
Dir. Orig.: IP: 192.58.24.1	MAC: 00.E0:7D:96:9F:41
Dir. Dest.: IP: 192.58.24.4	MAC: 00.E0:7D:96:9F:44

Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo UE-A identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el paquete ARP Response a su entidad ARP, con lo que UE-A aprende la dirección MAC de R4. Una vez que UE-A conoce la dirección MAC correspondiente a 192.58.24.1 (R4), ya puede encapsular en una trama MAC la información que le llegaba de los niveles superiores. Las direcciones MAC de dicha trama serán:

- Dirección MAC origen: 00.E0:7D:96:9F:44 (UE-A-Eth0)
- Dirección MAC destino: 00.E0:7D:96:9F:41 (R4-Eth0)

Una vez creada la trama, se envía por la red Eth (3).

3.-

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	00.E0:7D:96:9F:44 (UE-A-Eth0)
Dir. MAC Dest:	00.E0:7D:96:9F:41 (R4-Eth0)
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.: IP: 192.58.24.4	
Dir. Dest.: IP: 192.58.21.4	
Id = 73	
Datos de usuario	

Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo R4 identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el datagrama IP a su entidad IP, que descubre que no está destinado a este mismo equipo, sino que tiene que ser encaminado.

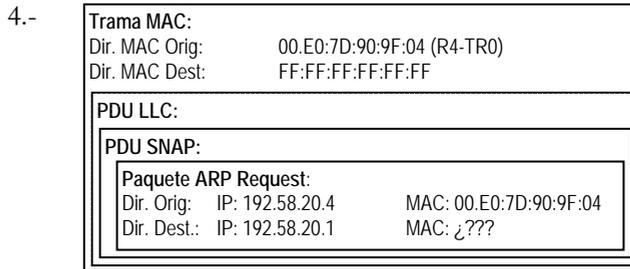
Para saber cómo encaminarlo, consulta su tabla de encaminamiento IP y descubre que para llegar a las direcciones de la clase 192.58.21.0 el siguiente salto es el equipo con dirección IP 192.58.20.1 (R1), al que llega a través del interfaz TR0.

Pasa el datagrama IP al controlador Token Ring del interfaz identificado como TR-0, que deberá encapsular ese datagrama en una unidad de datos SNAP, ésta en una unidad de datos LLC, y ésta a su vez en una trama MAC. Para rellenar la dirección MAC destino de dicha trama (la correspondiente al interfaz cuya dirección IP es 192.58.20.1), R4 consulta su tabla ARP, que el enunciado dice que inicialmente está vacía. Por lo tanto, para obtener dicha dirección MAC, R4

tendrá que enviar un paquete ARP Request con los siguientes campos de direcciones:

IP-orig: 192.58.20.4 (R4)      MAC-orig: 00.E0:7D:90:9F:04 (R4-TR0)  
 IP-dest: 192.58.20.1 (R1)      MAC-dest: ????

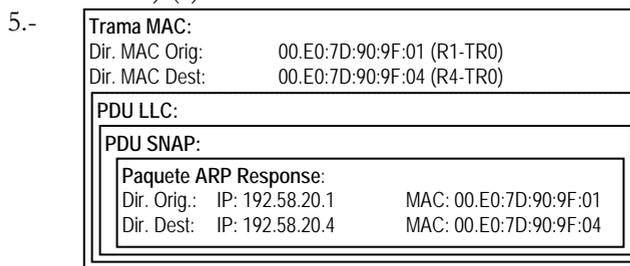
Este paquete se envía en una trama broadcast por la red TR en la que se encuentra R4 (4).



Como es una trama broadcast, todos los equipos conectados a dicha red la analizan, pero sólo uno de ellos (R1) identifica la dirección IP destino del paquete ARP como propia, y por lo tanto responderá con un paquete ARP Response con los siguientes campos de direcciones:

IP-orig: 192.58.20.1 (R1)      MAC-orig: 00.E0:7D:90:9F:01 (R1-TR0)  
 IP-dest: 192.58.20.4 (R4)      MAC-dest: 00.E0:7D:90:9F:04 (R4-TR0)

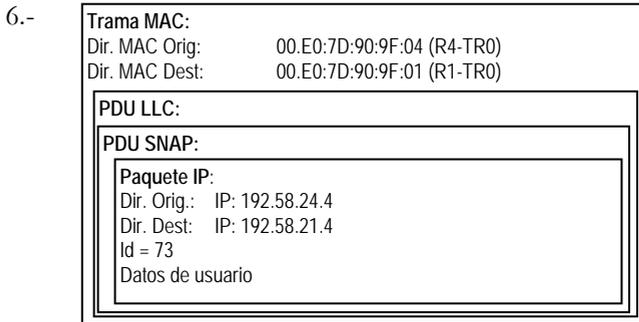
Este paquete se envía en una trama cuyo destinatario a nivel MAC es R4 (no es un broadcast) (5).



Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo R4 identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el paquete ARP Response a su entidad ARP, con lo que R4 aprende la dirección MAC del R1 en la red Token Ring. Una vez que R4 conoce la dirección MAC correspondiente a 192.58.20.1 (R1), ya puede encapsular en una trama MAC el paquete IP. Las direcciones MAC de dicha trama serán:

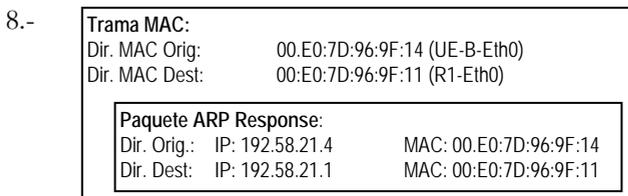
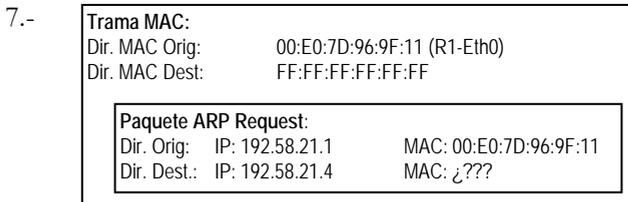
- Dirección MAC origen: 00.E0:7D:90:9F:04 (R4-TR0)
- Dirección MAC destino: 00.E0:7D:90:9F:01 (R1-TR0)

Una vez creada la trama, se envía por la red TR (6).



Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo R1 identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el datagrama IP a su entidad IP, que descubre que no está destinado a este mismo equipo, sino que tiene que ser encaminado.

Para saber cómo encaminarlo, el nivel IP de R1 consulta su tabla de encaminamiento y descubre que todos los equipos de la clase 192.58.21.0 están conectados directamente a la red Ethernet a la que tiene acceso a través de su interfaz Eth-0. Por lo tanto debe enviar por esa red el mismo paquete IP que ha recibido, encapsulado en una trama en la que indique como destino a nivel MAC el propio UE-B. Para obtener dicha dirección MAC, se repite el proceso de consulta y respuesta ARP, como en 1 y 2 (7 y 8).



Una vez que R1 conoce la dirección MAC correspondiente a 192.58.21.4 (UE-B), ya puede encapsular en una trama MAC el paquete IP, y enviarla por la red Eth (9).

9.-

<b>Trama MAC:</b>											
Dir. MAC Orig:	00:E0:7D:96:9F:11 (R1-Eth0)										
Dir. MAC Dest:	00:E0:7D:96:9F:14 (UE-B-Eth0)										
<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Paquete IP:</b></td> </tr> <tr> <td>Dir. Orig.: IP:</td> <td>192.58.24.4</td> </tr> <tr> <td>Dir. Dest: IP:</td> <td>192.58.21.4</td> </tr> <tr> <td>Id =</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Datos de usuario</td> </tr> </table>		<b>Paquete IP:</b>		Dir. Orig.: IP:	192.58.24.4	Dir. Dest: IP:	192.58.21.4	Id =	73	Datos de usuario	
<b>Paquete IP:</b>											
Dir. Orig.: IP:	192.58.24.4										
Dir. Dest: IP:	192.58.21.4										
Id =	73										
Datos de usuario											

Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo UE-B identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el datagrama IP a su entidad IP. Al analizar la dirección IP destino descubre que él es el destinatario del mensaje, por lo que se lo pasa a los niveles superiores, finalizando así la transferencia del mensaje.

- d) Indicar el contenido de las tablas de mapeo Direcciones IP / Direcciones Físicas en cada uno de los equipos implicados en la comunicación, en el momento en que finaliza la misma.**

Cada uno de los equipos implicados ha aprendido el mapeo dirección IP – dirección física de ciertos equipos, gracias a los mensajes ARP Request y ARP Response que ha recibido. Junto a cada una de las entradas de las tablas ARP se indica, entre paréntesis, el número del mensaje del apartado c que ha permitido al equipo en cuestión aprender dicho mapeo.

<u>UE-A</u>			<u>R4</u>		
Dir. IP	Dir MAC		Dir. IP	Dir MAC	
192.58.24.1	00.E0:7D:96:9F:41	(2)	192.58.24.4	00.E0:7D:96:9F:44	(1)
			192.58.20.1	00.E0:7D:90:9F:01	(5)
<u>R1</u>			<u>UE-B</u>		
Dir. IP	Dir MAC		Dir. IP	Dir MAC	
192.58.20.4	00.E0:7D:90:9F:04	(4)	192.58.21.1	00.E0:7D:96:9F:11	(7)
192.58.21.4	00.E0:7D:96:9F:14	(8)			

**Considerar que:**

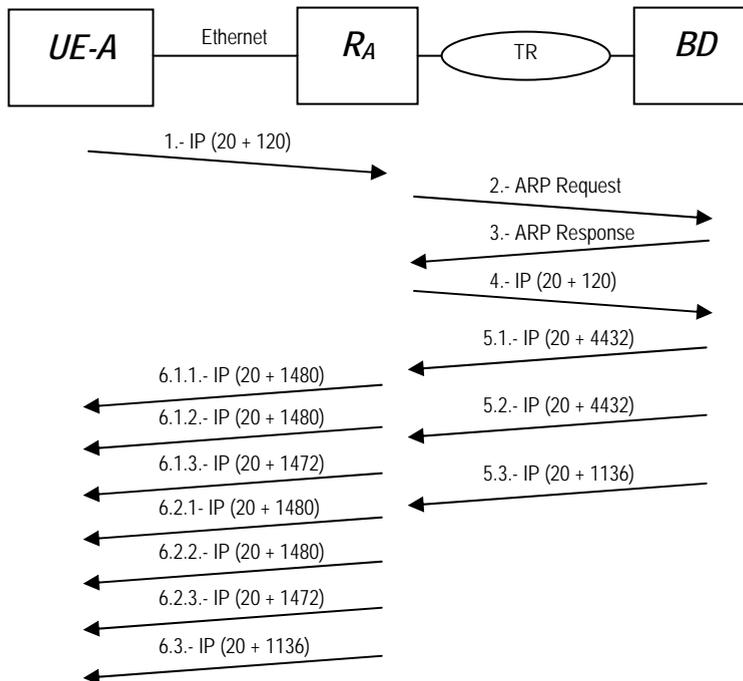
- ✎ Antes del inicio de la comunicación descrita, ninguna máquina conoce la Dirección Física de ninguna otra.
- ✎ La comunicación descrita es la única que tiene lugar en la red.
- ✎ No ocurre fragmentación para ninguno de los mensajes en ningún punto del recorrido.

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

B) En el segmento Token Ring de la red, además de los 4 routers existe una Base de Datos, a la cual puede consultar cualquiera de los equipos de usuario de las redes Ethernet.

UE-A lanza una consulta a la BD (ocupa 120 bytes) y ésta le envía la respuesta (10.000 bytes). Para este intercambio de información, se pide:

- a) Secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada una de las redes involucradas, y estructura de los mismos, indicando el valor que toman los campos principales de las cabeceras.



Se ha supuesto que este intercambio de mensajes es inmediatamente posterior al indicado en el apartado A), por lo que UE-A ya conoce la dirección MAC de R4 y no necesita realizar la consulta ARP. Por el contrario, el R4 no conoce la dirección MAC de la BD, por lo que sí es necesario el intercambio de mensajes ARP en la red Token Ring.

Como en el apartado anterior ya se ha explicado cómo es el proceso para conseguir hacer llegar un paquete desde el origen al destino, en este apartado sólo se darán explicaciones detalladas del proceso de fragmentación.

Como el tamaño del paquete a enviar (20+120) cabe sin ningún problema tanto en la red Ethernet (MTU=1500) como en la red TR (MTU=4464), se puede enviar sin necesidad de fragmentar (paquetes 1 y 4 del gráfico).

Suponemos que la dirección IP de la BD es 192.58.20.100.

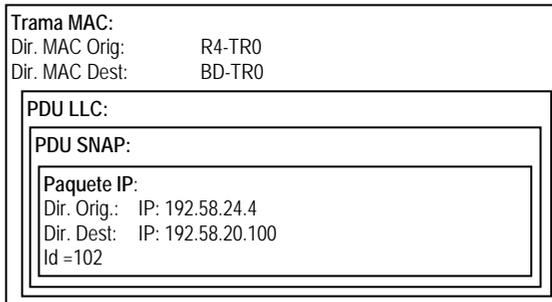
- 1.-
 

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	UE-A-Eth0
Dir. MAC Dest:	R4-Eth0
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 192.58.24.4
Dir. Dest.:	IP: 192.58.20.100
Id = 102	
Datos de usuario	
  
- 2.-
 

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	R4-TR0
Dir. MAC Dest:	FF:FF:FF:FF:FF:FF
<b>PDU LLC:</b>	
<b>PDU SNAP:</b>	
<b>Paquete ARP Request:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 192.58.20.4      MAC: R4-TR0
Dir. Dest.:	IP: 192.58.20.100      MAC: ¿???
  
- 3.-
 

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	BD-TR0
Dir. MAC Dest:	R4-TR0
<b>PDU LLC:</b>	
<b>PDU SNAP:</b>	
<b>Paquete ARP Response:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 192.58.20.100      MAC: BD-TR0
Dir. Dest.:	IP: 192.58.20.4      MAC: R4-TR0

4.-



La BD recibe el mensaje, y genera la respuesta. Sin embargo, la MTU de la red Token Ring (4464) no le permite enviar el paquete IP completo (20+10000) encapsulado en una única trama Token Ring, por lo tanto el nivel IP de la BD tendrá que fragmentarlo:

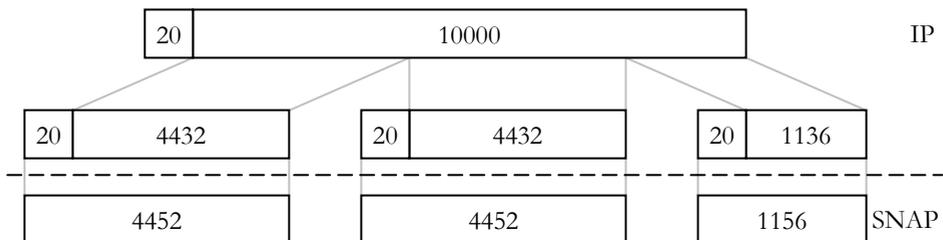
$$\text{Paquete IP} = 20 + 10.000 = 10.020\text{bytes}$$

$$\text{Tamaño máximo de datos del fragmento} = (\text{MTU}_{\text{TR}} - \text{Cab}_{\text{LLC}} - \text{Cab}_{\text{SNAP}} - \text{Cab}_{\text{IP}})_8 = (4464 - 3 - 5 - 20)_8 = (4436)_8 = 4432$$

$$10000 / 4432 = 2,26 \rightarrow 3 \text{ fragmentos, de los cuales:}$$

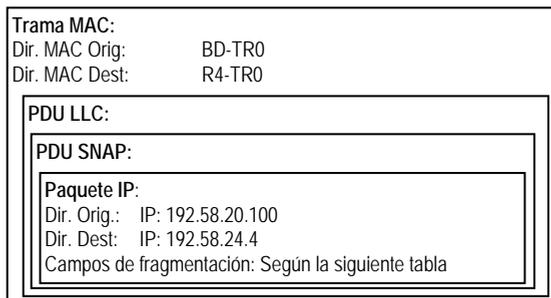
$$- 2 \text{ fragmentos: } 20 + 4432, \text{ MF} = 1 \text{ (5.1 y 5.2)}$$

$$- 1 \text{ fragmento: } 20 + 1136, \text{ MF} = 0 \text{ (5.3)}$$



Los 3 fragmentos que BD le envía a R4 (5.1, 5.2, 5.3) tienen todos ellos estos valores en los campos de las cabeceras de nivel de red y enlace:

5.1, 5.2, 5.3-



Los campos relativos a fragmentación toman estos valores en cada uno de los 3 fragmentos.

	<b>Id.</b>	<b>Longitud Total</b>	<b>Offset</b>	<b>DF</b>	<b>MF</b>
Fragmento 5.1	19	4432+20=4452	0	0	1
Fragmento 5.2	19	4432+20=4452	0+4432/8=554	0	1
Fragmento 5.3	19	1136+20=1156	554+4432/8=1108	0	0

Los 3 fragmentos llegan a R4, que los tiene que reenviar a través de la red Ethernet a la que también está conectado UE A. La MTU de dicha red es 1500, por lo que R4 no puede enviar ni el 1º ni el 2º fragmento IP (20+4432) encapsulados cada uno de ellos en una única trama MAC (con el 3er fragmento 20+1136 no hay problema). Por lo tanto el nivel IP de R4 tendrá que fragmentar tanto el paquete 5.1 como el 5.2. Suponiendo que el encapsulado en la red Ethernet es Ethernet II (IP/MAC):

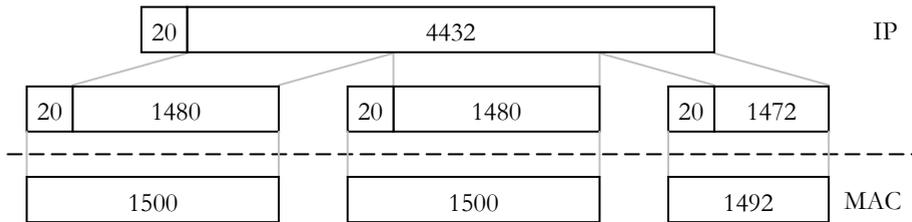
Paquete IP (5.1 y 5.2) = 20 bytes (cabecera) + 4432 bytes (datos)

Tamaño máximo de datos del fragmento =  $(MTU_{Eth} - Cab_{IP})_8 = (1500 - 20)_8 = (1480)_8 = 1480$

$4432 / 1480 = 2,99 \rightarrow 3$  fragmentos, de los cuales:

- 2 fragmentos: 20 + 1480, MF = 1 (5.1.1 y 5.1.2 / 5.2.1 y 5.2.2)

- 1 fragmento: 20 + 1472, MF = 1 (5.1.3 / 5.2.3)



Los 3+3+1 fragmentos que R4 le envía a UE-A (6.1.1, 6.1.2, 6.1.3 + 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3 + 6.3) tienen todos ellos estos valores en los campos de las cabeceras de nivel de red y enlace.

6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3, 6.3:

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	R4-Eth0
Dir. MAC Dest:	UE-A-Eth0
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 192.58.20.100
Dir. Dest:	IP: 192.58.24.4
Campos de fragmentación: Según la siguiente tabla	

Los campos relativos a fragmentación toman estos valores en cada uno de los fragmentos:

	<b>Id.</b>	<b>Longitud Total</b>	<b>Offset</b>	<b>DF</b>	<b>MF</b>
Fragmento 6.1.1	19	$1480+20=1500$	0	0	1
Fragmento 6.1.2	19	$1480+20=1500$	$0+1480/8=185$	0	1
Fragmento 6.1.3	19	$1472+20=1492$	$85+1480/5=370$	0	1
Fragmento 6.2.1	19	$1480+20=1500$	554	0	1
Fragmento 6.2.2	19	$1480+20=1500$	$554+1480/8=739$	0	1
Fragmento 6.2.3	19	$1472+20=1492$	$739+1480/5=924$	0	1
Fragmento 6.3	19	$1136+20=1156$	1108	0	0

Estos 7 fragmentos llegan a EU-A, cuyo nivel IP los reensamblará en el datagrama original de  $20+10000$  bytes, y le pasará los 10.000 bytes a su usuario (TCP, UDP...)

**b) Indicar en qué equipos y en qué niveles se realiza fragmentación en caso de ser necesaria.**

Recopilando lo que se ha indicado en el apartado anterior:

- La consulta no necesita ser fragmentada.
- El paquete de respuesta es fragmentado por el nivel IP de BD en los 3 fragmentos 5.1, 5.2, 5.3, para que puedan atravesar la red Token Ring.
- El nivel IP de R4 fragmenta 5.1 en 3 fragmentos (6.1.1, 6.1.2, 6.1.3) y 5.2 en otros 3 (6.2.1, 6.2.2, 6.2.3) para que puedan atravesar la red Ethernet.
- El nivel IP de UE-A reensambla los 7 fragmentos que recibe (6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3, 6.3).

**Considerar que:**

-   **$MTU_{802.3}=1500$ ,  $MTU_{802.5}=4464$ .**
-  **En los datos del número de bytes de la consulta y la respuesta se consideran incluidas las cabeceras de transporte y aplicación.**

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 6.

El equipo X recibe los siguientes datagramas, todos ellos con dirección IP destino 245.36.22.110, que es la dirección IP del equipo X:

	Dirección IP origen	ID	MF	DF	Desplaz. fragmento	Long. total	Protocolo
Datagrama 1	48.143.25.12	454	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 2	48.143.25.12	454	1	0	368	1172	UDP (17)
Datagrama 3	212.203.92.105	43	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 4	212.203.92.105	43	1	0	368	1492	UDP (17)
Datagrama 5	212.203.92.105	43	1	0	552	636	UDP (17)
Datagrama 6	245.36.22.141	630	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 7	48.143.25.12	454	0	0	512	924	UDP (17)
Datagrama 8	212.203.92.105	43	1	0	629	1492	UDP (17)
Datagrama 9	93.46.25.4	43	0	0	184	788	UDP (17)
Datagrama 10	212.203.92.105	44	1	0	0	1492	UDP (17)
Datagrama 11	245.36.22.141	630	0	0	368	676	UDP (17)
Datagrama 12	212.203.92.105	44	0	0	184	1042	UDP (17)
Datagrama 13	245.36.22.141	630	1	0	184	1492	UDP (17)

Suponer que los únicos datagramas recibidos por el equipo X son los indicados en la tabla, y que se reciben en el orden indicado.

a) A partir de los datagramas recibidos, el nivel IP del equipo X le pasa a su nivel UDP un determinado número de unidades de datos. Para cada una de esas unidades de datos que el nivel IP le pasa al nivel UDP, indicar:

- La dirección IP del equipo que generó el datagrama original.
- La secuencia de datagramas a partir de los cuales se ha generado la unidad de datos.

Identificar los datagramas por el número identificado en la 1ª columna. Indicar el orden en el que se reensamblan los fragmentos en el caso de que el datagrama original haya sido fragmentado en el camino desde el origen al destino.

(Supóngase que la unidad de datos que le pasa el nivel IP al nivel UDP se ha obtenido reensamblando los fragmentos identificados como “Datagrama 102”, “Datagrama 100” y “Datagrama 107”, en ese orden. Habría que indicar que la secuencia de datagramas es 102, 100, 107).

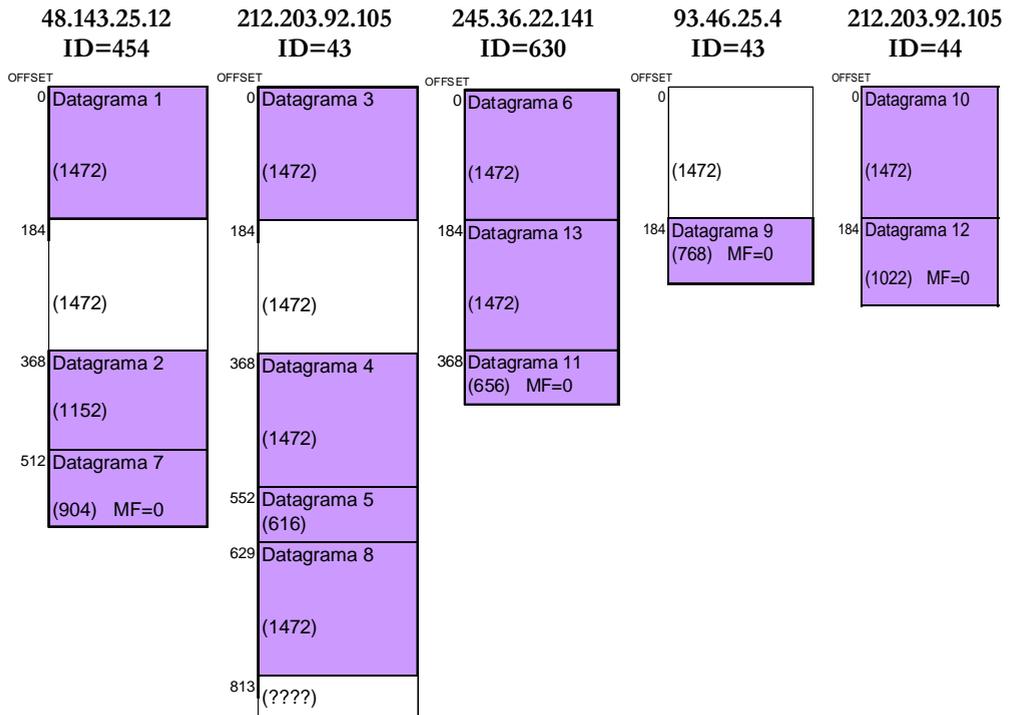
- La longitud total de los datos que el nivel IP le pasa al nivel UDP.

El nivel IP le pasa al nivel UDP dos unidades de datos:

Dir. IP origen	ID	Secuencia datagramas	Longitud datos
245.36.22.141	630	6, 13, 11	3.600
212.203.92.105	44	10, 12	2.494

Para poder responder a estas preguntas, ha sido necesario analizar cómo habrá sido el proceso de reensamblado realizado por el nivel IP del equipo X.

Agrupando los datagramas por su origen, y dentro de ello por su Identificador de datagrama, y teniendo en cuenta el desplazamiento de cada fragmento con respecto al origen del datagrama y el tamaño de cada fragmento, así como si se trata del último fragmento o no, se tiene que:



Es decir, el datagrama original procedente de 245.36.22.141 (ID=630) está completo (3600 bytes de datos): se han rellenado todos los huecos desde la posición de offset 0 hasta el fragmento con MF=0.

Lo mismo sucede con el datagrama procedente de 212.203.92.105 con ID=44 (2494 bytes de datos).

Por lo tanto, ha sido posible finalizar el proceso de reensamblado para estos datagramas, e IP ha podido pasar estos datos a su usuario UDP.

Sin embargo, para los paquetes procedentes de 48.143.25.12 (ID=454), 212.203.92.105 (ID=43) y 93.46.25.4 (ID=43) no se han recibido todos los fragmentos (faltan por rellenar los huecos que se muestran en blanco), por lo tanto no es posible finalizar con éxito el reensamblado del paquete. Por consiguiente, no se obtiene ninguna unidad de datos que pueda ser pasada al nivel superior.

**b) Indicar cuáles de los datagramas recibidos han atravesado uno o varios routers desde el origen al destino, y cuáles no. Justificar la respuesta.**

No habrán pasado por ningún router los datagramas procedentes de equipos que pertenezcan a la misma red IP que el destino. Es decir, los datagramas 6, 11 y 13, que proceden de 245.36.22.141, ya que este equipo se encuentra en la red 245.36.22.0, la misma en la que se encuentra el destino (245.36.22.110).

Todos los demás datagramas habrán tenido que atravesar uno o varios routers, ya que el equipo que los ha originado se encuentra en una red IP diferente que el destinatario del datagrama, y por lo tanto es necesario ir tomando decisiones de encaminamiento en routers intermedios para hacer llegar los datagramas desde la red origen hasta la red destino.

## 7.

Las comunicaciones de una empresa de seguros se basan en IP. Dicha empresa está dividida geográficamente en 3 delegaciones:

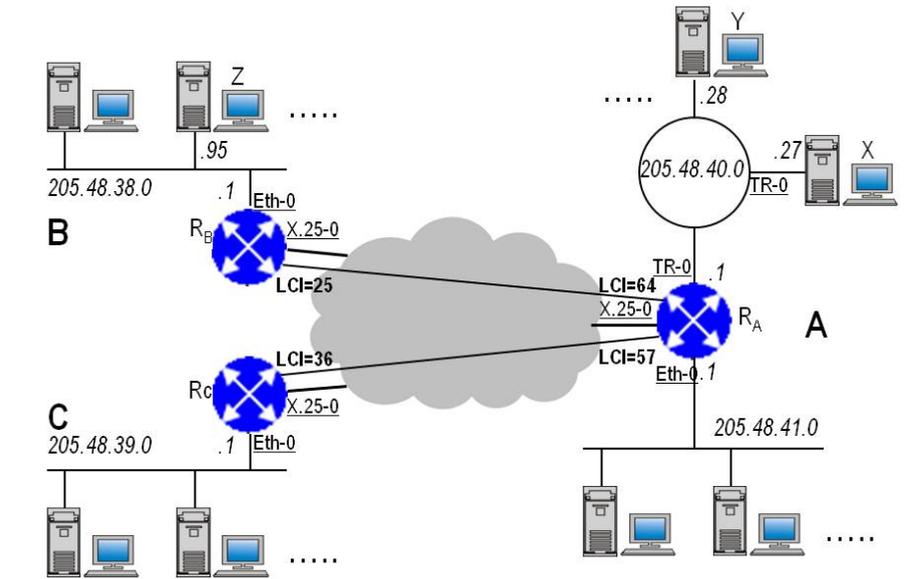
- En una de ellas (A) hay dos departamentos, organizados en torno a una red Ethernet y a una Token Ring respectivamente.
- En cada una de las otras dos (B y C) sólo hay un departamento, organizado en un segmento Ethernet.

Se pretende que cualquier equipo de la red de la empresa se pueda comunicar con cualquier otro equipo de la red, independientemente de su localización geográfica. Para ello, el ingeniero de diseño del departamento de comunicaciones de la aseguradora ha decidido que la comunicación entre delegaciones se realice a través de una red pública de datos X.25, a la que se conectará desde cada delegación con un router. Ha contratado los siguientes enlaces de acceso a la red X.25:

- En la delegación A, un enlace de 512 kbps.
- En las delegaciones B y C, un enlace de 256 kbps en cada una de ellas.

Además, ha contratado un CVP entre las delegaciones A y B, y otro CVP entre las delegaciones A y C.

En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red diseñada, donde también se muestra el plan de direccionamiento utilizado (en cursiva), los LCIs asignados por el operador de la red X.25 (en negrita), y los nombres de los interfaces físicos (subrayados).



- a) **Indicar si la solución propuesta en la figura permite resolver el problema de comunicación planteado. Justificar la respuesta, explicando por qué es o no es adecuada cada una de las decisiones tomadas: arquitectura de red, equipamiento utilizado, servicios contratados al operador X.25, plan de direccionamiento utilizado...**  
**Si se considera que la solución propuesta no cumple los requisitos planteados, hacer una propuesta alternativa, justificándola.**

Con la solución propuesta se resuelve correctamente el problema planteado en el ejercicio.

- Conexión a través de una red pública de datos OK, porque el coste es menor que si tuviera líneas alquiladas. Además, proporciona una mayor flexibilidad para adaptarse a futuros crecimientos (nuevas oficinas, necesidad de CV hacia otros destinos...).
- Redes Ethernet y Token Ring en las oficinas OK. Se supone que son las redes de las que ya disponía la empresa para comunicar los distintos equipos locales de cada una de las oficinas entre ellos, antes de querer interconectar todas las oficinas entre sí.
- 2 CVP ( $R_A - R_B$ ,  $R_A - R_C$ ) OK.
  - Comunicación A-B a través del CV entre  $R_A - R_B$ ;
  - Comunicación A-C a través del CV entre  $R_A - R_C$ ;
  - Comunicación B-C a través del CV entre  $R_B - R_A$ , y el  $R_A$  toma la decisión de encaminamiento a nivel IP de encaminar a través del CV entre  $R_A - R_C$ .

Esta solución es buena mientras el tráfico entre B y C no sea tan alto que su paso por  $R_A$  degrade el rendimiento del mismo y sature excesivamente los CV existentes. En ese caso, habría que pensar en contratar al menos un CV entre B y C (CVP o CVC en función de la frecuencia del tráfico)

- Routers OK, para interconectar red IP – red X.25 (interconexión a nivel de red). Aunque para interconectar TR y Eth de la delegación A bastaría con un equipo de interconexión a nivel de enlace, está justificado el uso del router, ya que es necesario para conectar ambas a la red X.25.
- Plan de direccionamiento IP OK, suponiendo que con las clases asignadas a cada red tengo suficiente capacidad de direccionamiento para todos los equipos de las mismas.
- No es necesario asignar direcciones X.121 a los DTEs (routers), porque sólo se han contratado CVP en la red X.25.

- b) Indicar si la tabla de encaminamiento del equipo X de la red Token Ring de la delegación A que se indica a continuación es correcta. Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.

Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.38.0	LCI = 64	X.25-0
205.48.39.0	LCI = 57	X.25-0
205.48.40.0	Directa	TR-0
205.48.41.0	205.48.41.1	Eth-0

En la tabla de encaminamiento hay que indicar cuál es el siguiente nodo a quien hay que entregarle el paquete para que llegue a su destino (siguiente salto), y por cuál de los interfaces propios se llega a ese siguiente salto (interfaz). En el caso del equipo X, para llegar a:

- Los equipos de su propia red (205.48.40.0): están en la propia red y por lo tanto se les envía **directamente** a través del único interfaz físico que tiene X, **TR-0**, que pertenece a la misma red donde se encuentra el equipo destino.
- Resto de redes (205.48.39.0, .40.0, .41.0): hay que ir a través del router  $R_A$ . Para poder enviar el paquete al  $R_A$ , X se lo enviará en una trama por la red TR a la que ambos están conectados, por lo tanto X lo enviará por su interfaz **TR-0** (el único que tiene, por otro lado). Pero para poder enviarle la trama al  $R_A$ , tiene que ser capaz de obtener su dirección MAC, y para ello necesitará hacer una consulta ARP preguntando por la dirección física del router en esa red, para lo cual necesita conocer la dirección IP de  $R_A$  en ese interfaz, es decir **205.48.40.1**.

Por tanto, es incorrecto poner las identidades del  $R_A$  en las otras redes (LCI = 64, LCI = 57, 205.48.41.1), ni el interfaz del propio  $R_A$  en dichas redes (X.25-0, X.25-0, Eth-0).

Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.38.0	<b>205.48.40.1</b>	<b>TR-0</b>
205.48.39.0	<b>205.48.40.1</b>	<b>TR-0</b>
205.48.40.0	Directa	TR-0
205.48.41.0	<b>205.48.40.1</b>	<b>TR-0</b>

En realidad, lo más probable es que la tabla de encaminamiento de X fuera:

Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.40.0	Directa	TR-0
0.0.0.0	205.48.40.1	TR-0

c) Construir las tablas de encaminamiento de  $R_A$ ,  $R_B$  y  $R_C$ .

$R_A$

Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.38.0	LCI = 64	X.25-0
205.48.39.0	LCI = 57	X.25-0
205.48.40.0	Directa	TR-0
205.48.41.0	Directa	Eth-0

$R_B$

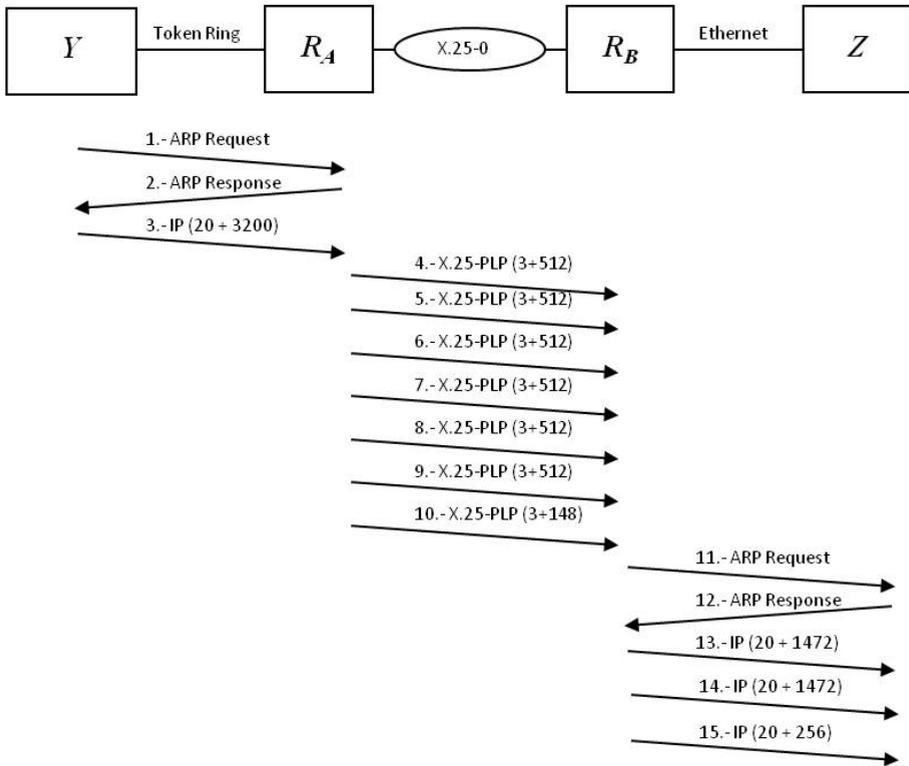
Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.38.0	Directa	Eth-0
205.48.39.0	LCI = 25	X.25-0
205.48.40.0	LCI = 25	X.25-0
205.48.41.0	LCI = 25	X.25-0

$R_C$

Destino	Siguiente salto	Enlace
205.48.38.0	LCI = 36	X.25-0
205.48.39.0	Directa	Eth-0
205.48.40.0	LCI = 36	X.25-0
205.48.41.0	LCI = 36	X.25-0

d) El equipo Y le quiere enviar un mensaje de 3200 bytes al equipo Z. Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada uno de los enlaces involucrados en dicha transferencia de información, indicando los valores de los campos más representativos de las cabeceras de los niveles de red y enlace (direccionamiento, fragmentación...). En caso de producirse fragmentación, indicar qué equipos y a qué nivel realizan la fragmentación y el reensamblado.

En la figura siguiente se muestra la secuencia de paquetes transmitidos en los diferentes enlaces por los que pasan.



A continuación se explica y se muestra el contenido de los principales campos, tanto a nivel de red como de enlace, especialmente aquellos relacionados con el direccionamiento y la fragmentación.

De cara a los cálculos de fragmentación, se ha supuesto que el encapsulado de paquetes en las redes Ethernet sigue el encapsulado Ethernet SNAP: IP/SNAP/LLC/MAC.

La máquina Y creará un mensaje cuyo destinatario es Z. Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, Y crea un paquete IP en el que:

- Dirección IP origen: 205.48.40.28 (Y)
- Dirección IP destino: 205.48.38.95 (Z)

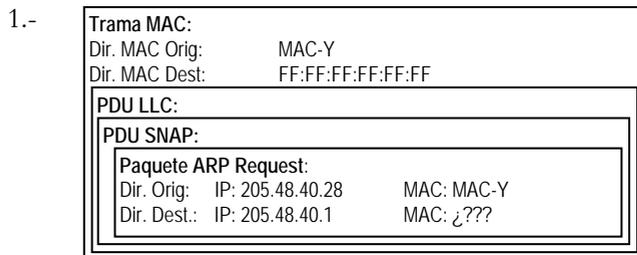
Esta información del paquete a nivel IP no cambia en todo el recorrido que sigue el paquete. Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 45, que también se mantiene a lo largo de todo el camino.

El nivel IP de Y consulta su tabla de encaminamiento (es igual que la de X, mostrada en el apartado b). Allí encuentra una entrada para llegar a 205.48.38.0 (la entrada 0.0.0.0) que le indica que el siguiente salto para dicho datagrama es el equipo con dirección IP 205.48.40.1 (R<sub>A</sub>), al que llega a través del interfaz TR-0.

Se pasa el datagrama IP al controlador Token Ring del interfaz identificado como TR-0 (el único existente en Y), que deberá encapsular ese datagrama en una unidad de datos SNAP, ésta en una unidad de datos LLC, y ésta a su vez en una trama MAC. Para rellenar la dirección MAC destino de dicha trama (la correspondiente al interfaz cuya dirección IP es 205.48.40.1), se consulta la tabla ARP de Y, que el enunciado dice que inicialmente está vacía. Por lo tanto, para obtener dicha dirección MAC, Y tendrá que enviar un paquete ARP Request, con los siguientes campos:

Dir. IP-orig: 205.48.40.28 (Y)	Dir. MAC-orig: MAC-Y
Dir. IP-dest: 205.48.40.1 (R <sub>A</sub> )	Dir. MAC-dest: ????

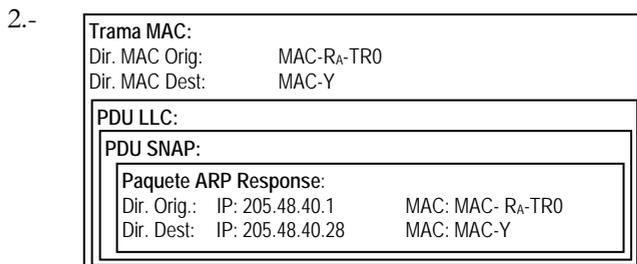
Este paquete se envía en una trama broadcast por la red TR en la que se encuentra Y.



Como es una trama broadcast, todos los equipos conectados a dicha red la analizan y pasan el contenido de la trama (el paquete ARP Request) a su entidad ARP. A nivel ARP, sólo uno de ellos (R<sub>A</sub>) identifica la dirección IP destino del paquete ARP como propia, y responde con un paquete ARP Response con los siguientes campos de direcciones:

IP-orig: 205.48.40.1 (R <sub>A</sub> )	MAC-orig: MAC- RA-Interfaz TR
IP-dest: 205.48.40.28 (Y)	MAC-dest: MAC-Y

Este paquete se envía en una trama cuyo destinatario a nivel MAC es Y (no es un broadcast).

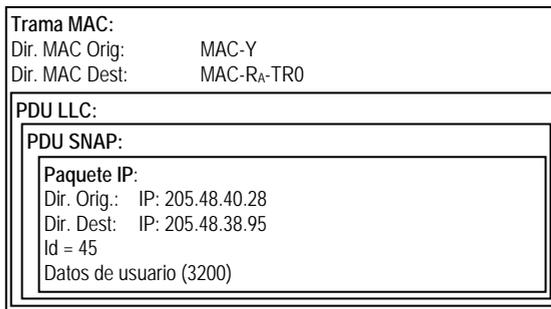


Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo Y identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el paquete ARP Response a su entidad ARP, que aprende la dirección MAC de  $R_A$ . Una vez que Y conoce la dirección MAC correspondiente a 205.48.40.1 ( $R_A$ ), ya puede encapsular en una trama MAC la información que le llegaba de los niveles superiores (el paquete IP). Como el tamaño del paquete a enviar (20+3200) cabe sin ningún problema en la red TR (MTU=4464), se puede enviar sin necesidad de fragmentar. Las direcciones MAC de dicha trama serán:

- Dirección MAC origen:       MAC-Y
- Dirección MAC destino:     MAC- $R_A$ -TR0

Una vez creada la trama, se envía por la red TR.

3.-



Todos los equipos conectados a dicha red ven la trama, pero sólo  $R_A$  identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el datagrama IP a su entidad IP, que descubre que no está destinado a este mismo equipo, sino que tiene que ser encaminado.

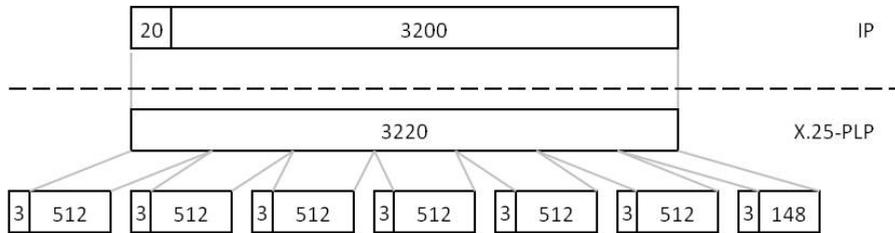
Para saber cómo encaminarlo,  $R_A$  consulta su tabla de encaminamiento IP y descubre que para llegar a las direcciones de la clase 205.48.38.0 tiene que ir a través de la red X.25, en concreto se lo tiene que enviar al equipo con el que tiene establecido el CV al que se le ha asignado el LCI=64 en el interfaz  $R_A$ -DCE ( $R_B$ ). Sin embargo, el tamaño máximo de los datos en los paquetes de datos de esa red X.25 es 512, por lo que no es posible enviar el paquete IP completo encapsulado en un único paquete X.25. Por lo tanto el nivel X.25-PLP de  $R_A$  tendrá que fragmentarlo:

$$\text{Paquete IP} = 20 + 3200 = 3220 \text{ bytes}$$

$$3220 / 512 = 6,29 \rightarrow 7 \text{ fragmentos, de los cuales:}$$

- 6 fragmentos: 512 bytes de datos, bit M = 1

- 1 fragmento: 148 bytes de datos, bit M = 0.

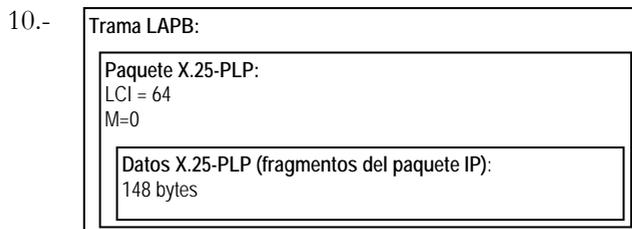
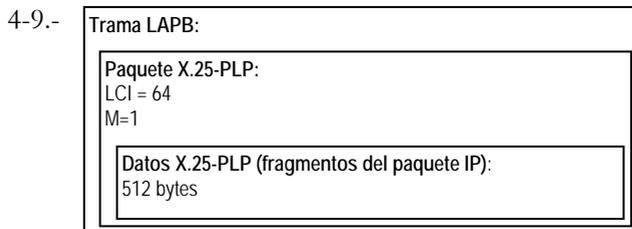


Estos paquetes se envían por el CVP existente entre  $R_A$  y  $R_B$ . Por lo tanto, en la cabecera X.25-PLP, en el interfaz  $R_A$ -DCE el campo LCI tiene el valor 64, mientras que en el interfaz DCE -  $R_B$  tiene el valor 25.

Dichos paquetes se encapsulan a su vez en tramas LAPB para enviarlas por cada enlace.

Suponemos que el tamaño de la ventana de nivel de red permite enviar todos los paquetes de datos seguidos sin necesidad de esperar la confirmación de alguno de ellos.

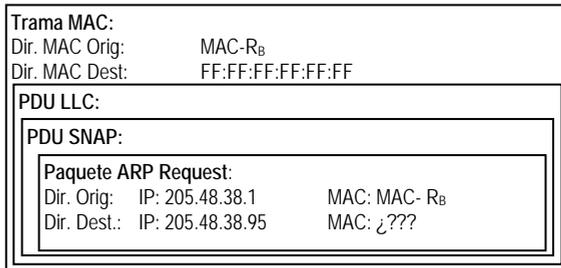
En la siguiente figura se muestra la estructura de paquetes y tramas en el interfaz  $R_A$ -DCE.



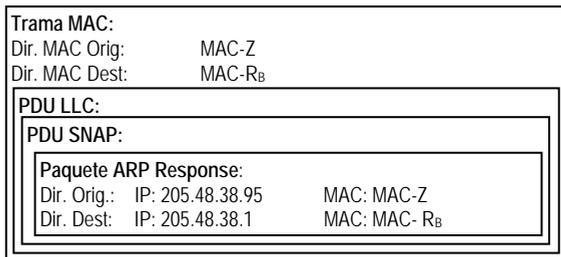
Cuando los 7 fragmentos han llegado a  $R_B$ , el nivel X.25-PLP de éste los reensambla y le pasa al nivel IP un único paquete de 20+3200.

Para saber cómo encaminarlo,  $R_B$  consulta su tabla de encaminamiento IP y descubre que todas las direcciones de la clase 205.48.38.0 están conectadas directamente a la red Ethernet a la que tiene acceso a través de su interfaz Eth-0. Por lo tanto debe enviar por esa red el mismo paquete IP que ha recibido, encapsulado en una trama en la que indique como destino a nivel MAC el propio Z. Para obtener dicha dirección MAC, se repite el proceso de consulta y respuesta ARP (como en 1 y 2).

11.-



12.-



Una vez que  $R_B$  conoce la dirección MAC correspondiente a 205.48.38.95 (Z), ya puede encapsular en una trama MAC el paquete IP que le ha llegado por la red X.25.

- Dirección MAC origen:      MAC-  $R_B$ -Interfaz Eth
- Dirección MAC destino:    MAC-Z

Sin embargo, la red Ethernet tiene una MTU (1500) que no permite enviar el paquete IP completo (20+3200) encapsulado en una única trama Ethernet, por lo tanto el nivel IP de  $R_B$  tendrá que fragmentarlo:

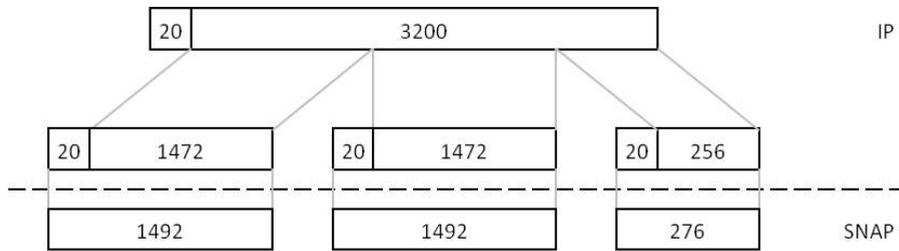
$$\text{Paquete IP} = 20 + 3200 = 3220\text{bytes}$$

$$\text{Tamaño máximo de datos del fragmento} = (\text{MTU}_{\text{Eth}} - \text{Cab}_{\text{LLC}} - \text{Cab}_{\text{SNAP}} - \text{Cab}_{\text{IP}})_8 = (1500 - 3 - 5 - 20)_8 = (1472)_8 = 1472$$

$$3200 / 1472 = 2,17 \rightarrow 3 \text{ fragmentos, de los cuales:}$$

$$\text{- 2 fragmentos: } 20 + 1472, \text{MF} = 1$$

$$\text{- 1 fragmento: } 20 + 256, \text{MF} = 0.$$



Es decir, los fragmentos que R<sub>B</sub> le envía a Z son:

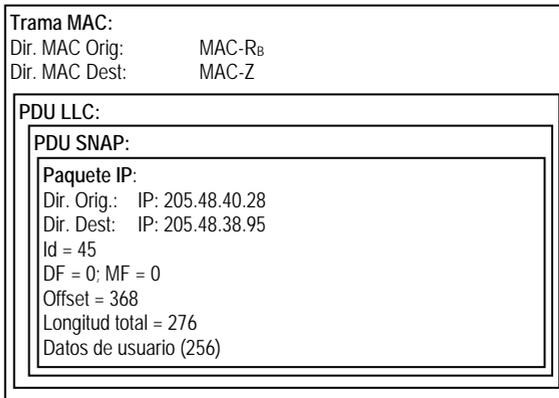
13.-

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	MAC-R <sub>B</sub>
Dir. MAC Dest:	MAC-Z
<b>PDU LLC:</b>	
<b>PDU SNAP:</b>	
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 205.48.40.28
Dir. Dest.:	IP: 205.48.38.95
Id =	45
DF = 0; MF =	1
Offset =	0
Longitud total =	1492
Datos de usuario (	1472)

14.-

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	MAC-R <sub>B</sub>
Dir. MAC Dest:	MAC-Z
<b>PDU LLC:</b>	
<b>PDU SNAP:</b>	
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 205.48.40.28
Dir. Dest.:	IP: 205.48.38.95
Id =	45
DF = 0; MF =	1
Offset =	184
Longitud total =	1492
Datos de usuario (	1472)

15.-



Al recibir Z los 3 fragmentos, su nivel IP analiza la dirección IP destino y descubre que él es el destinatario del mensaje, por lo que los reensambla y pasa los datos obtenidos a los niveles superiores, finalizando así la transferencia del mensaje.

e) Indicar si las tablas ARP que se muestran a continuación se corresponden con las de X y R<sub>A</sub> después de la transferencia de información descrita. Justificar la respuesta, explicando por qué se consideran correctas o incorrectas.

Si se considera que son incorrectas, indicar cuál sería el contenido correcto de las mismas, justificando la modificación.

<u>X</u>		<u>R<sub>A</sub></u>	
Dir. IP	Dir MAC	Dir. IP	Dir MAC
205.48.40.28	MAC-Y	205.48.40.28	MAC-Y
205.48.40.1	MAC-R <sub>A</sub> -TR.0	205.48.38.1	MAC-R <sub>B</sub> -X25.0

Para completar las tablas ARP de X y R<sub>A</sub> tras finalizar la transferencia del mensaje, hay que tener en cuenta que:

- Cuando una estación envía un paquete ARP Request, todas las estaciones que se encuentran en la misma red LAN pueden aprender la correspondencia entre su dirección IP y su dirección MAC, ya que todas son destinatarias de esa trama. Dependiendo de la implementación del fabricante, es posible que:
  - Sólo la identificada por la dirección IP destino del paquete ARP Request guarde en su tabla ARP el mapeo IP-MAC de la estación que ha enviado el ARP Request, o bien que...
  - También las otras estaciones de esa red LAN guarden esa correspondencia en sus tablas ARP.

Vamos a suponer que en este caso concreto X sí que aprende la correspondencia IP-MAC de Y. Por lo tanto, tanto X como  $R_A$  tendrán en su tabla ARP una entrada con las direcciones IP-MAC de Y.

- Cuando una estación envía un paquete ARP Response, sólo la estación destinataria de dicha respuesta aprende la correspondencia entre su dirección IP y su dirección MAC. Por lo tanto, X no tendrá en su tabla ARP una entrada con las direcciones IP-MAC de  $R_A$ .
- Sólo tiene sentido que existan en la tabla ARP entradas correspondientes a equipos que se encuentran conectados a la misma red LAN que el nodo en cuestión. No hay entradas asociadas a equipos a los que se conecte a través de una red X.25, ya que no tienen asociada una dirección MAC en el interfaz X.25. Por lo tanto,  $R_A$  no tendrá en su tabla ARP una entrada con las direcciones IP-MAC de  $R_B$ .

Por lo tanto, el contenido correcto de las tablas ARP sería el siguiente:

<u>X</u>	
Dir. IP	Dir MAC
205.48.40.28	MAC-Y
<del>205.48.40.1</del>	<del>MAC-<math>R_A</math>-TR.0</del>

<u>RA</u>	
Dir. IP	Dir MAC
205.48.40.28	MAC-Y
<del>205.48.38.1</del>	<del>MAC-<math>R_B</math>-X25.0</del>

Considerar que:

- ✎ En el tamaño del mensaje se consideran incluidas las cabeceras de todos los niveles superiores al nivel de red.
- ✎ Antes de realizarse el intercambio de información del apartado d, las tablas ARP de todos los equipos están vacías.
- ✎ Los valores de las MTU de cada red son los siguientes:  $MTU_{ETH}=1500$ ;  $MTU_{TR}=4464$ ; tamaño máximo del campo de datos del paquete de datos en la red X.25 = 512 bytes

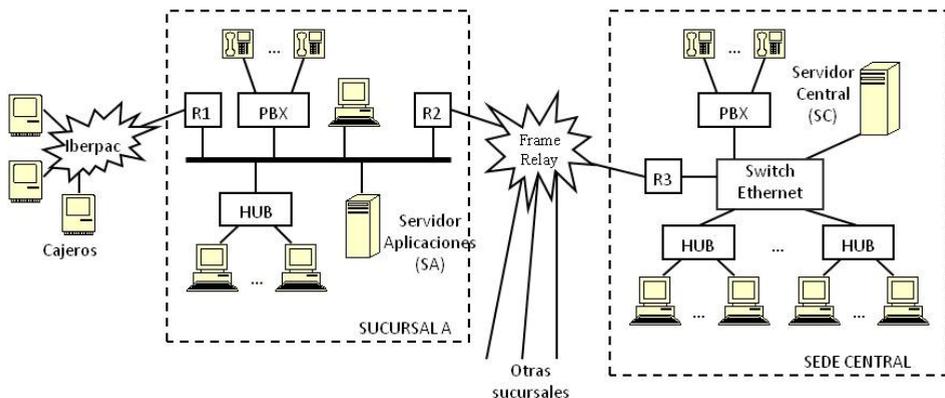
**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

## 8.

Una empresa bancaria quiere instalar una red de comunicaciones basada en IP para integrar sus sucursales y la sede central. Cada sucursal está organizada en torno a un segmento Ethernet (IEEE 802.3) al que se conecta un servidor de aplicaciones, los equipos de usuario, un router para la conexión a la sede central a través de una red Frame Relay, y un router para el acceso de los cajeros a la sucursal a través de la red Iberpac (red X.25 de Telefónica). La sede central tiene la misma configuración que las sucursales, pero no dispone de cajeros y contiene el servidor central al que se conectan los diferentes servidores de aplicaciones de cada sucursal para realizar las operaciones bancarias correspondientes.

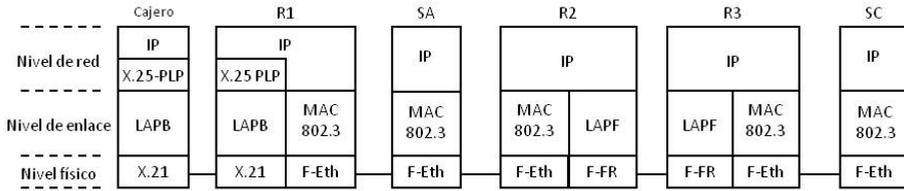
Se pide:

a) Dibujar la solución de red propuesta.



b) Dibujar la arquitectura de protocolos (hasta nivel de red) que utilizan los siguiente equipos:

- un cajero de una sucursal (C),
- el router que permite el acceso desde Iberpac a la red local de la sucursal (R1),
- el router de la sucursal que da salida al tráfico hacia la sede central (R2) y
- el router de la sede central (R3).



NOTA: El encapsulado en las redes Ethernet también podría haber sido IP/SNAP/LLC/MAC/Físico.

- c) Formato de paquetes y tramas intercambiados en cada una de las redes involucradas (indicando el valor de los campos principales y el tamaño de los paquetes) cuando desde un cajero se realiza una petición al servidor de la sucursal (cada petición ocupa 600 bytes) y éste le responde (la respuesta ocupa 800 bytes). Antes de responder al cajero, el servidor de la sucursal realiza una consulta al servidor central que supone 780 bytes y recibe un paquete de respuesta de 2.500 bytes en el que se autoriza la operación y se actualizan los datos.

En caso de producirse fragmentación, indicar explícitamente en qué equipos y a qué nivel se realiza la fragmentación y el reensamblado.

Considerar que:

- ✎ En los datos del número de bytes de peticiones y respuestas se consideran incluidas las cabeceras de transporte y aplicación.
- ✎ Los valores de las MTU de cada red son los siguientes:  $MTU_{ETH}=1500$ ;  $MTU_{FR}=8000$ . Tamaño máximo del campo de datos del paquete de datos en la red X.25: 256 bytes.

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

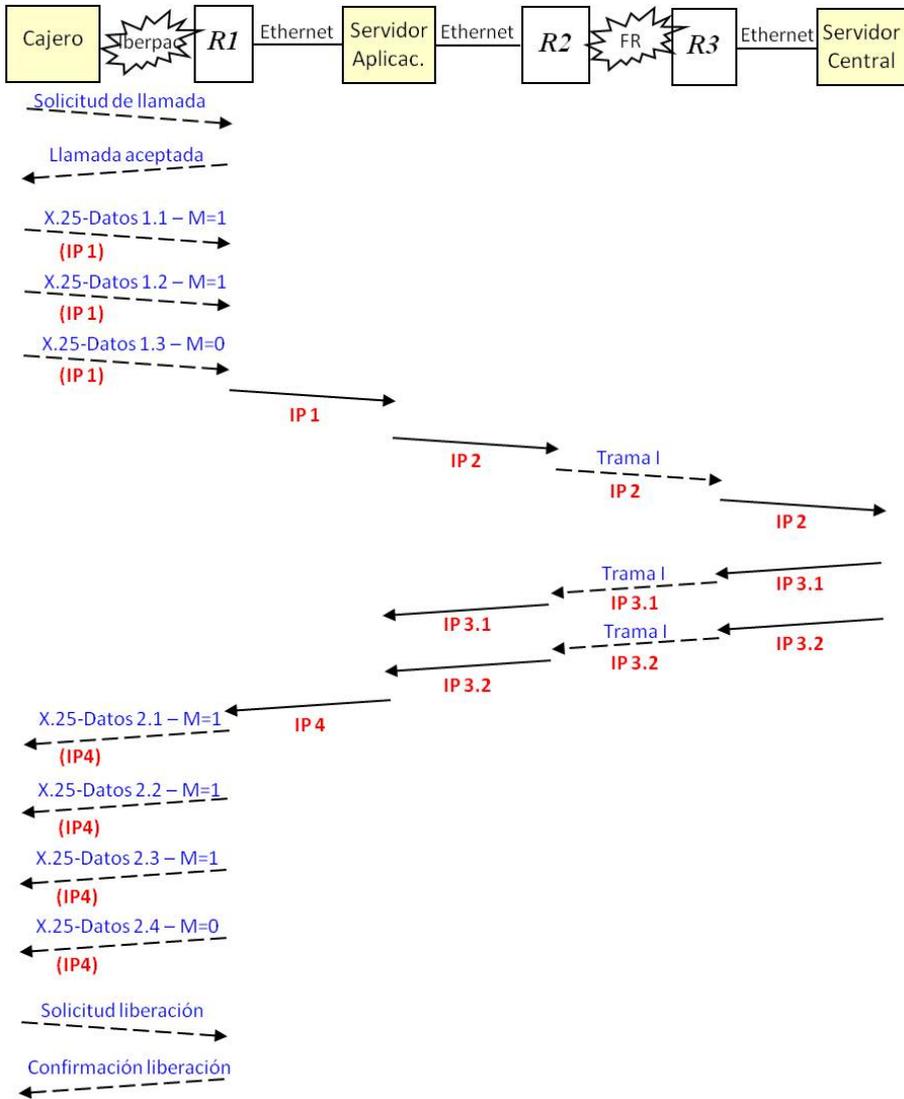
En cuanto al formato de tramas-paquetes, sólo se indica la información de direccionamiento y fragmentación.

Suponemos que el banco tiene contratado un CVP en la red Frame Relay entre cada sucursal y la sede central (alto tráfico continuamente). Por lo tanto, no es necesario el proceso de establecimiento y liberación de la conexión lógica en la red FR, sino que se utiliza el circuito contratado, con los DLCIs previamente acordados con el suministrador del circuito.

Entre cada cajero y la sucursal, en la red X.25, como hay menos tráfico que entre oficinas, suponemos que no se tiene un CVP (permanente) sino que se establece un CVC (conmutado) cuando es necesaria la comunicación entre un cajero y la sucursal.

Proceso seguido, de forma resumida:

1. Establecimiento de la llamada X.25 en la red Iberpac (Paquetes de Solicitud de Llamada y Confirmación de Llamada). Creación del CVC.
2. Transferencia de datos:
  - 2.a. Se envía la petición del cajero al Servidor de Aplicaciones de la sucursal:
    - 2.a.1. por la red Iberpac, del cajero a R1.
    - 2.a.2. por la red Ethernet, de R1 al SA (si R1 no conoce la dirección MAC del SA, previamente realizará una consulta ARP para conocerla).
  - 2.b. Para poder responder a esa petición, el SA debe lanzar previamente una consulta al SC:
    - 2.b.1. por la red Ethernet de la sucursal, desde SA hasta R2 (si el SA no conoce la dirección MAC de R2, previamente realizará una consulta ARP para conocerla).
    - 2.b.2. por la red FR, desde R2 hasta R3.
    - 2.b.3. por la red Ethernet de la sede central, de R3 al SC (si R3 no conoce la dirección MAC del SC, previamente realizará una consulta ARP para conocerla).
  - 2.c. El SC envía la respuesta al SA:
    - 2.c.1. por la red Ethernet de la sede central, desde SC hasta R3.
    - 2.c.2. por la red FR, desde R3 hasta R2.
    - 2.c.3. por la red Ethernet de la sucursal, de R2 al SA.
  - 2.d. Con la respuesta del SC, el SA puede generar la respuesta para el cajero:
    - 2.d.1. por la red Ethernet, del SA a R1.
    - 2.d.2. por la red Iberpac, de R1 al cajero.
3. Liberación de llamada X.25 en la red Iberpac (Paquetes de Solicitud de Liberación y Confirmación de Liberación).



NOTA: De cara a los cálculos de los tamaños de los fragmentos, se ha supuesto que, tanto en la red Ethernet de la sucursal como en la de la sede central, el encapsulado es Ethernet-II (IP/MAC)

**1. Establecimiento de CV**

Para poder enviar datos al Servidor de Aplicaciones (SA), el Cajero los tiene que enviar por la red X.25 hasta el router de la Sucursal (R1), y para ello tiene que existir un CV entre Cajero y R1. Como no hay CVP entre Cajero-R1, el Cajero tiene que solicitar el establecimiento de un CVC.

El paquete de Solicitud de Llamada tiene como dirección origen la dirección X.121 del Cajero y como dirección destino la del R1. Además, se va eligiendo en cada salto un valor para el LCI, y todos los paquetes de ese CV tendrán en ese salto ese mismo valor. Si el R1 acepta la llamada, envía un paquete de Confirmación de Llamada; una vez que dicho paquete llega al Cajero, el CVC queda establecido y se pueden enviar los datos.

**2.a. Petición del Cajero al SA → Paquete IP-1: 600 bytes datos+ 20 bytes cabecera**

Direc. IP: Dirección origen – Cajero  
Dirección destino – SA

	Longitud total	ID (*)	MF	DF	Desplaz fragmento
Datagrama IP 1	20+600	625	0	0	0

(\*) Podría tomar otro valor.

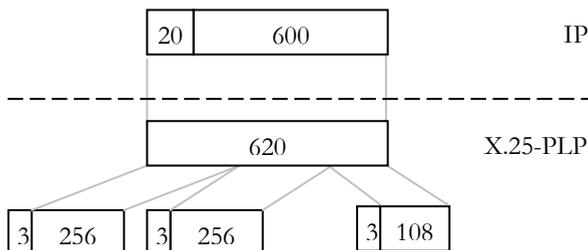
**2.a.1 Red X.25**

El Cajero debe enviar este paquete IP encapsulado en un paquete de datos X.25-PLP a través de la red X.25 al R1 (Siguiente Salto para llegar a la red en la que se encuentra el equipo destino, SA). Para que pueda atravesar la red X.25, el R1 debe fragmentar el paquete (ya que es mayor de 256 bytes, tamaño máximo de los datos en los paquetes X.25-PLP en esa red). Por lo tanto, el nivel X.25-PLP del Cajero realiza esta fragmentación:

Datagrama IP-1 = 620 bytes (para X.25-PLP, datos a ser transportados)

$620 / 256 = 2,42 \rightarrow 3$  fragmentos X.25, de los cuales:

- 2 fragmentos: 256 bytes de datos, bit M=1 (X.25-1.1 y 1.2, en la fig.)
- 1 fragmento: 108 bytes de datos, bit M=0 (X.25-1.3, en la fig.)



	Tamaño X25-PLP (**)	M
Fragmento X.25 1.1	3+256	1
Fragmento X.25 1.2	3+256	1
Fragmento X.25 1.3	3+108	0

(\*\*) Columna a título informativo, ya que no existe ningún campo en la cabecera X.25-PLP en el que indicar la longitud del paquete.

Cada uno de estos fragmentos X.25-PLP tiene una cabecera de 3 bytes (el campo LCI de la cabecera del paquete X.25-PLP tendrá valores diferentes en cada uno de los saltos en la red X.25, tomando en cada uno de los saltos el valor que se ha fijado en el establecimiento de llamada) y un campo de datos de la longitud indicada, y se encapsula en una trama LAPB.

Todos estos fragmentos siguen el mismo camino por la red X.25 (el CVC previamente establecido) y llegan a R1. El nivel X.25-PLP de R1 reensambla los fragmentos 1.1, 1.2 y 1.3 y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el paquete IP-1).

### 2.a.2 Red Ethernet Sucursal

El datagrama IP puede atravesar la red Ethernet de la sucursal sin necesidad de fragmentarlo ( $620 < MTU_{ETH}=1500$  bytes). Por lo tanto, R1 encapsula el datagrama en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-R1
- dirección MAC destino = MAC-SA (ya que en la tabla de encaminamiento de R1 figurará que los equipos de la red IP de la sucursal están conectados directamente a la misma red Ethernet que R1)

Se ha supuesto que la tabla ARP de R1 contiene información acerca del SA, y por lo tanto no necesita lanzar una consulta ARP para obtener su dirección MAC.

SA es el destinatario del datagrama a nivel IP, por lo tanto pasará los 600 bytes de datos al nivel de transporte correspondiente.

### 2.b. Petición del SA al SC → Paquete IP-2: 780 bytes datos+ 20 bytes cabecera

Direcc. IP:      Dirección origen – SA  
                     Dirección destino – SC

	Longitud total	ID (*)	MF	DF	Desplaz fragmento
Datagrama IP 2	20+780	422	0	0	0

(\*) Podría tomar otro valor.

2.b.1. Red Ethernet Sucursal

Se puede enviar el datagrama IP-2 por la red Ethernet de la sucursal sin necesidad de fragmentarlo ( $800 < MTU_{ETH}=1500$  bytes). Por lo tanto, SA encapsula el datagrama en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-SA
- dirección MAC destino = MAC-R2 (ya que en la tabla de encaminamiento de SA figurará que a los equipos de la red IP de la Sede Central se llega a través del R2)

Se ha supuesto que la tabla ARP de SA contiene información acerca del R2, y por lo tanto no necesita lanzar una consulta ARP para obtener su dirección MAC.

2.b.2. Red Frame Relay

El R2 enviará el paquete IP-2 por el CVP existente entre R2 (Sucursal) y R3 (Sede Central), encapsulado en una trama FR. El DLCI que identifica al CV tiene significado local, por lo tanto puede modificarse en cada salto.

No es necesario fragmentar el paquete IP-2 para enviarlo por la red FR, porque el tamaño del paquete es menor que la MTU ( $800 < MTU_{FR}=8000$ ).

2.b.3. Red Ethernet Sede Central

El datagrama IP-2 puede atravesar la red Ethernet de la Sede Central sin necesidad de fragmentarlo ( $800 < MTU_{ETH}=1500$  bytes). Por lo tanto, R3 encapsula el datagrama en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-R3
- dirección MAC destino = MAC-SC (ya que en la tabla de encaminamiento de R3 figurará que los equipos de la red IP de la sucursal están conectados directamente a la misma red Ethernet que R3)

Se ha supuesto que la tabla ARP de R3 contiene información acerca del SC, y por lo tanto no necesita lanzar una consulta ARP para obtener su dirección MAC.

SC es el destinatario del datagrama a nivel IP, por lo tanto pasará los 780 bytes de datos al nivel de transporte correspondiente.

2.c. Respuesta del SC al SA → Paquete IP-3: 2500 bytes de datos + 20 bytes de cabecera.

Direcc. IP: Dirección origen – SC  
Dirección destino – SA

	Longitud total	ID (*)	MF	DF	Desplaz fragmento
Datagrama IP 3	20+2500	28	0	0	0

(\*) Podría tomar otro valor.

2.c.1. Red Ethernet Sede Central

El datagrama IP-3 no puede atravesar la red Ethernet de la Sede Central sin ser fragmentado, ya que:

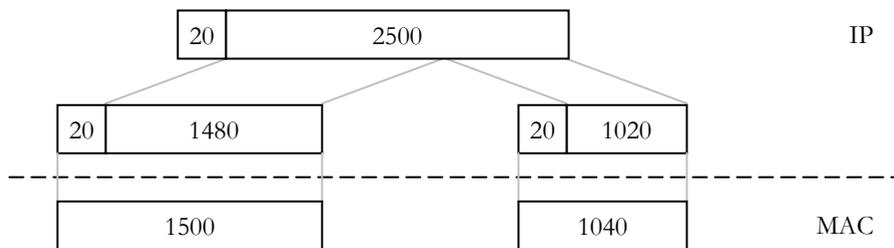
$$\text{Tamaño máximo de datos del fragmento IP} = (\text{MTU}_{\text{Eth}} - \text{Cab}_{\text{IP}})_8 = (1500 - 20)_8 = (1480)_8 = 1480 < 2500 \text{ (tamaño del campo de datos del datagrama IP)}$$

La fragmentación la hará el nivel IP del SC:

$$2500 / 1480 = 1,69 \rightarrow 2 \text{ fragmentos, de los cuales:}$$

- 1 fragmento: 20 + 1480, MF = 1 (IP3.1, en la figura)

- 1 fragmento: 20 + 1020, MF = 0 (IP3.2, en la figura)



	Longitud total	ID	MF	DF	Desplaz fragmento
Fragmento IP 3.1	1500 (20+1480)	28	1	0	0
Fragmento IP 3.2	1040 (20+1020)	28	0	0	185 (1480/8)

Cada uno de estos fragmentos se encapsula en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-SC
- dirección MAC destino = MAC-R3

2.c.2. Red FR

El R3 enviará los 2 fragmentos IP-3.1 e IP-3.2 por el CVP existente entre R3 (Sede Central) y R2 (Sucursal), encapsulados en sendas tramas FR. El DLCI que identifica al CV tiene significado local, por lo tanto puede modificarse en cada salto.

No es necesario fragmentar ninguno de los 2 paquetes para enviarlos por la red FR, porque su tamaño es menor que la MTU ( $1500 + 1040 < \text{MTU}_{\text{FR}}=8000$ ).

2.c.3. Red Ethernet Sucursal

Tanto el datagrama IP-3.1 como el IP-3.2 pueden atravesar la red Ethernet de la Sucursal sin necesidad de fragmentarlos ( $\text{MTU}_{\text{ETH}}=1500$  bytes). Por lo tanto, R2 encapsula cada datagrama en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-R2
- dirección MAC destino = MAC-SA

SA es el destinatario de estos 2 datagramas, por lo tanto los datos son reensamblados por el nivel IP de SA, obteniendo los 2500 bytes de datos que pasará al nivel de transporte correspondiente.

### **2.d. Respuesta del SA al Cajero → Paquete IP: 800 bytes datos+ 20 bytes cabecera**

Direcc. IP: Dirección origen – SA  
Dirección destino – Cajero

	Longitud total	ID (*)	MF	DF	Desplaz fragmento
Datagrama IP 4	20+800	78	0	0	0

(\*) Podría tomar otro valor.

#### 2.d.1. Red Ethernet

Se puede enviar el datagrama IP-4 por la red Ethernet de la sucursal sin necesidad de fragmentarlo ( $820 < MTU_{ETH}=1500$  bytes). Por lo tanto, SA encapsula el datagrama en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-SA
- dirección MAC destino = MAC-R1

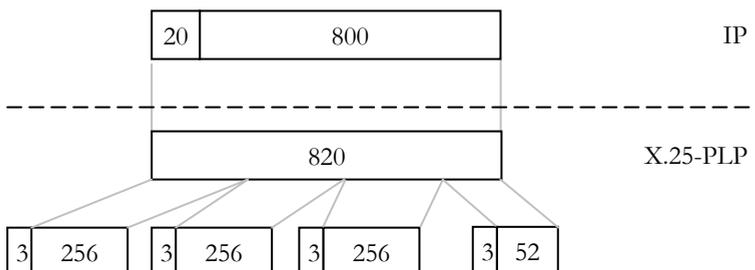
#### 2.d.2. Red X.25

El R1 debe enviar al Cajero este paquete IP encapsulado en un paquete de datos X.25-PLP a través de la red X.25. Para que pueda atravesar la red X.25, el R1 debe fragmentar el paquete (ya que es mayor de 256 bytes, tamaño máximo de los datos en los paquetes X.25-PLP en esa red). Por lo tanto, el nivel X.25-PLP del R1 realiza esta fragmentación:

Datagrama IP-4 = 820 bytes (para X.25-PLP, datos a ser transportados)

$820 / 256 = 3,20 \rightarrow 4$  fragmentos X.25, de los cuales:

- 3 fragmentos: 256 bytes de datos, bit M=1 (X.25-2.1,2.2 y 2.3)
- 1 fragmento: 108 bytes de datos, bit M=0 (X.25-2.4)



	Tamaño X25-PLP (**)	M
Fragmento X.25 2.1	3+256	1
Fragmento X.25 2.2	3+256	1
Fragmento X.25 2.3	3+256	1
Fragmento X.25 2.4	3+52	0

(\*\*) Columna a título informativo, ya que no existe ningún campo en la cabecera X.25-PLP en el que indicar la longitud del paquete.

Cada uno de estos fragmentos X.25-PLP tiene una cabecera de 3 bytes (el campo LCI de la cabecera del paquete X.25-PLP tendrá valores diferentes en cada uno de los saltos en la red X.25, tomando en cada uno de los saltos el valor que se ha fijado en el establecimiento de llamada) y un campo de datos de la longitud indicada, y se encapsula en una trama LAPB.

Todos estos fragmentos siguen el mismo camino por la red X.25 (el CVC previamente establecido) y llegan al Cajero. El nivel X.25-PLP del Cajero reensambla los fragmentos 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el datagrama IP-4, 20+800).

A nivel IP, el Cajero es el destinatario de este datagrama, por lo tanto el nivel IP pasará al nivel de transporte correspondiente los 800 bytes de datos.

### **3. Liberación de CV**

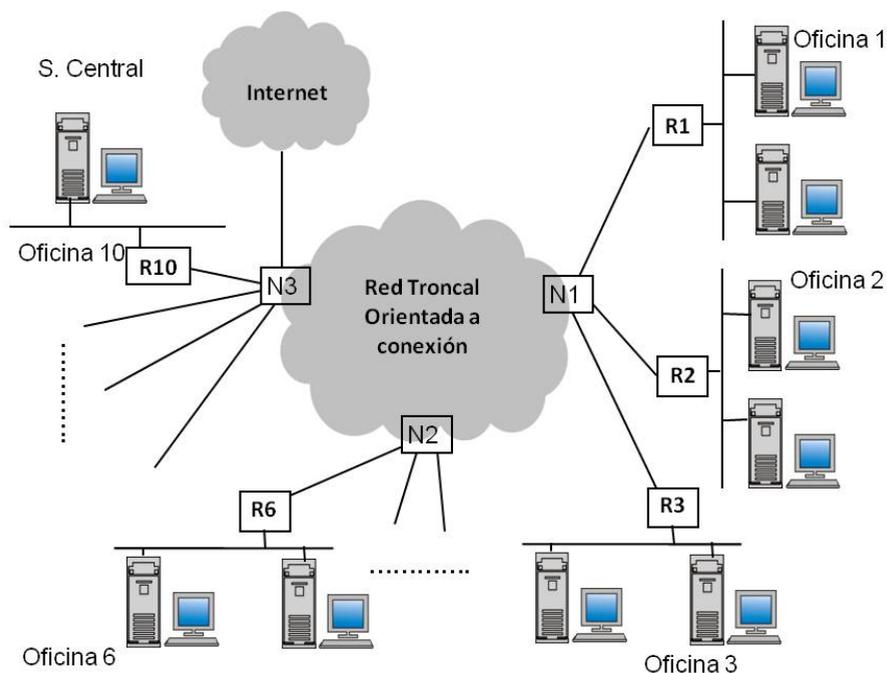
Una vez finalizada la transferencia de datos, se puede liberar el CVC de la red X.25. El Cajero envía la Solicitud de Liberación, y el R1 la confirma. De esta manera se borran las entradas correspondientes a ese CVC en todos los conmutadores por los que pasaba el CV, y los LCIs vuelven a quedar disponibles.

## 9.

Una empresa que se dedica a la prestación de servicios a varios ayuntamientos, quiere instalar una red de comunicaciones basada en IP para conectar sus 9 oficinas y la sede central. Cada oficina está en una localidad diferente, organizada en torno a un segmento de red local (IEEE 802.3) al que se conecta un Servidor de Aplicaciones, los equipos de usuario y un router para la conexión a la sede central y al resto de oficinas a través de una red orientada a conexión.

La sede central tiene la misma configuración que las oficinas, pero contiene el Servidor Central al que se conectan los diferentes servidores de aplicaciones de cada sucursal para realizar las operaciones de actualización de las bases de datos distribuidas.

Debido a la distancia física entre las instalaciones, la solución de red que implementa el operador que ofrece la conexión, está formada por 3 conmutadores interconectados entre sí mediante líneas que gestiona dicho operador. El router de cada oficina está conectado al conmutador situado en la ciudad más cercana, según la arquitectura que muestra el gráfico siguiente.



Situación de los conmutadores del operador: N1: Ciudad 1. N2: Ciudad 2. N3: Ciudad 3.

Se pide:

a) Representar en la figura el plan de direccionamiento indicado. Dimensionar el mínimo número de canales lógicos a contratar para permitir la conexión mediante circuitos virtuales permanentes entre todas las oficinas entre sí. Además, debe existir la posibilidad de establecer un circuito conmutado entre cada oficina y cualquier otra de la empresa, incluida la central.

Ver Figura en la página siguiente.

b) En un determinado momento la empresa está utilizando un circuito virtual conmutado entre la Oficina 1 y la sede central, y otro entre la Oficina 1 y la Oficina 3. En ese momento concreto:

- Representar en la figura los CVPs que mantiene la Oficina 1, indicando los LCIs.
- Mostrar las entradas de la tabla de conexiones de N1 relativas a los CVs de la Oficina 1.

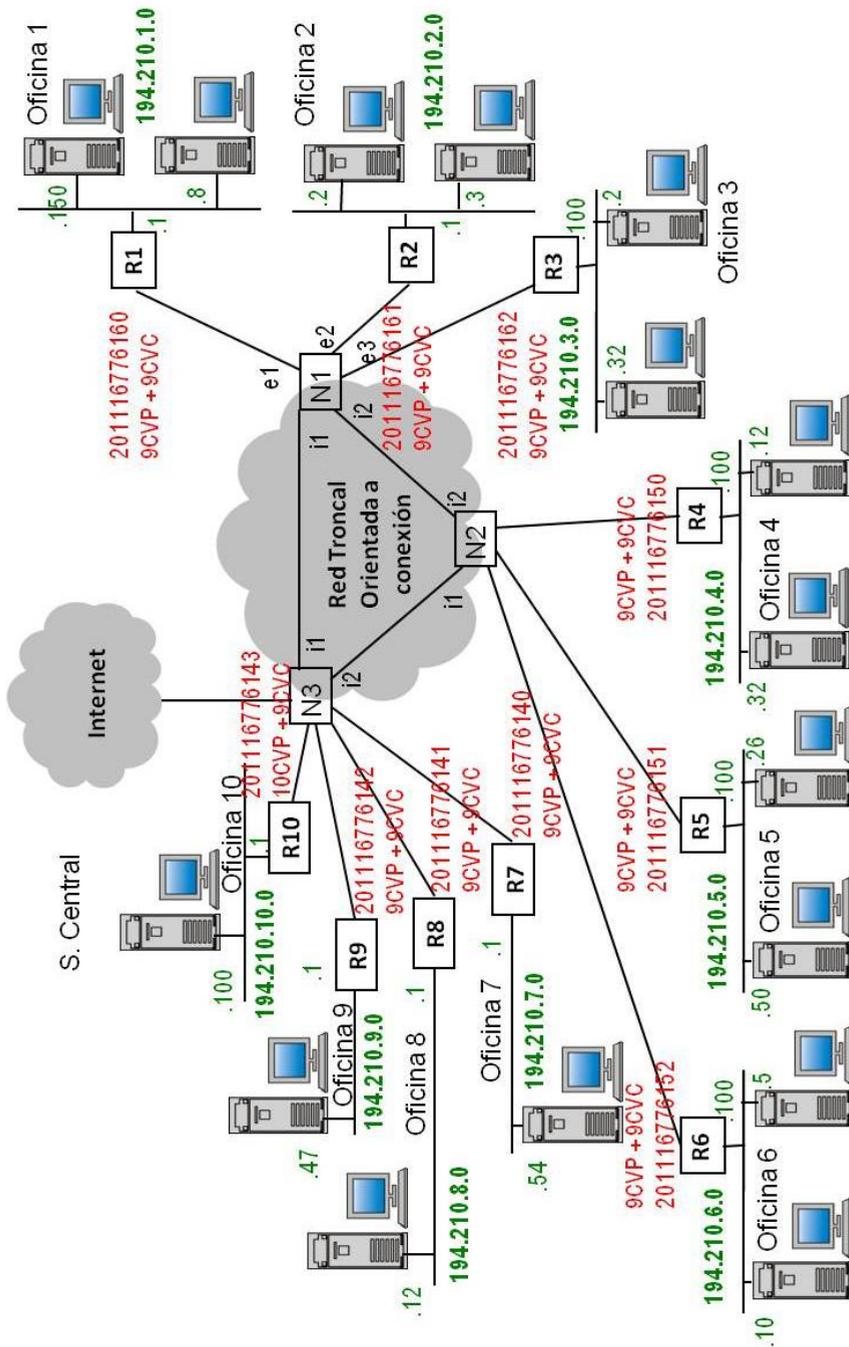
Ver la Figura más adelante, donde:

- CVP: línea roja continua (en la tabla de conexiones, normal)
- CVC: línea azul discontinua (en la tabla de conexiones, negrita)

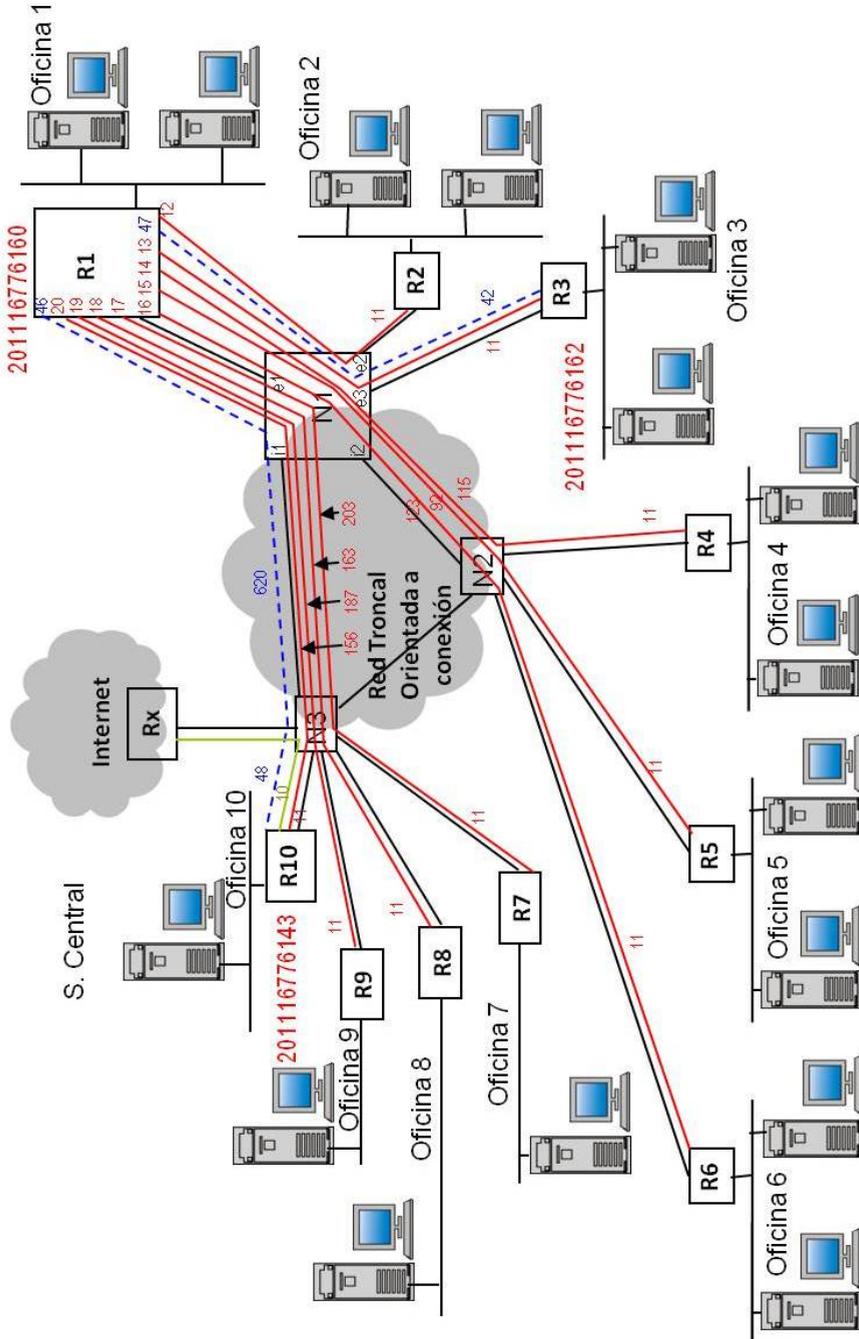
ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
e1	12	e2	11
e1	13	e3	11
e1	14	i2	115
e1	15	i2	92
e1	16	i2	123
e1	17	i1	203
e1	18	i1	163
e1	19	i1	187
e1	20	i1	156
e2	11	e1	12
e3	11	e1	13
i1	203	e1	17
i1	163	e1	18
i1	187	e1	19
i1	156	e1	20
i2	115	e1	14
i2	92	e1	15
i2	123	e1	16

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
<b>e1</b>	<b>46</b>	<b>i1</b>	<b>620</b>
<b>e1</b>	<b>47</b>	<b>e3</b>	<b>42</b>
<b>e3</b>	<b>42</b>	<b>e1</b>	<b>47</b>
<b>i1</b>	<b>620</b>	<b>e1</b>	<b>46</b>

a)



b)



- c) **Construir las tablas de encaminamiento, tanto de los routers R1, R6 y R10 de la empresa de servicios como de los conmutadores del operador de red.**

El enunciado no dice nada acerca de la salida a Internet. Se ha supuesto que existe un DTE (router Rx en la figura del apartado b) conectado al conmutador N3, que sirve como salida a Internet. Además, se ha supuesto que existe un CVP entre R10 y Rx, de manera que desde todas las oficinas hay que encaminar el tráfico de Internet hacia el R10, y desde allí se envía por este CVP al Rx, que ya está conectado a Internet.

El siguiente salto de las tablas de encaminamiento de R1, R6, R10 para llegar a cada una de las oficinas distintas de la local puede ser tanto a través del CVP que existe con dicha oficina como estableciendo un CVC hacia la misma. En el 1º de los casos, en la tabla de encaminamiento se debe indicar el LCI del CVP a utilizar; en el 2º, la dirección X.121 del DTE hacia el cual establecer el CVC. En las tablas mostradas a continuación se muestran ambas opciones.

**R1**

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.210.1.0	Directa	Eth-0
192.210.2.0	LCI=12 / 2011...61	X.25-0
192.210.3.0	LCI=13 / 2011...62	X.25-0
192.210.4.0	LCI=14 / 2011...50	X.25-0
192.210.5.0	LCI=15 / 2011...51	X.25-0
192.210.6.0	LCI=16 / 2011...52	X.25-0
192.210.7.0	LCI=17 / 2011...40	X.25-0
192.210.8.0	LCI=18 / 2011...41	X.25-0
192.210.9.0	LCI=19 / 2011...42	X.25-0
192.210.10.0	LCI=20 / 2011...43	X.25-0
0.0.0.0	LCI=20 / 2011...43	X.25-0

**R6**

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.210.1.0	LCI=11 / 2011...60	X.25-0
192.210.2.0	LCI=12 / 2011...61	X.25-0
192.210.3.0	LCI=13 / 2011...62	X.25-0
192.210.4.0	LCI=14 / 2011...50	X.25-0
192.210.5.0	LCI=15 / 2011...51	X.25-0
192.210.6.0	Directa	Eth-0
192.210.7.0	LCI=17 / 2011...40	X.25-0
192.210.8.0	LCI=18 / 2011...41	X.25-0
192.210.9.0	LCI=19 / 2011...42	X.25-0
192.210.10.0	LCI=20 / 2011...43	X.25-0
0.0.0.0	LCI=20 / 2011...43	X.25-0

**R10**

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.210.1.0	LCI=11 / 2011...60	X.25-0
192.210.2.0	LCI=12 / 2011...61	X.25-0
192.210.3.0	LCI=13 / 2011...62	X.25-0
192.210.4.0	LCI=14 / 2011...50	X.25-0
192.210.5.0	LCI=15 / 2011...51	X.25-0
192.210.6.0	LCI=16 / 2011...52	X.25-0
192.210.7.0	LCI=17 / 2011...40	X.25-0
192.210.8.0	LCI=18 / 2011...41	X.25-0
192.210.9.0	LCI=19 / 2011...42	X.25-0
192.210.10.0	Directa	Eth-0
0.0.0.0	LCI=10	X.25-0

**N1**

Destino	Enlace
20111677614X	i1
20111677615X	i2
201116776160	e1
201116776161	e2
201116776162	e3

**N2**

Destino	Enlace
20111677614X	i1
201116776151	e1
201116776152	e2
201116776153	e3
20111677616X	i2

**N3**

Destino	Enlace
201116776140	e1
201116776141	e2
201116776142	e3
201116776143	e4
20111677615X	i2
20111677616X	i1

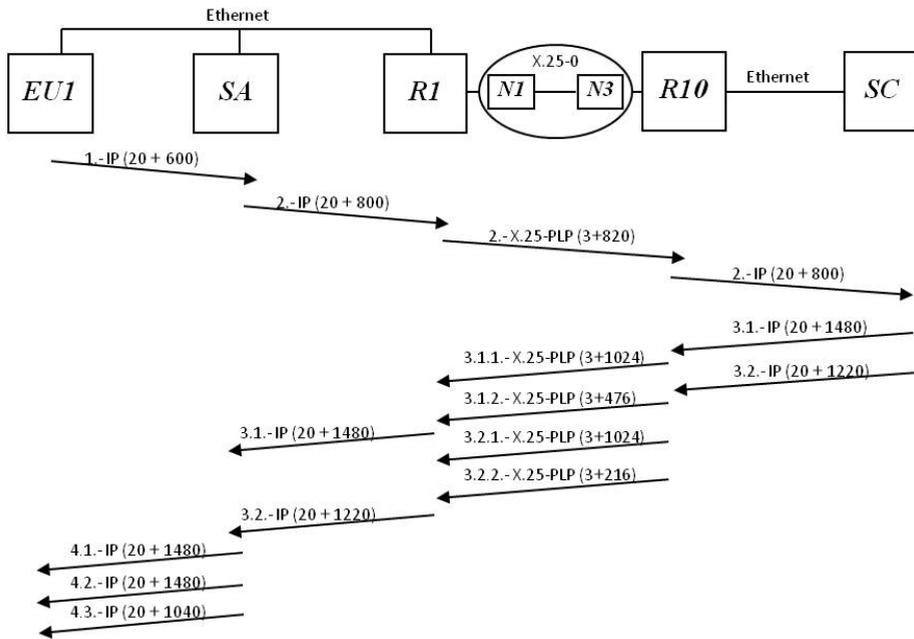
- d) Desde un equipo de usuario EU1 de la Oficina 1 se realiza una petición al Servidor de Aplicaciones de esa misma oficina (cada petición ocupa 600 bytes) y éste le responde (la respuesta ocupa 4000 bytes). Antes de responder a la aplicación del equipo del usuario EU1, el Servidor de la oficina realiza una consulta al Servidor Central (800 bytes) y recibe un paquete de respuesta en el que se autoriza la operación y se envía una actualización de los datos (2.700 bytes).

Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada una de las redes involucradas, indicando los valores de los campos más representativos de las cabeceras de los niveles de red y enlace (direccionamiento, fragmentación...). En caso de producirse fragmentación, indicar explícitamente en qué equipos y a qué nivel se realiza la fragmentación y el reensamblado.

Considerar que:

- ✎ El valor de la MTU de la red 802.3 es 1500. El máximo tamaño de la información útil del paquete en la red del operador es de 1024 bytes.
- ✎ En los datos del número de bytes de peticiones y respuestas se consideran incluidas las cabeceras de transporte y aplicación.

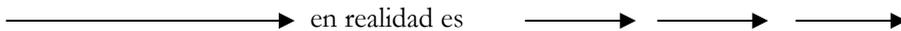
**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.



Se ha supuesto que:

- Cada equipo que necesita enviar un paquete IP a través de una red Ethernet contiene en su tabla ARP información acerca del equipo destinatario de la trama en la que dicho paquete debe ser encapsulado. Por eso, no han sido necesarias consultas ARP.
- El envío de estos mensajes entre R1 (Oficina 1) y R10 (Sede Central) se realiza a través del CVP existente entre ambas (no se establece un CVC).
- El encapsulado en las redes Ethernet es Ethernet-II (IP/MAC).

En la figura anterior, se ha representado con una única flecha el envío de los paquetes X.25-PLP entre R1 y R10. Sin embargo, dichos paquetes se van conmutando salto a salto de R1 a N1, a N3, a R10 (y viceversa). Es decir:



**1. Petición de EU1 al SA → Paquete IP-1: 600 bytes datos + 20 bytes cabecera**

La máquina EU1 (p.ej. 194.210.1.8) crea un mensaje cuyo destinatario es SA (p.ej. 194.210.1.150). Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, EU1 crea un paquete IP (20+600) en el que:

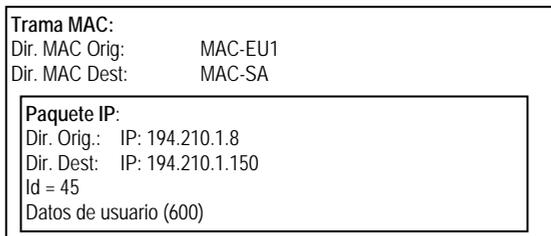
- Dirección IP origen: 194.210.1.8 (EU1)
- Dirección IP destino: 194.210.1.150 (SA)

Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 45.

El datagrama IP se encapsula en una trama MAC. Como el tamaño del paquete a enviar (20+600) cabe sin ningún problema en una trama de la red Ethernet (MTU=1500), se puede enviar sin necesidad de fragmentar. Las direcciones MAC de dicha trama serán:

- Dirección MAC origen: MAC-EU1
- Dirección MAC destino: MAC-SA

Una vez creada la trama, se envía por la red Ethernet.



SA es el destinatario del datagrama a nivel IP, por lo tanto pasará los 600 bytes de datos al nivel de transporte correspondiente, para que éste a su vez se los pase al de aplicación.

**2. Petición del SA al SC → Paquete IP-2: 800 bytes datos + 20 bytes cabecera**

El SA crea un mensaje cuyo destinatario es SC (p.ej. 194.210.10.100). Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, SA crea un paquete IP (20+800) en el que:

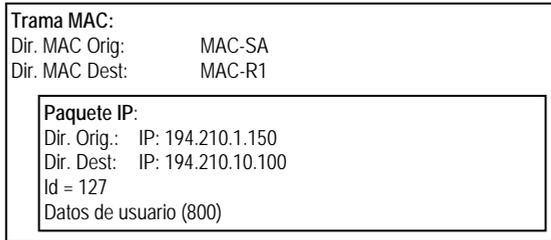
- Dirección IP origen: 194.210.1.150 (SA)
- Dirección IP destino: 194.210.10.100 (SC)

Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 127.

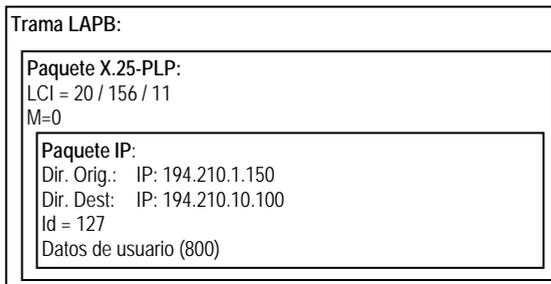
El datagrama IP se encapsula en una trama MAC. Como el tamaño del paquete a enviar (20+800) cabe sin ningún problema en una trama de la red Ethernet (MTU=1500), se puede enviar sin necesidad de fragmentar. Las direcciones MAC de dicha trama serán:

- Dirección MAC origen: MAC-SA
- Dirección MAC destino: MAC-R1

Una vez creada la trama, se envía por la red Ethernet.



El paquete IP llega a R1. Para encaminar el paquete hacia la red 194.210.10.0 tiene que ir a través de la red X.25, en concreto se lo tiene que enviar al equipo con el que tiene establecido el CV al que se le ha asignado el LCI=20 en el interfaz X.25-0 (R10). El tamaño máximo de los datos en los paquetes de datos de esa red X.25 es 1024, por lo que se puede enviar el paquete IP (20+800) encapsulado en un único paquete X.25-PLP, y éste a su vez en una trama LAPB.



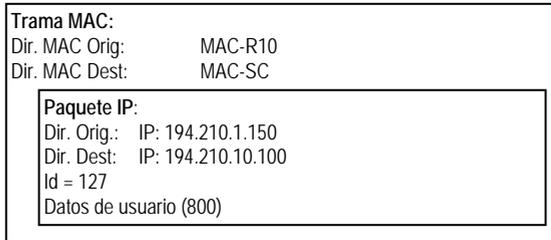
El paquete X.25-PLP se va conmutando por el CVP, tomando en cada salto los LCIs indicados en el paquete. Al llegar al R10, éste pasa el contenido del paquete X.25-PLP (el paquete IP) a su usuario (nivel IP).

El nivel IP de R10 analiza el paquete IP y descubre que él no es el destinatario del paquete, sino que lo tiene que reenviar encapsulado en una trama MAC por su interfaz Eth-0, donde ya se encuentra el destinatario (SC). Como el tamaño del paquete a enviar (20+800) cabe sin ningún problema en una trama de la red Ethernet (MTU=1500), se puede enviar sin necesidad de fragmentar. Las direcciones MAC de dicha trama serán:

- Dirección MAC origen: MAC-R10

- Dirección MAC destino: MAC-SC

Una vez creada la trama, se envía por la red Ethernet.



SC es el destinatario del datagrama a nivel IP, por lo tanto pasará los 800 bytes de datos al nivel de transporte correspondiente, para que éste a su vez se los pase al de aplicación.

### **3. Respuesta del SC al SA → Paquete IP-3: 2700 bytes datos + 20 bytes cabecera**

El SC crea un mensaje cuyo destinatario es SA. Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, SC crea un paquete IP (20+2700) en el que:

- Dirección IP origen: 194.210.10.100 (SC)
- Dirección IP destino: 194.210.1.150 (SA)

Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 73.

El SC debe encapsular el datagrama IP en una trama MAC cuyo destinatario es el R10:

- Dirección MAC origen: MAC-SC
- Dirección MAC destino: MAC-R10

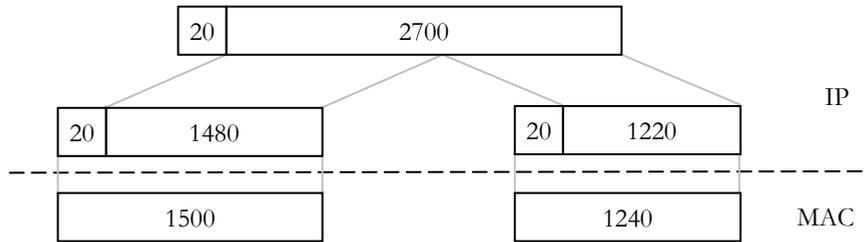
Sin embargo, la red Ethernet tiene una MTU (1500) que no permite enviar el paquete IP completo (20+2700) encapsulado en una única trama Ethernet, por lo tanto el nivel IP de SC tendrá que fragmentarlo:

$$\text{Paquete IP} = 20 + 2700 = 2720\text{bytes}$$

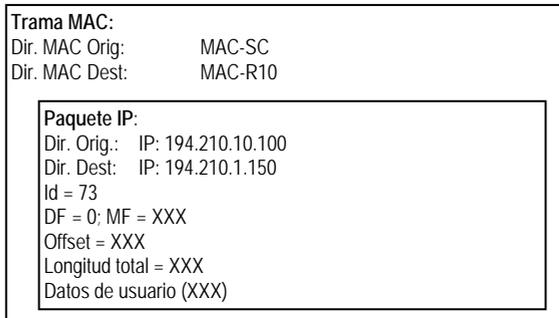
$$\text{Tamaño máximo de datos del fragmento} = (\text{MTU}_{\text{Eth}} - \text{Cab}_{\text{IP}})_8 = (1500 - 20)_8 = 1480$$

$$2700 / 1480 = 1,82 \rightarrow 2 \text{ fragmentos, de los cuales:}$$

- 1 fragmento: 20 + 1480, MF = 1
- 1 fragmento: 20 + 1220, MF = 0.



Es decir, los fragmentos IP que SC le envía a R10 tienen los siguientes campos en las cabeceras (los campos indicados como XXX toman valores diferentes en los 2 fragmentos, que se indican en la tabla siguiente):



	Longitud total (cab+datos)	MF	Desplaz fragmento
Fragmento IP 3.1	1500 (20+1480)	1	0
Fragmento IP 3.2	1240 (20+1220)	0	185 (1480/8)

Ambos paquetes IP llegan a R10. Para encaminarlos hacia la red 194.210.1.0 tiene que ir a través de la red X.25, en concreto se los tiene que enviar al equipo con el que tiene establecido el CV al que se le ha asignado el LCI=11 en el interfaz X.25-0 (R1).

Sin embargo, el tamaño máximo de los datos en los paquetes de datos de esa red X.25 es 1024, por lo que no es posible enviar ninguno de los dos datagramas IP completos encapsulados en un único paquete X.25. Por lo tanto el nivel X.25-PLP de R10 tendrá que fragmentarlos:

Paquete IP 3.1 = 20 + 1480 = 1500bytes

$1500 / 1024 = 1,46 \rightarrow 2$  fragmentos, de los cuales:

- 1 fragmento: 1024 bytes de datos, bit M = 1

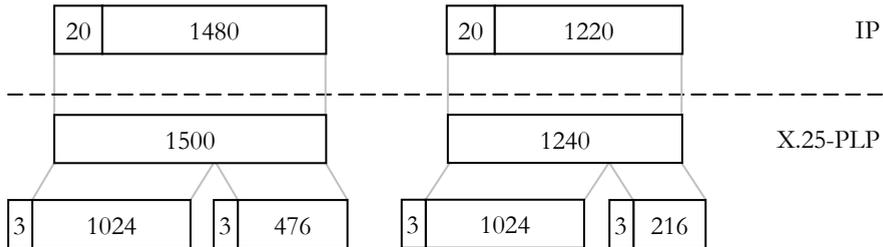
- 1 fragmento: 476 bytes de datos, bit M = 0.

Paquete IP 3.2 = 20 + 1220 = 1240bytes

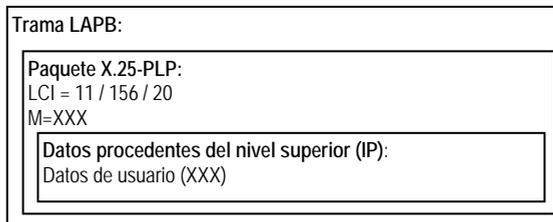
1240 / 1024 = 1,21 → 2 fragmentos, de los cuales:

- 1 fragmento: 1024 bytes de datos, bit M = 1

- 1 fragmento: 216 bytes de datos, bit M = 0.



Cada uno de estos paquetes de datos X.25-PLP se encapsula a su vez en una trama LAPB (I) para ser enviado por el enlace. Suponemos que el tamaño de la ventana de nivel de red permite enviar todos los paquetes de datos seguidos sin necesidad de esperar la confirmación de alguno de ellos.



Los 4 paquetes de datos X.25-PLP se van conmutando por el CVP, tomando en cada salto los LCIs indicados en el paquete. Los valores marcados como XXX toman valores diferentes en los distintos paquetes:

	Tamaño X25-PLP (cab+datos transportados)	M
Fragmento X.25 3.1.1	3+1024	1
Fragmento X.25 3.1.2	3+476	0
Fragmento X.25 3.2.1	3+1024	1
Fragmento X.25 3.2.2	3+216	0

Los paquetes llegan al R1, cuyo nivel X.25-PLP reensambla los fragmentos 3.1.1 y 3.1.2, y pasa los datos obtenidos tras el reensamblado (datagrama IP 3.1: 20+1480) a su usuario (nivel IP). Realiza la misma operación con los fragmentos 3.2.1 y 3.2.2, pasando al nivel IP el datagrama IP 3.2 (20+1220).

El nivel IP de R1 analiza ambos paquetes IP y descubre que él no es el destinatario, sino que los tiene que reenviar encapsulados en sendas tramas MAC por su interfaz Eth-0, donde ya se encuentra el destinatario (SA). Como el tamaño de cada uno de los 2 paquetes a enviar (20+1480, 20+1220) cabe sin ningún problema en una trama de la red Ethernet (MTU=1500), se pueden enviar sin necesidad de volver a fragmentar. Las direcciones MAC de dichas tramas serán:

- Dirección MAC origen: MAC-R1
- Dirección MAC destino: MAC-SA

Una vez creada cada una de las 2 tramas, se envía por la red Ethernet.

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	MAC-R1
Dir. MAC Dest:	MAC-SA
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 194.210.10.100
Dir. Dest:	IP: 194.210.1.150
Id =	73
DF = 0; MF =	XXX
Offset =	XXX
Longitud total =	XXX
Datos de usuario (XXX)	

	Longitud total (cab+datos)	MF	Desplaz fragmento
Fragmento IP 3.1	1500 (20+1480)	1	0
Fragmento IP 3.2	1240 (20+1220)	0	185 (1480/8)

SA es el destinatario de los 2 datagramas a nivel IP, por lo tanto el nivel IP los reensamblará, obteniendo los 2700 bytes de datos que pasará a su usuario (nivel de transporte), para que éste a su vez se los pase al de aplicación.

#### **4. Respuesta del SA a EU1 → Paquete IP-4: 4000 bytes datos + 20 bytes cabecera**

El SA crea un mensaje cuyo destinatario es EU1. Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, SA crea un paquete IP (20+4000) en el que:

- Dirección IP origen: 194.210.1.150 (SA)
- Dirección IP destino: 194.210.1.8 (EU1)

Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 78.

El SA debe encapsular el datagrama IP en una trama MAC cuyo destinatario es el EU1:

- Dirección MAC origen: MAC-SA
- Dirección MAC destino: MAC-EU1

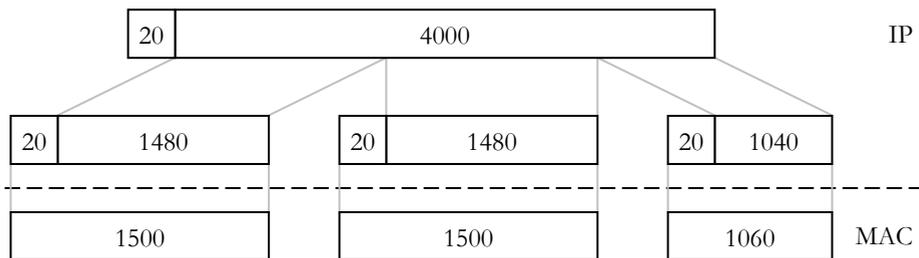
Sin embargo, la red Ethernet tiene una MTU (1500) que no permite enviar el paquete IP completo (20+4000) encapsulado en una única trama Ethernet, por lo tanto el nivel IP de SA tendrá que fragmentarlo:

$$\text{Paquete IP} = 20 + 4000 = 4020 \text{ bytes}$$

$$\text{Tamaño máximo de datos del fragmento} = (\text{MTU}_{\text{Eth}} - \text{Cab}_{\text{IP}})_8 = (1500 - 20)_8 = 1480$$

$4000 / 1480 = 2,72 \rightarrow 3$  fragmentos, de los cuales:

- 2 fragmentos: 20 + 1480, MF = 1
- 1 fragmento: 20 + 1040, MF = 0.



Es decir, los fragmentos IP que SA le envía a EU1 tienen los siguientes campos en las cabeceras (los valores indicados como XXX son diferentes en los 3 fragmentos, y se indican en la tabla siguiente):

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	MAC-SA
Dir. MAC Dest:	MAC-EU1
<b>Paquete IP:</b>	
Dir. Orig.:	IP: 194.210.1.150
Dir. Dest:	IP: 194.210.1.8
Id =	78
DF = 0; MF =	XXX
Offset =	XXX
Longitud total =	XXX
Datos de usuario	(XXX)

---

	Longitud total (cab+datos)	MF	Desplaz fragmento
Fragmento IP 4.1	1500 (20+1480)	1	0
Fragmento IP 4.2	1500 (20+1480)	1	185 (1480/8)
Fragmento IP 4.3	1060 (20+1040)	0	370 (185 + 1480/8)

Cuando EU1 haya recibido los 3 fragmentos IP, su nivel IP analiza la dirección IP destino y descubre que él es el destinatario del mensaje, por lo que los reensambla y pasa a los niveles superiores los datos resultantes, finalizando así la transferencia del mensaje.

## 10.

Las comunicaciones de una empresa se basan en IP. Dicha empresa está dividida geográficamente en 3 delegaciones:

- En una de ellas (A) hay dos departamentos, organizados en torno a sendos segmentos Ethernet conectados entre sí a través de un switch.
- En cada una de las otras dos (B y C) sólo hay un departamento, organizado en un segmento Ethernet.

Se pretende que cualquier equipo de la red de la empresa se pueda comunicar con cualquier otro equipo de la red, independientemente de su localización geográfica. También se desea que los equipos de la empresa puedan acceder a Internet.

Para ello, el ingeniero de diseño del departamento de comunicaciones de la empresa ha decidido conectar las delegaciones a una red pública de datos no orientada a la conexión (red IP: Internet), a la que accede a través de sendos routers en cada delegación mediante el servicio proporcionado por un ISP (Internet Service Provider).

El ISP dispone de instalaciones en las 3 ciudades. En cada una de ellas, el equipamiento está organizado en un segmento Ethernet. La comunicación entre las distintas instalaciones (ciudades) se basa en la conexión entre pares de routers mediante líneas punto a punto. La conexión del ISP a Internet se basa en la conexión de routers del ISP con routers de Internet mediante líneas punto a punto.

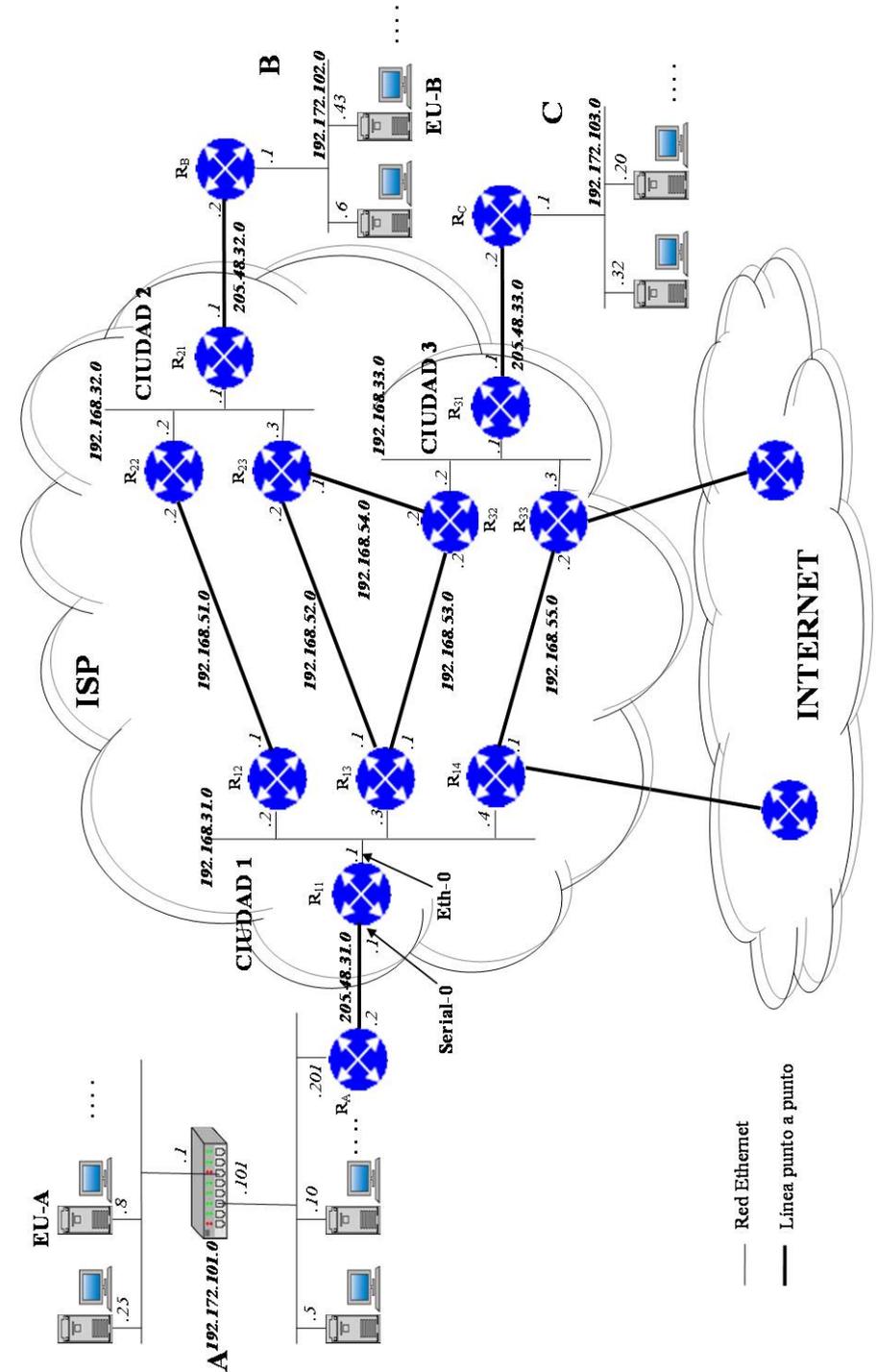
En la figura adjunta se muestra la arquitectura de la red diseñada, tanto en las delegaciones de la empresa cliente como en las instalaciones del ISP.

Para el escenario planteado, se solicita...

- a) Indicar si la solución propuesta en la figura permite resolver el problema de comunicación planteado (SI/NO).

Justificar la respuesta, explicando por qué es o no es adecuada cada una de las decisiones tomadas por el ingeniero de la empresa: arquitectura de red, equipamiento utilizado, tipo de red con la que se contrata el servicio, plan de direccionamiento utilizado...

Si se considera que la solución propuesta no cumple los requisitos planteados, hacer una propuesta alternativa, justificándola.



Con la solución propuesta se resuelve correctamente el problema planteado en el ejercicio (a pesar de que hay un error en el direccionamiento IP).

- Conexión a través de una red pública de datos OK, porque el coste es menor que si tuviera líneas alquiladas: desde cada oficina, a través de un único enlace, se pueden alcanzar diferentes destinos (oficinas de la empresa, salida a Internet). Además, proporciona una mayor flexibilidad para adaptarse a futuros crecimientos.

Es muy adecuado elegir una red basada en IP (Internet) para la interconexión, ya que el enunciado dice que las comunicaciones están basadas en IP, y además es el tipo de red pública de datos más presente hoy en día.

- Redes Ethernet en las oficinas OK. Se supone que son las redes de las que ya disponía la empresa para comunicar los distintos equipos locales de cada una de las oficinas entre ellos, antes de querer interconectar todas las oficinas entre sí.
  - Routers OK, para interconectar diferentes redes IP (interconexión a nivel de red). Como las diferentes subredes tienen asignadas diferentes clases de direcciones IP, es necesario disponer de un equipo con capacidad de encaminamiento entre redes, es decir, un router.
  - Switch OK, para interconectar los 2 segmentos de la oficina central. De esta forma es posible la comunicación entre todos los dispositivos de la oficina central a nivel de enlace, consiguiendo al mismo tiempo confinar dentro de su segmento las tramas intercambiadas entre dos estaciones del mismo segmento. Esto permite disminuir el tráfico global en la red y proporcionar un cierto grado de privacidad a esas comunicaciones de una forma sencilla.
  - Plan de direccionamiento IP:
    - Asignación de clases C a cada subred: OK, suponiendo que con dichas clases tengo suficiente capacidad de direccionamiento para todos los equipos de las mismas.
    - Los segmentos conectados a los diferentes puertos del switch pertenecen a la misma red IP: OK. Un switch no hace una división lógica de las redes a nivel IP, ni tiene capacidad de encaminamiento.
    - El switch no necesita direcciones IP en cada uno de sus puertos. La interconexión la realiza a nivel de enlace, no a nivel de red.
- MAL**

- b) Indicar si la tabla de encaminamiento del  $R_{11}$  del ISP que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.

Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	205.48.31.2	Serial-0
192.172.102.0	192.168.31.3	Eth-0
192.172.103.0	192.168.31.3	Eth-0
0.0.0.0	192.168.31.4	Eth-0

En la tabla de encaminamiento hay que indicar cuál es el siguiente nodo a quien hay que entregarle el paquete para que llegue a su destino (siguiente salto), y por cuál de los interfaces propios se llega a ese siguiente salto (enlace). Para el caso del  $R_{11}$ , la tabla que aparece es **correcta**, ya que los caminos indicados permiten llegar a los destinos indicados:

- Equipos de la red A (192.172.101.0): se llega a ellos a través del  $R_A$ , que tiene la dirección IP **205.48.31.2**. La conexión a este router se realiza a través del interfaz físico **Serial-0**.
  - Equipos de la red B (192.172.102.0): es posible llegar a ellos a través del  $R_{13}$ . Para poder enviar el paquete al  $R_{13}$ , el  $R_{11}$  se lo enviará en una trama por la red Ethernet a la que ambos están conectados, por lo tanto  $R_{11}$  lo enviará por su interfaz **Eth-0**. Pero para poder enviarle la trama al  $R_{13}$ , tiene que ser capaz de obtener su dirección MAC, y para ello necesitará hacer una consulta ARP preguntando por la dirección física del router en esa red, para lo cual necesita conocer la dirección IP de  $R_{13}$  en ese interfaz, es decir **192.168.31.3**.
  - Equipos de la red C (192.172.103.0): es posible llegar a ellos a través del  $R_{13}$ . Es la misma situación que en el caso anterior: interfaz **Eth-0**, siguiente salto  $R_{13}$  (**192.168.31.3**).
  - Resto de equipos de Internet (0.0.0.0): es posible llegar a ellos a través del  $R_{14}$ . Es la misma situación que en el caso anterior, ya que el  $R_{14}$  está conectado a la misma red Ethernet: interfaz **Eth-0**, siguiente salto  $R_{14}$  (**192.168.31.4**).
- c) Indicar si la tabla de encaminamiento del  $R_{11}$  del ISP que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.  
Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.

**NOTA:** En la tabla de encaminamiento se muestran en **negrita** las diferencias con la tabla del apartado anterior.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	205.48.31.2	Serial-0
192.172.102.0	<b>192.168.31.2</b>	Eth-0
192.172.103.0	<b>192.168.31.4</b>	Eth-0
0.0.0.0	192.168.31.4	Eth-0

La tabla que aparece también es **correcta**, ya que los caminos indicados permiten llegar a los destinos indicados: También se puede llegar a la red B a través del R<sub>12</sub>, (en vez del R<sub>13</sub>); y a la red C a través del R<sub>14</sub> (en vez del R<sub>13</sub>).

- d) ¿Es posible que la tabla de encaminamiento del R<sub>11</sub> del ISP sea distinta en diferentes instantes de tiempo? (SI/NO). Justifica tu respuesta de forma concisa.

Adicionalmente...

...si tu respuesta es positiva, contesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué motivos pueden ocasionar que haya modificaciones en la tabla de encaminamiento?
- ¿Qué mecanismos se utilizan para realizar esas modificaciones en la tabla de encaminamiento?
- ¿Qué característica principal debe darse en la topología de la red para poder aplicar esos mecanismos?

...si tu respuesta es negativa, contesta a las siguientes preguntas:

- Si existen caminos redundantes para llegar a un destino, ¿qué criterio se utiliza para seleccionar cuál de ellos debe indicarse en la tabla de encaminamiento?
- ¿Qué sucede si la ruta indicada en la tabla de encaminamiento para llegar a un destino dado deja de estar disponible (y existe una ruta alternativa disponible)?.
- ¿Qué ventaja supone el hecho de que exista redundancia de caminos frente a una situación en la que no existiera dicha redundancia?

**NOTA:** Responde a las cuestiones de este apartado:

- Primero de forma genérica (~teórica)
- A continuación de forma práctica, utilizando el esquema de red propuesto para poner ejemplos explicativos de la respuesta genérica que has dado.

Como se deduce de las respuestas de los apartados b) y c), **sí** es posible que la tabla de encaminamiento del R<sub>11</sub> sea distinta en diferentes instantes de tiempo. En las redes con encaminamiento dinámico o adaptativo, existen mecanismos para modificar las tablas de encaminamiento de los routers de forma que se adapten dinámicamente a los cambios en las condiciones de la red. De esta forma, estas tablas reflejarán en todo momento el camino óptimo (según una cierta métrica) para llegar a los diferentes destinos, independientemente de que las condiciones de la red vayan cambiando en el tiempo.

d.1.- Los eventos que pueden provocar modificaciones en las tablas de encaminamiento de los routers de una red IP son todos aquellos que ocasionen modificaciones en el camino óptimo para llegar a un destino. Por ejemplo: la caída de un enlace entre 2 routers (o la recuperación del mismo), el fallo de un equipo de la red (o la recuperación del mismo), una situación de congestión en un punto determinado de la red (o la recuperación de dicha situación), una modificación de la capacidad de un enlace...

d.2.- Para poder mantener actualizadas las tablas de encaminamiento, de forma que reflejen los caminos óptimos, los routers deben poder intercambiar con sus vecinos información de encaminamiento mediante protocolos de encaminamiento. Los mensajes intercambiados con este fin pueden ser:

- Mensajes de actualización de encaminamiento – un router envía a otro su tabla de encaminamiento (entera o sólo una parte). Analizando los mensajes de Actualización de Encaminamiento de otros routers, un router puede construir una imagen detallada de la topología de la red
- Información de estado de enlace – un router informa a otros routers del estado de sus enlaces.
- ...

Existe una clasificación de los protocolos de encaminamiento en función de su uso dentro de un Sistema Autónomo o entre diferentes Sistemas Autónomos (un Sistema Autónomo está formado por un conjunto de redes con la misma política de encaminamiento y normalmente bajo el control administrativo de una entidad única). Los siguientes son ejemplos de ambos tipos de protocolos:

- Protocolo de pasarela interior (IGP), dentro de un Sistema Autónomo: RIP –Routing Information Protocol–, OSPF –Open Shortest Path First–.
- Protocolo de pasarela exterior (EGP), entre Sistemas Autónomos. El más utilizado: BGP (Border Gateway Protocol).

d.3.- Sólo tiene sentido el uso de algoritmos de encaminamiento dinámicos en redes en las que existe más de un posible camino para llegar a un mismo destino (si sólo existe una posible ruta, es más lógico utilizar encaminamiento estático). Por lo tanto, el requisito necesario es que la topología de la red presente redundancia de caminos.

d.4.- En el esquema de red propuesto, la tabla de encaminamiento del R11 podría ser inicialmente la indicada en el apartado b). Pero si sucede un fallo que deja fuera de servicio el R13, ya no serían válidas las rutas indicadas en la tabla de encaminamiento del R11 para llegar a las redes B y C, ya que pasan por el router que está en fallo.

Suponiendo que los routers del ISP hablen entre sí un protocolo de encaminamiento dinámico de pasarela interna (p.ej. OSPF), cuando cae el R<sub>13</sub> el resto de routers empezarán a intercambiarse mensajes OSPF, y al cabo de un cierto tiempo las tablas de encaminamiento se habrán modificado, adaptándose a la nueva situación de la red. La situación final de la tabla de encaminamiento del R<sub>11</sub> podría ser la del apartado c), que permite llegar a las redes B y C evitando el R<sub>13</sub>.

e) **Indicar si la tabla de encaminamiento del equipo de usuario A (EU-A) que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.**

**Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.**

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	Directa	Eth-0
0.0.0.0	192.172.101.1	Eth-0

La tabla de encaminamiento de EU-A es **incorrecta**:

- Los equipos de su propia red (192.172.101.0): están en la propia red y por lo tanto se les envía **directamente** a través del único interfaz físico que tiene EU-A, **Eth-0**, que pertenece a la misma red donde se encuentra el equipo destino.
- Resto de redes (0.0.0.0): hay que ir a través del router R<sub>A</sub>. Para poder enviar el paquete al R<sub>A</sub>, EU-A se lo enviará en una trama por la red Ethernet a la que ambos están conectados, por lo tanto EU-A lo enviará por su interfaz **Eth-0** (el único que tiene, por otro lado). Pero para poder enviarle la trama al R<sub>A</sub>, tiene que ser capaz de obtener su dirección MAC, y para ello necesitará hacer una consulta ARP preguntando por la dirección física del router en esa red, para lo cual necesita conocer la dirección IP de **R<sub>A</sub>** en ese interfaz, es decir **192.178.101.201**.

Es incorrecto poner que el siguiente salto para llegar al resto de redes es el switch, porque la presencia del switch es transparente para el nivel IP. El switch no hace reencaminamiento a nivel IP, sino reenvío a nivel MAC. Además, como se ha indicado en el apartado a), los puertos del switch no tienen asignadas direcciones IP y por lo tanto no tiene sentido suponer que se le puede enviar una consulta ARP para obtener

su dirección MAC, que por otro lado no es necesario conocer porque el destino de la trama a nivel MAC es el propio  $R_A$ .

Por lo tanto, la tabla de encaminamiento sería así:

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	Directa	Eth-0
0.0.0.0	<b>192.172.101.201</b>	Eth-0

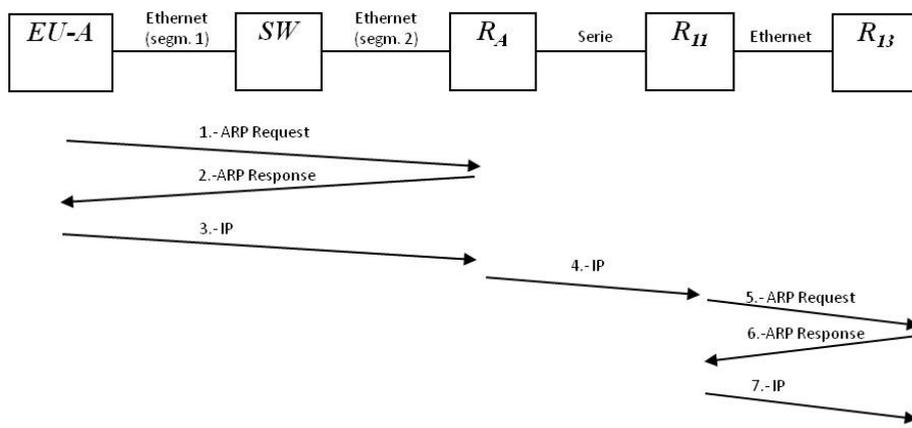
- f) Un usuario en EU-A manda un mensaje a otro usuario en EU-B. Indicar la secuencia de acontecimientos sucedidos en la red para que el mensaje llegue desde el nivel IP de EU-A hasta el nivel IP del  $R_{II}$  (no es necesaria la explicación de la parte final del trayecto, desde el  $R_{II}$  hasta EU-B).

Explicar las decisiones que se toman en cada uno de los equipos por los que va pasando el paquete, indicando las entradas de las tablas internas de dichos nodos utilizadas para tomar dichas decisiones.

Indicar el contenido de los campos de direccionamiento de las tramas y paquetes intercambiados en los diferentes tramos de la parte del camino indicada (hasta que el  $R_{II}$  lo encamina hacia el siguiente salto).

En la figura siguiente se muestra la secuencia de paquetes transmitidos en los diferentes enlaces por los que pasan desde EU-A hasta  $R_{II}$ : EU-A - Switch -  $R_A$  -  $R_{II}$ ...

A continuación se explican las decisiones tomadas en cada equipo por los que van pasando, y se muestra el contenido de los principales campos, tanto a nivel de red como de enlace, especialmente aquellos relacionados con el direccionamiento.



Si nos fijamos en lo que sucede en el nivel de red e inferiores, EU-A crea un paquete IP en el que:

- Dirección IP origen: 192.172.101.8 (EU-A)
- Dirección IP destino: 192.172.102.43 (EU-B)

Esta información del paquete a nivel IP no cambia en todo el recorrido que sigue el paquete. Vamos a suponer además que el campo Id del paquete creado tiene el valor 45, que también se mantiene a lo largo de todo el camino.

El nivel IP de EU-A consulta su tabla de encaminamiento, y encuentra que la única entrada con la que se corresponde esta dirección destino es la entrada por defecto (0.0.0.0) que le indica que el siguiente salto para dicho datagrama es el equipo con dirección IP 192.172.101.201 (R<sub>A</sub>), al que llega a través del interfaz Eth-0.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	Directa	Eth-0
0.0.0.0	192.172.101.201	Eth-0

Se pasa el datagrama IP al controlador Ethernet del interfaz identificado como Eth-0 (el único existente en EU-A), que deberá encapsular ese datagrama en una trama MAC (se supone encapsulado IP/MAC). Para rellenar la dirección MAC destino de dicha trama (la correspondiente al interfaz cuya dirección IP es 192.172.101.201), se consulta la tabla ARP de EU-A, que el enunciado dice que inicialmente está vacía.

Por lo tanto, para obtener dicha dirección MAC, **EU-A** tendrá que enviar un paquete **ARP Request**, con los siguientes campos:

- Dir. IP-orig: 192.172.101.8 (EU-A)      Dir. MAC-orig: MAC-EU-A
- Dir. IP-dest: 192.172.101.201 (R<sub>A</sub>)      Dir. MAC-dest: ????

Este paquete se envía como una trama broadcast por el segmento Eth en el que se encuentra EU-A.

1.-

Trama MAC:							
Dir. MAC Orig:	MAC-EU-A						
Dir. MAC Dest:	FF:FF:FF:FF:FF:FF						
<table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td colspan="2">Paquete ARP Request:</td> </tr> <tr> <td>Dir. Orig: IP: 192.172.101.8</td> <td>MAC: MAC-EU-A</td> </tr> <tr> <td>Dir. Dest.: IP: 192.172.101.201</td> <td>MAC: ¿???</td> </tr> </table>		Paquete ARP Request:		Dir. Orig: IP: 192.172.101.8	MAC: MAC-EU-A	Dir. Dest.: IP: 192.172.101.201	MAC: ¿???
Paquete ARP Request:							
Dir. Orig: IP: 192.172.101.8	MAC: MAC-EU-A						
Dir. Dest.: IP: 192.172.101.201	MAC: ¿???						

Como es una trama broadcast, todos los equipos conectados a dicho segmento (Segm 1) la analizan, pero ninguno de los equipos finales de ese segmento identifica la dirección IP destino del paquete ARP como propia. Sin embargo, por ser una trama de broadcast, el switch la repite en todos sus puertos excepto aquel por el que le ha llegado, por lo tanto se retransmite por el 2º segmento Ethernet y la reciben y analizan todos los equipos conectados a dicho segmento. Pero sólo uno de ellos ( $R_A$ ) identifica la dirección IP destino del paquete ARP como propia, y por lo tanto será él quien responda con un paquete ARP Response.

Además, la información recibida en el paquete ARP Request le permite a  $R_A$  aprender el mapeo dirección IP – dirección MAC de EU-A. El enunciado dice que la tabla ARP de  $R_A$  inicialmente estaba vacía, así que tras aprender la dirección de EU-A, dicha tabla quedará así:

Dir. IP	Dir MAC
192.172.101.8	MAC - EU-A

A su vez el switch ha aprendido en qué segmento se encuentra el equipo EU-A, y lo refleja en su base de datos de filtrado, o tabla de reenvío: el equipo que tiene como dirección MAC la que se indica como dirección origen de la trama que le ha llegado por el puerto 1 (el conectado al Segmento 1), es accesible a través de dicho puerto:

Dirección destino	Puerto de salida	Tiempo de vida
MAC-EU-A	1 (Segmento 1)	XXX
...	...	...

Por lo tanto,  $R_A$  genera el paquete **ARP Response** con los siguientes campos:

Dir. IP-orig: 192.172.101.201 ( $R_A$ )

Dir. MAC-orig: MAC-  $R_A$

Dir. IP-dest: 192.172.101.8 (EU-A)

Dir. MAC-dest: MAC-EU-A

Este paquete lo envía el  $R_A$  por el Segmento al que está conectado como una trama cuyo destinatario a nivel MAC es EU-A (no es un broadcast).

2.-

Trama MAC:							
Dir. MAC Orig:	MAC- $R_A$						
Dir. MAC Dest:	MAC-EU-A						
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Paquete ARP Response:</td> </tr> <tr> <td>Dir. Orig.: IP: 192.172.101.201</td> <td>MAC: MAC- <math>R_A</math></td> </tr> <tr> <td>Dir. Dest: IP: 192.172.101.8</td> <td>MAC: MAC-EU-A</td> </tr> </table>		Paquete ARP Response:		Dir. Orig.: IP: 192.172.101.201	MAC: MAC- $R_A$	Dir. Dest: IP: 192.172.101.8	MAC: MAC-EU-A
Paquete ARP Response:							
Dir. Orig.: IP: 192.172.101.201	MAC: MAC- $R_A$						
Dir. Dest: IP: 192.172.101.8	MAC: MAC-EU-A						

Esta trama la escuchan todos los equipos conectados a dicho segmento. Pero ninguno de los equipos de ese segmento identifica la dirección MAC destino de la trama como propia.

Sin embargo, el switch se da cuenta de que está recibiendo por el puerto 2 (el que está conectado al Segm. 2) una trama cuyo destinatario está situado en el Segm. 1 (según lo recién aprendido), y por lo tanto debe retransmitir dicha trama por el puerto 1 (el conectado al Segm. 1). Todos los equipos conectados al Segm. 1 escuchan la trama, pero sólo EU-A identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el paquete ARP Response a su entidad ARP, gracias a lo cual aprende el mapeo dirección IP – Dirección MAC del R<sub>A</sub>. Con esta información, EU-A rellena su tabla ARP, que quedará de la siguiente manera:

Dir. IP	Dir MAC
192.172.101.201	MAC-R <sub>A</sub>

A su vez el switch ha aprendido en qué segmento se encuentra el R<sub>A</sub>, y lo refleja en su base de datos de filtrado, o tabla de reenvío: el equipo que tiene como dirección MAC la que se indica como dirección origen de la trama que le ha llegado por el puerto 2 (el conectado al Segmento 2), es accesible a través de dicho puerto:

Dirección destino	Puerto de salida	Tiempo de vida
MAC-EU-A	1 (Segmento 1)	XXX
MAC-R <sub>A</sub>	2 (Segmento 2)	YYY
...	...	...

Una vez que **EU-A** conoce la dirección MAC correspondiente a 192.172.101.201 (R<sub>A</sub>), ya puede encapsular en una trama MAC la información que le llegaba de los niveles superiores (el **paquete IP**). Las direcciones MAC de dicha trama serán:

- Dirección MAC origen: MAC-EU-A
- Dirección MAC destino: MAC- R<sub>A</sub>

3.-

Trama MAC:											
Dir. MAC Orig:	MAC-EU-A										
Dir. MAC Dest:	MAC-R <sub>A</sub>										
<table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td colspan="2">Paquete IP:</td> </tr> <tr> <td>Dir. Orig.:</td> <td>IP: 192.172.101.8</td> </tr> <tr> <td>Dir. Dest:</td> <td>IP: 192.172.102.43</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Id = 45</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Datos de usuario</td> </tr> </table>		Paquete IP:		Dir. Orig.:	IP: 192.172.101.8	Dir. Dest:	IP: 192.172.102.43	Id = 45		Datos de usuario	
Paquete IP:											
Dir. Orig.:	IP: 192.172.101.8										
Dir. Dest:	IP: 192.172.102.43										
Id = 45											
Datos de usuario											

Una vez creada la trama, la envía por el su interfaz Eth-0 que está conectado al Segm. 1. Todos los equipos conectados a dicho segmento ven la trama, pero ninguno de los equipos finales de ese segmento identifica la dirección MAC destino como propia.

Sin embargo, el switch se da cuenta de que está recibiendo por el puerto 1 una trama cuyo destinatario está situado en el Segm. 2 (según lo recién aprendido), y por lo tanto debe retransmitir dicha trama por el puerto 2. Todos los equipos conectados a dicho segmento ven la trama, pero sólo  $R_A$  identifica la dirección MAC destino como propia, y por lo tanto su tarjeta de red la captura, la examina y transfiere el datagrama IP a su entidad IP, que descubre que no está destinado a este mismo equipo, sino que tiene que ser reencaminado.

El nivel IP de  $R_A$  consulta su tabla de encaminamiento, y encuentra que la única entrada con la que se corresponde esta dirección destino es la entrada por defecto (0.0.0.0) que le indica que el siguiente salto para dicho datagrama es el equipo con dirección IP 205.48.31.1 ( $R_{11}$ ), al que llega a través del interfaz Serial-0.

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	Directa	Eth-0
0.0.0.0	205.48.31.1	Serial-0

$R_A$  pasa el **datagrama IP** al controlador del interfaz identificado como Serial-0, que deberá encapsular ese datagrama en una trama del protocolo de nivel de enlace de ese interfaz (p.ej. LAPB, PPP...)

*¡OJO!*  $R_A$  y  $R_{11}$  están conectados entre sí mediante una línea punto a punto, no mediante una LAN. Por lo tanto, no tiene sentido hablar de nivel MAC, ni de protocolo ARP. Cuando se envía una trama en el enlace, no hay ninguna ambigüedad con respecto a quién es el destinatario (el único que está al otro extremo del enlace).

4.-

<p><b>Trama LAPB/PPP/...:</b> Campos en función de qué protocolo sea en concreto</p> <table border="1"> <tr> <td> <p><b>Paquete IP:</b> Dir. Orig.: IP: 192.172.101.8 Dir. Dest: IP: 192.172.102.43 Id = 45 Datos de usuario</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Paquete IP:</b> Dir. Orig.: IP: 192.172.101.8 Dir. Dest: IP: 192.172.102.43 Id = 45 Datos de usuario</p>
<p><b>Paquete IP:</b> Dir. Orig.: IP: 192.172.101.8 Dir. Dest: IP: 192.172.102.43 Id = 45 Datos de usuario</p>	

$R_{11}$  recibe la trama, desencapsula el datagrama IP y se lo transfiere a su entidad IP, quien descubre que no está destinado a él mismo, sino que tiene que ser reencaminado. Para saber cómo encaminarlo, consulta su tabla de encaminamiento IP, que vamos a suponer que en ese momento tiene el contenido mostrado en el apartado b).

Destino	Siguiente salto	Enlace
192.172.101.0	205.48.31.2	Serial-0
192.172.102.0	192.168.31.3	Eth-0
192.172.103.0	192.168.31.3	Eth-0
0.0.0.0	192.168.31.4	Eth-0

Por lo tanto, para llegar a 192.172.102.0 el siguiente salto es el equipo con dirección IP 192.168.31.3 (R<sub>13</sub>), al que llega a través del interfaz Eth-0. R<sub>11</sub> pasa el datagrama IP al controlador Ethernet del interfaz identificado como Eth-0, que deberá encapsular ese datagrama en una trama MAC. Para rellenar la dirección MAC destino de dicha trama (la correspondiente al interfaz cuya dirección IP es 192.168.31.3) R<sub>11</sub> consulta su tabla ARP, que no contiene esa información.

Por lo tanto, para obtener dicha dirección MAC, **R<sub>11</sub>** tendrá que enviar un paquete **ARP Request** en la red Ethernet de la Ciudad 1 del ISP, con los siguientes campos:

Dir. IP-orig: 192.168.31.1 (R<sub>11</sub>)

Dir. MAC-orig: MAC-R<sub>11</sub>

Dir. IP-dest: 192.168.31.3 (R<sub>13</sub>)

Dir. MAC-dest: ????

Este paquete se envía como una trama broadcast por la red Ethernet en la que se encuentran ambos routers.

5.-

<b>Trama MAC:</b>	
Dir. MAC Orig:	MAC- R <sub>11</sub>
Dir. MAC Dest:	FF:FF:FF:FF:FF:FF
<b>Paquete ARP Request:</b>	
Dir. Orig: IP: 192.168.31.1	MAC: MAC-R <sub>11</sub>
Dir. Dest.: IP: 192.168.31.3	MAC: ¿???

Como es una trama broadcast, todos los equipos conectados a dicha red la analizan y pasan su contenido al nivel ARP, pero sólo uno de ellos (R<sub>13</sub>) identifica la dirección IP destino del paquete ARP como propia, y por lo tanto responderá con un paquete ARP Response.

Además, la información recibida en el paquete ARP Request le permite a R<sub>13</sub> aprender el mapeo dirección IP – dirección MAC de R<sub>11</sub>. El enunciado dice que la tabla ARP de R<sub>11</sub> inicialmente estaba vacía, así que tras aprender la dirección de R<sub>11</sub>, dicha tabla quedará así:

Dir. IP	Dir MAC
192.168.31.1	MAC – R <sub>11</sub>

Por lo tanto, **R<sub>13</sub>** genera el paquete **ARP Response** con los siguientes campos:

Dir. IP-orig: 192.168.31.3 (R<sub>13</sub>)                      Dir. MAC-orig: MAC-R<sub>13</sub>

Dir. IP-dest: 192.168.31.1 (R<sub>11</sub>)                      Dir. MAC-dest: MAC-R<sub>11</sub>

Este paquete se envía como una trama cuyo destinatario a nivel MAC es R<sub>11</sub> (no es un broadcast):

6.-

Trama MAC:	
Dir. MAC Orig:	MAC- R <sub>13</sub>
Dir. MAC Dest:	MAC- R <sub>11</sub>
Paquete ARP Response:	
Dir. Orig.: IP: 192.168.31.3	MAC: MAC-R <sub>13</sub>
Dir. Dest: IP: 192.168.31.1	MAC: MAC-R <sub>11</sub>

Una vez que R<sub>11</sub> conoce la dirección MAC correspondiente a 192.168.31.3 (R<sub>13</sub>), ya puede completar con esta información su tabla ARP:

Dir. IP	Dir MAC
192.168.31.3	MAC – R <sub>13</sub>

**R<sub>11</sub>** puede ya encapsular el **datagrama IP** en una trama MAC con direcciones MAC:

- Dirección MAC origen:    MAC- R<sub>11</sub>

- Dirección MAC destino:    MAC- R<sub>13</sub>

Una vez creada la trama, se difunde por la red Ethernet:

7.-

Trama MAC:	
Dir. MAC Orig:	MAC- R <sub>11</sub>
Dir. MAC Dest:	MAC- R <sub>13</sub>
Paquete IP:	
Dir. Orig.: IP: 192.172.101.8	
Dir. Dest: IP: 192.172.102.43	
Id = 45	
Datos de usuario	

El proceso continúa a través de los diferentes routers, hasta llegar a EU-B.

**g) Suponiendo que el paquete IP del apartado anterior ocupa 1753 bytes (incluyendo tanto los datos como la cabecera sin campos opcionales), y que la MTU de la red Ethernet a la que está conectado el R<sub>A</sub> son 1500 bytes, indicar en qué equipos y en qué nivel se realizaría la fragmentación y el reensamblado, en caso de ser necesario.**

**Considerar sólo el trayecto hasta que la información sale del R<sub>A</sub>.**

El nivel IP de EU-A fragmenta el paquete en 2 fragmentos, que no se reensamblarán hasta llegar al destino (en el nivel IP de EU-B).

Se ha supuesto que la MTU del enlace punto a punto existente entre  $R_A$  y  $R_{11}$  permite el envío de cada uno de estos 2 fragmentos, sin necesidad de volver a fragmentarlos.

*NOTA:* El switch es un dispositivo de interconexión a nivel de enlace, así que maneja tramas, no paquetes. Por lo tanto no tiene capacidad de fragmentar a nivel IP (para ello tendría que ser capaz, entre otras cosas, de interpretar y modificar las cabeceras de los paquetes IP). Así que, cuando el enunciado da como dato la MTU de la red Ethernet a la que está conectado  $R_A$ , no se refiere solamente al segmento al que está conectado, sino a toda la red Ethernet: a todos los segmentos interconectados entre sí a través del switch.

**h) Indicar si la tabla ARP que se muestra a continuación se corresponde con la de EU-A después de la transferencia de información descrita. Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta.**

**Si se considera que es incorrecta, indicar cuál sería el contenido correcto de la misma, justificando la modificación.**

Dir. IP	Dir MAC
192.172.101.1	MAC - Switch
192.172.101.201	MAC- $R_A$
192.172.102.43	MAC - EU-B

Para conocer el contenido de la tabla ARP de UE-A tras finalizar la transferencia del mensaje, hay que tener en cuenta que:

- Cuando una estación envía un paquete ARP Request, todas las estaciones que se encuentran en la misma red pueden aprender la correspondencia entre su dirección IP y su dirección MAC, ya que todas son destinatarias de esa trama (broadcast).
- Cuando una estación envía un paquete ARP Response, la estación destinataria de dicha respuesta aprende la correspondencia entre su dirección IP y su dirección MAC.
- La consulta ARP Request de UE-A va dirigida al equipo que es el siguiente salto IP en la ruta hacia UE-B. Este equipo no es ni el switch (transparente para IP), ni el EU-B, que se encuentra en otra red LAN diferente de la de UE-A, y por lo tanto no tendría ninguna utilidad intentar aprender su dirección MAC. El siguiente salto es el  $R_A$ , objetivo de la consulta ARP y generador de la respuesta ARP.

Así que, como ya se había adelantado en el apartado f), el contenido de la tabla ARP de EU-A es:

Dir. IP	Dir MAC
<del>192.172.101.1</del>	<del>MAC-Switch</del>
192.172.101.201	MAC-R <sub>A</sub>
<del>192.172.102.43</del>	<del>MAC-EU B</del>

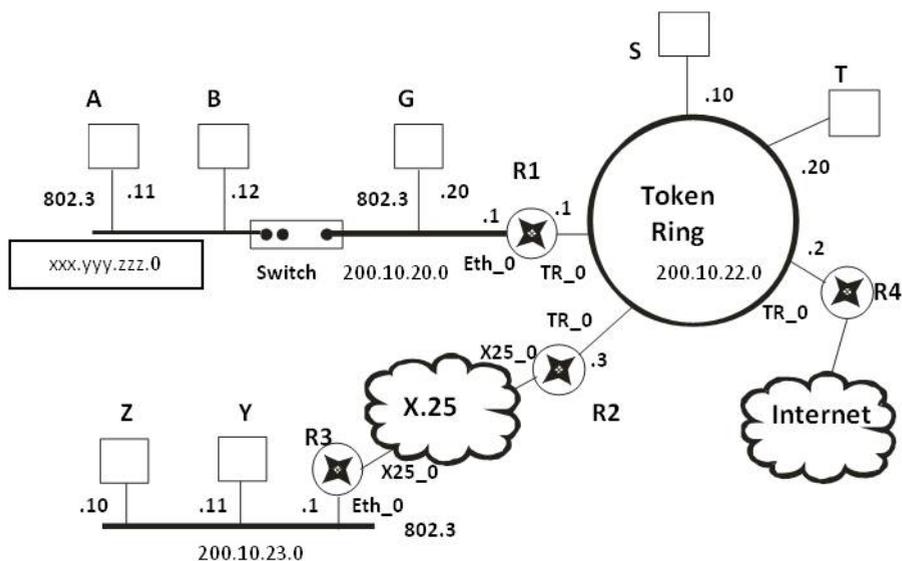
Considerar que:

- ✎ Antes de realizarse el intercambio de mensajes indicado, las tablas ARP de todos los equipos están vacías.

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

# 11.

En una empresa se tiene el siguiente esquema de red con segmentos Ethernet y Token Ring, en los que se realiza comunicación TCP/IP, conectados con una sede remota mediante una red de área extensa X25.



Sobre ese esquema de red, responder a las siguientes preguntas:

- a) Dar una numeración lógica a la red situada a la izquierda del switch y representada como xxx.yyy.zzz.0. Justificar la respuesta.

200.10.20.0, ya que un switch es un sistema de interconexión de nivel 2 y no realiza una separación lógica en diferentes redes IP (para separar los segmentos a la derecha e izquierda del switch en redes IP diferentes necesitaría un dispositivo de interconexión de nivel 3, un router).

NOTA: No es estrictamente imposible asignar a los equipos en el segmento de la izquierda del switch direcciones pertenecientes a una red IP diferente de la 200.10.20.0. Pero eso no haría que se filtrara el tráfico en base a la dirección IP, sino que se seguiría filtrando en base a las direcciones MAC. En ese caso:

- Para el R1, las redes 200.10.20.0 y 200.10.21.0 (por ejemplo) estarían accesibles directamente a través de su interfaz Eth\_0, que debería tener asignadas 2 direcciones, una perteneciente a cada una de las 2 redes (p.ej. 200.10.20.1, 200.10.21.1).

- Las tablas de encaminamiento de los equipos finales seguirían indicando que a los equipos pertenecientes a su misma red se llega directamente, y al resto a través del router de salida de dicha red.
- Por lo tanto, un paquete IP con dirección IP origen la de A y destino la de G se enviaría en 2 saltos: de A a R1, y de R1 a G.
- A pesar de que no es posible enviar tráfico directamente de equipos de un segmento a equipos del otro (sino que tiene que ir a través del router), cualquier paquete ARP se difundiría en los 2 segmentos, independientemente de la dirección IP del destinatario. Lo mismo sucedería con cualquier otra trama broadcast.

Por lo tanto, esta forma de asignar direcciones no aporta ninguna ventaja y genera confusión, por lo que debería evitarse.

**b) Indicar si la tabla de encaminamiento del Router R2 que se indica a continuación es correcta (SI/NO). Justificar la respuesta, explicando por qué se considera correcta o incorrecta. Si es incorrecta, proponer una alternativa válida.**

Destino	Siguiente salto	Puerto
200.10.22.0	Directo	TR_0
200.10.20.0	200.10.22.1	TR_0
200.10.21.0	200.10.22.1	TR_0
200.10.23.0	200.10.23.1	X25_0

Es incorrecta. Razonamiento:

- Para ir a la red 200.10.23.0, se necesita ir a través de un circuito virtual por la red X25 hasta la máquina R3. Es decir, hace falta un identificador de R3 en la red X.25 (el LCI del CV existente entre R2-R3, si el CV ya está creado; o la dirección X.121 de R3 si es necesario establecer un CVC).
- No hay red 200.10.21.0, luego esa entrada sobra.
- Falta el caso de “default” para acceder al resto de redes, ya que se tiene conexión a Internet a través del router R4

Una alternativa válida sería:

Destino	Siguiente salto	Puerto
200.10.22.0	Directo	TR_0
200.10.20.0	200.10.22.1	TR_0
200.10.23.0	<b>LCI = 1 (p. ej.) si CVP; o dirección NSAP de R3 si CVC</b>	X25_0
<b>0.0.0.0</b>	<b>200.10.22.2</b>	<b>TR_0</b>

c) Escribir las tablas de encaminamiento IP de los equipos R1, T y Z.

R1

Destino	Siguiente salto	Enlace
200.10.20.0	Directo	Eth_0
200.10.22.0	Directo	TR_0
200.10.23.0	200.10.22.3	TR_0
0.0.0.0	200.10.22.2	TR_0

T

Destino	Siguiente salto	Enlace
200.10.22.0	Directo	TR_0
200.10.20.0	200.10.22.1	TR_0
200.10.23.0	200.10.22.3	TR_0
0.0.0.0	200.10.22.2	TR_0

Z

Destino	Siguiente salto	Enlace
200.10.23.0	Directo	Eth_0
0.0.0.0	200.10.23.1	Eth_0

Dentro de esta red, y con las tablas ARP vacías en todos los ordenadores, desde el ordenador A se comienza a ejecutar una aplicación que envía un mensaje de login de 200 bytes al servidor local B.

d) Desde el segmento donde se encuentra el ordenador G, ¿sería posible capturar dicho mensaje de “login” entre A y B? ¿Puede ver G alguno de los mensajes intercambiados entre A y B? ¿Cuáles?

Desde el segmento en el que se encuentra G NO se puede capturar el mensaje de login enviado de A a B.

Cuando se segmenta la red con un switch, sólo pasarán de un segmento a otro:

- las tramas que hayan sido originadas por un equipo situado en uno de los segmentos y destinadas a un equipo situado en el otro segmento, y
- las tramas de difusión (broadcast) a nivel MAC.

En este caso, G está conectado a un puerto del switch, y los ordenadores A y B a otro. Como el destinatario de la trama (B) está conectado al mismo puerto que el origen (A), el puente no retransmite por ninguno de sus puertos la trama que contiene el mensaje de login. Por lo tanto, no le llega a G.

Lo indicado anteriormente es válido siempre que el switch tenga en su tabla de filtrado información acerca de en qué segmento se encuentra conectado B. Como el enunciado dice que al inicio las tablas ARP están vacías, antes del envío del tráfico IP hay un intercambio ARP en el que B genera una trama (la que contiene el paquete ARP Response). Esa trama le sirve al switch para aprender en cuál de sus puertos está conectado B. Por lo tanto, lo indicado en el párrafo anterior aplica en este caso. Es decir, G no ve el mensaje de login enviado de A a B.

Sin embargo, G sí verá una de las tramas necesarias para la comunicación entre A y B: la que contiene el ARP Request que envía A (porque se encapsula en una trama broadcast).

**Como resultado de este mensaje, el ordenador B necesita acceder al servidor Z situado en la sede remota, por lo que le envía un mensaje de 4.000 bytes.**

e) **Procesos de fragmentación y reensamblado que se dan en la comunicación completa (A→B y B→Z) y contenido de los campos de cabecera más relevantes relacionados con la fragmentación.**

**Considerar que:**

-  **En el dato de tamaño del mensaje está incluida la cabecera del nivel de Aplicación.  
¡Ojo! No se incluye la cabecera del nivel de transporte TCP=20 bytes.**
-  **Los valores de las MTU de cada red son los siguientes:  
MTU<sub>802.3</sub>=1500, MTU<sub>TR</sub>=8000, Tamaño máximo del campo de datos de un paquete de datos X25 = 512 bytes.**

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

**Mensaje de login A → B: 200 bytes**

Mensaje del protocolo de nivel de aplicación = 200 bytes

Cabecera TCP = 20 bytes

Cabecera IP = 20 bytes

Es decir, es un paquete IP de 20 + 220 bytes, con Id = 28 (p. ej.).

Suponiendo que el encapsulado en la red Ethernet es IP/SNAP/LLC/MAC:

Tamaño máximo de datos del fragmento IP =  $(MTU_{Eth} - Cab_{LLC} - Cab_{SNAP} - Cab_{IP})_8 = (1500 - 3 - 5 - 20)_8 = (1472)_8 = 1472 > 200$  (tamaño del campo de datos del datagrama IP)

Por lo tanto no es necesario fragmentar el paquete.

**Mensaje B → Z: 4000 bytes**

Mensaje del protocolo de nivel de aplicación = 4000 bytes

Cabecera TCP = 20 bytes

Cabecera IP = 20 bytes

Es decir, es un paquete IP de 20 + 4020 bytes, con Id = 43 (p. ej.)

El datagrama no puede atravesar la **red Ethernet** sin ser fragmentado/segmentado, ya que:

Tamaño máximo de datos del fragmento IP =  $(MTU_{Eth} - Cab_{LLC} - Cab_{SNAP} - Cab_{IP})_8 = (1500 - 3 - 5 - 20)_8 = (1472)_8 = 1472 < 4020$  (tamaño del campo de datos del datagrama IP)

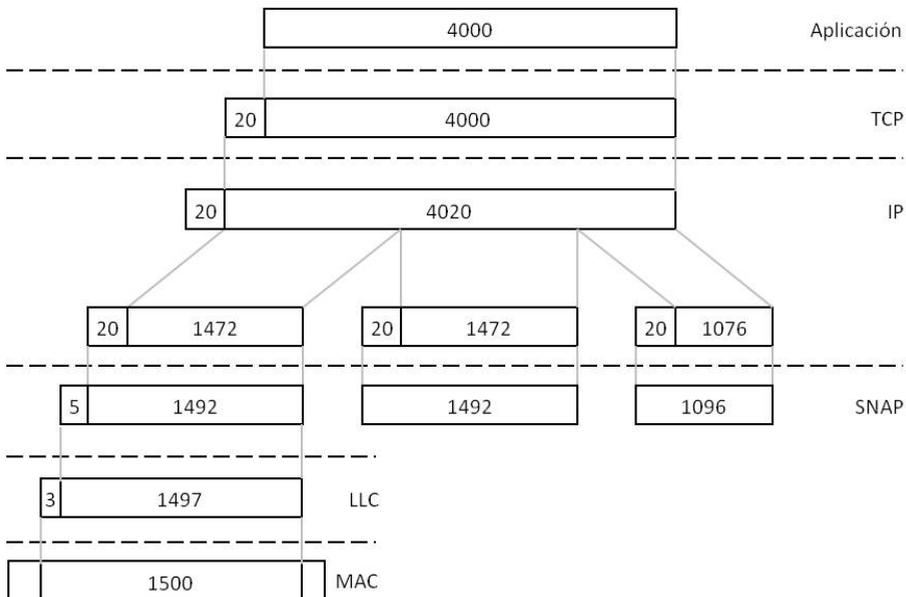
La fragmentación la hará el nivel IP de B.

$4020 / 1472 = 2,73 \rightarrow 3$  fragmentos, de los cuales:

- 2 fragmentos: 20 + 1472, MF = 1 (1 y 2, en la figura del apartado f)

- 1 fragmento: 20 + 1076, MF = 0 (3, en la figura del apartado f)

	Longitud total	ID	MF	DF	Desplaz fragmento
Fragmento 1	1492 (20+1472)	43	1	0	0
Fragmento 2	1492 (20+1472)	43	1	0	184 (1472/8)
Fragmento 3	1096 (20+1076)	43	0	0	368 (184+1472/8)



Los 3 fragmentos llegan a R1, que puede enviarlos por la red **Token Ring** sin necesidad de volver a fragmentar.

Los 3 fragmentos llegan a R2, que debe enviarlos a través de la **red X.25** al R3. Se ha supuesto que entre R2 y R3 existe un CVP, a través del cual se enviará esta información.

Para que pueda atravesar la red X.25, el R2 debe fragmentar los 3 paquetes (ya que los 3 son mayores de 512 bytes, tamaño máximo de los datos en los paquetes X.25-PLP). Suponemos que realiza la fragmentación a nivel X.25-PLP. Por lo tanto:

Fragmento IP 1 = 1492 bytes (a ser transportados como datos en el nivel X.25-PLP)

$$1492 / 512 = 2,91 \rightarrow 3 \text{ fragmentos X.25-PLP, de los cuales:}$$

- 2 fragmentos: 512 bytes de datos, bit M = 1
- 1 fragmento: 468 bytes de datos, bit M = 0.

Fragmento IP 2 = 1492 bytes (a ser transportados como datos en el nivel X.25-PLP)

$$1492 / 512 = 2,91 \rightarrow 3 \text{ fragmentos X.25-PLP, de los cuales:}$$

- 2 fragmentos: 512 bytes de datos, bit M = 1
- 1 fragmento: 468 bytes de datos, bit M = 0.

Fragmento IP 3 = 1096 bytes (a ser transportados como datos en el nivel X.25-PLP)

$1096 / 512 = 2,14 \rightarrow 3$  fragmentos X.25-PLP, de los cuales:

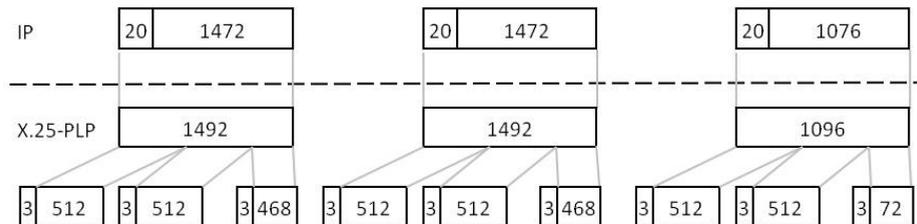
- 2 fragmentos: 512 bytes de datos, bit M = 1

- 1 fragmento: 72 bytes de datos, bit M = 0.

Cada uno de estos fragmentos X.25-PLP tiene una cabecera de 3 bytes y un campo de datos de la longitud indicada, y se encapsula en una trama LAPB.

	Tamaño X25-PLP (*)	M
Fragmento 1.1	3+512	1
Fragmento 1.2	3+512	1
Fragmento 1.3	3+468	0
Fragmento 2.1	3+512	1
Fragmento 2.2	3+512	1
Fragmento 2.3	3+468	0
Fragmento 3.1	3+512	1
Fragmento 3.2	3+512	1
Fragmento 3.3	3+72	0

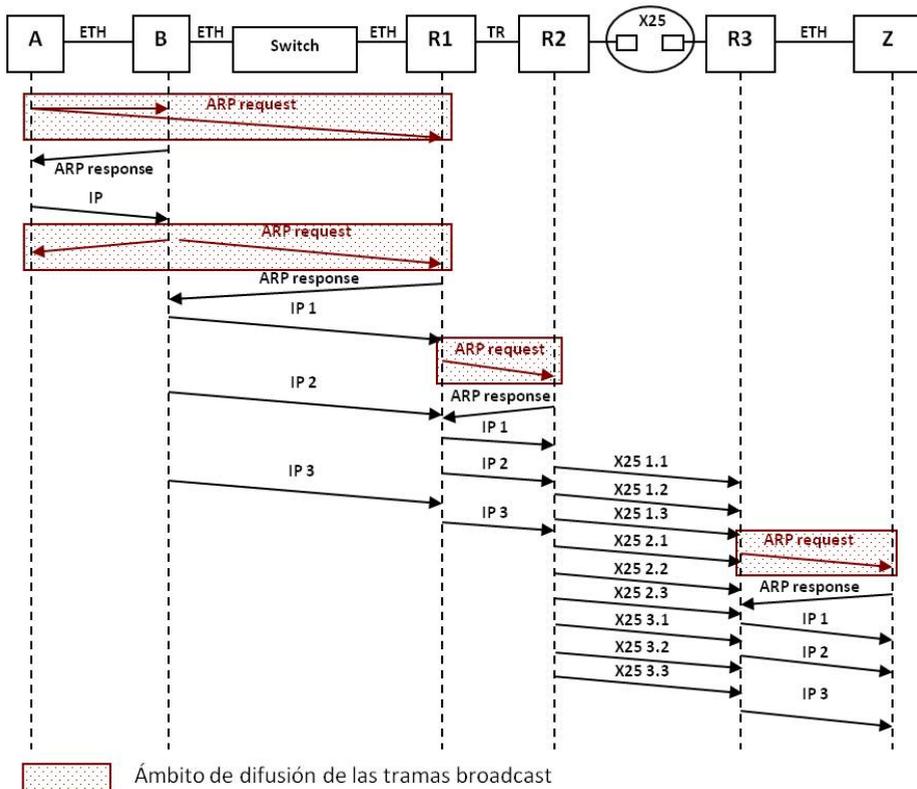
(\*) Columna a título informativo, ya que no existe ningún campo en la cabecera X.25-PLP en el que indicar la longitud del paquete.



Estos fragmentos llegan a R3. El nivel X.25-PLP de R3 reensambla los fragmentos 1.1, 1.2 y 1.3 y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el fragmento IP-1). Del mismo modo, reensambla los fragmentos 2.1, 2.2 y 2.3 y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el fragmento IP-2). Del mismo modo, reensambla los fragmentos 3.1 y 3.2 y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el fragmento IP-3).

Los 3 datagramas pueden atravesar la **red Ethernet** a la que está conectado R3 sin necesidad de una fragmentación adicional. Cuando los 3 fragmentos IP llegan a Z, el nivel IP de Z los reensambla y se va desencapsulando la información hasta entregar a la entidad de aplicación el mensaje de 4000 bytes.

- f) Secuencia de mensajes a nivel de red desde que el mensaje llega al nivel IP de la máquina A hasta que la solicitud llega al fin a la máquina Z, suponiendo que todas las tablas ARP están vacías.



- g) Contenido de las tablas ARP de los equipos A, B, G y R1 al finalizar la comunicación.

Al estar inicialmente todas las tablas ARP vacías, cuando A intenta mandar el mensaje de login, desconoce la dirección física de B por lo que envía un paquete ARP Request. Este paquete se envía en una trama de difusión por lo que traspasa el switch y llega a G y a R1. Por lo tanto, B, G y R1 pueden anotar la dirección MAC de A en sus tablas ARP.

Sólo contesta B con un ARP Response, por lo que sólo A conoce la dirección MAC de B.

B necesita enviar un mensaje a Z. Para ello, tras consultar su tabla de encaminamiento tiene que enviar un mensaje a R1, cuya dirección MAC desconoce, por lo que B envía un paquete ARP Request (en una trama broadcast) que atravesará el switch y llegará a A, G y R1. Por lo tanto, A, G y R1 pueden conocer la dirección MAC de B.

R1 responde sólo a B, por lo que sólo B conoce la dirección MAC de R1.

R1 tiene que enviar el mensaje a Z. Para ello, tras consultar su tabla de encaminamiento tiene que enviar un mensaje a R2, cuya dirección MAC desconoce, por lo que R1 envía un paquete ARP Request (en una trama broadcast) que llegará a R2.

R2 responde a R1, por lo que sólo R1 conoce la dirección MAC de R2.

A continuación se muestra el estado de las tablas ARP de los equipos solicitados. Están marcadas en gris las entradas de dichas tablas cuya presencia depende de la implementación del fabricante (de si el equipo anota o no las direcciones IP-MAC de los paquetes ARP Request que recibe sin ser él el equipo por el cual se pregunta).

**A:**

Dirección IP	Dir. MAC	Puerto
IP (B) = 200.10.20.12	MAC (B)	ETH-0

**B:**

Dirección IP	Dir. MAC	Puerto
IP (A) = 200.10.20.11	MAC (A)	ETH-0
IP (R1) = 200.10.20.1	MAC (R1)	ETH-0

**G:**

Dirección IP	Dir. MAC	Puerto
IP (A) = 200.10.20.11	MAC (A)	ETH-0
IP (B) = 200.10.20.12	MAC (B)	ETH-0

**R1:**

Dirección IP	Dir. MAC	Puerto
IP (A) = 200.10.20.11	MAC (A)	ETH-0
IP (B) = 200.10.20.12	MAC (B)	ETH-0
IP (R2) = 200.10.22.3	MAC (R2)	TR-0

## 12.

Una empresa de telecomunicaciones dedicada a dar servicio de conexión X.25 tiene dos sedes: Una de ellas, la Sede Norte (N) se encarga de los clientes del norte, mientras que la Sede Sur (S), se encarga de los clientes del sur.

La red X.25 de la empresa está compuesta por dos conmutadores conectados entre sí, cada uno de ellos en una de las sedes. Además, en cada una de ellas, la empresa tiene sus propias oficinas, con equipos conectados en torno a una red LAN 802.3. La comunicación entre equipos de las LAN de las dos sedes se realiza a través de la red X.25 mediante máquinas especiales para ello.

La información de los clientes de cada sede se gestiona en la propia sede, para lo cual se dispone de una máquina servidora en cada una de las sedes, de forma que las estaciones de trabajo consultan a ese servidor cuando necesitan información de un cliente.

Además, la empresa requiere un sistema de copia de seguridad externo, debido al volumen de clientes de la empresa. Para ello, se ha optado por contratar un servicio de Base de Datos Externo, formado por una potente máquina de almacenaje a la que ambas sedes se conectan a través de Internet. Así, cada vez que haya alguna modificación en alguno de los servidores de la empresa, éste se encarga de actualizar dicha modificación en la Base de Datos Externa. Para la interconexión de ambas sedes a Internet, se optó por un enlace PPP desde las mismas máquinas que se utilizan para la interconexión con la red X.25.

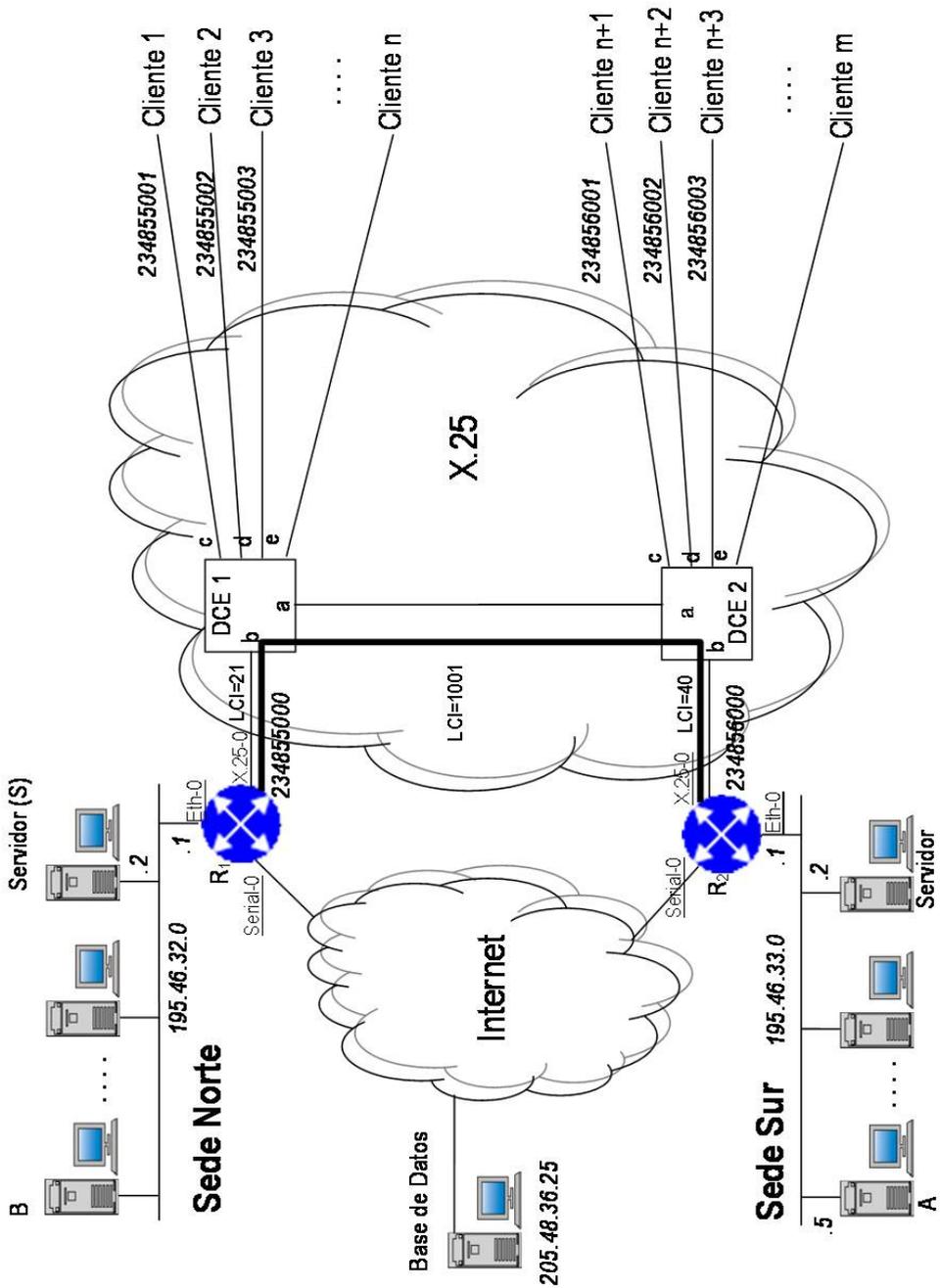
Así, la comunicación entre sedes se realiza a través de la red X.25. Y cuando hay alguna modificación a realizar en la Base de Datos Externa, se hace a través de Internet.

Se pide:

- a) Dibujar el esquema de red. Plantear un esquema de direccionamiento posible.

Ver figura de la página siguiente.

Se ha supuesto que entre la máquina de interconexión de la sede Norte y la máquina de interconexión de la sede Sur existe un CVP.



## b) Tablas de encaminamiento de:

- Una Estación de Trabajo de la Sede Norte.

Destino	Siguiente salto	Enlace
195.46.32.0	0.0.0.0 (Directa)	Eth-0
0.0.0.0	195.46.32.1	Eth-0

- La máquina de interconexión entre la Sede Norte y la red X.25 e Internet. ¿Qué tipo de máquina es?

Es un router.

Destino	Siguiente salto	Enlace
195.46.32.0	0.0.0.0 (Directa)	Eth-0
192.46.33.0	LCI-21	X.25-0
0.0.0.0	W.X.Y.Z	Serial-0

W.X.Y.Z es la dirección IP del router del ISP al que está conectado el R1.

- El conmutador X.25 que funciona como DCE de la Sede Sur.

Destino	Enlace
234855XXX	a
234856000	b
234856001	c
234856002	d
234856003	e
....	....

Desde una estación A de la Sede Sur se quieren modificar los datos de un cliente de la Sede Norte. Para ello, le envía al servidor de la Sede Norte (S) una solicitud de modificación, utilizando un protocolo de aplicación propietario. Este mensaje ocupa 2048 bytes. Al recibir dicha solicitud, S debe solicitar a la Base de Datos Externa la actualización de la copia de seguridad, para lo que utiliza un protocolo de aplicación estándar de consulta de Bases de Datos (SQL). El mensaje SQL ocupa 516 bytes. La Base de Datos responderá a S con otro mensaje SQL indicando que la modificación se hizo correctamente. S, al recibir la respuesta de la Base de Datos, crea un mensaje del mismo protocolo de aplicación propietario mencionado anteriormente y se lo envía como respuesta a A.

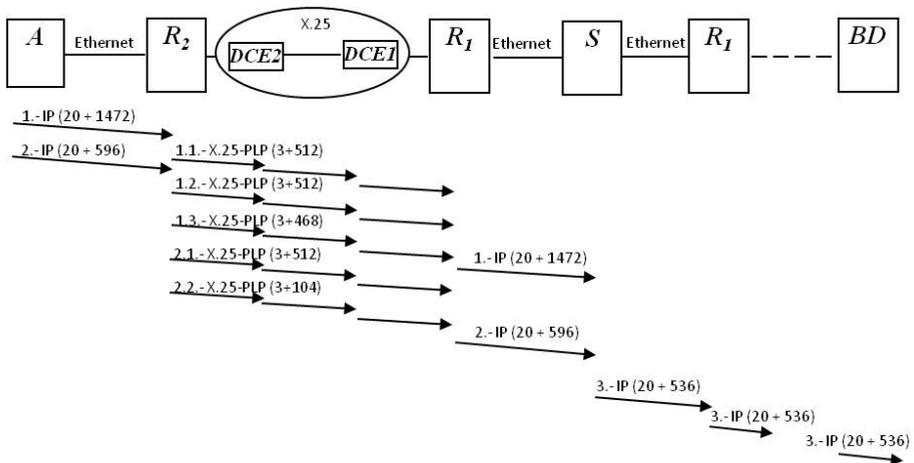
- c) Indicar la secuencia de paquetes y tramas intercambiados en cada uno de los enlaces involucrados en dicha transferencia de información hasta que la solicitud de actualización llega a la Base de Datos Externa, indicando los valores de los campos más representativos de las cabeceras de los niveles de red y enlace (direccionamiento, fragmentación...). En caso de producirse fragmentación, indicar qué equipos y a qué nivel realizan la fragmentación y el reensamblado.

Considerar que:

- En los datos de tamaños de los mensajes de nivel de aplicación, están incluidas las cabeceras de dicho protocolo de aplicación.
- Ambos protocolos de aplicación utilizan el servicio de transporte ofrecido por UDP, que no realiza segmentación. Cabecera UDP=20 bytes.
- Las únicas tramas que viajan por los enlaces durante el tiempo que dura la comunicación, son las correspondientes a la comunicación descrita en el enunciado.
- $MTU_{ETH}=1500$ ;  $MTU_{PPP}=6500$ ; tamaño máximo del campo de datos de los paquetes X.25 = 512 bytes.

**NOTA:** Todas las hipótesis que se realicen deben indicarse y justificarse explícitamente.

En la siguiente figura se muestra de forma esquemática la secuencia de paquetes intercambiados en dicha comunicación.



Para la resolución de este apartado se ha considerado que:

- En las redes Ethernet los paquetes se encapsulan sobre SNAP/LLC/MAC.
- La tabla ARP de A contiene información acerca de R2, y la de R1 acerca del Servidor de la Sede Norte (S). Por lo tanto no es necesario enviar paquetes ARP Request ni ARP Response para obtener las direcciones MAC de R2 y S respectivamente.

### Actualización de A al Servidor de la Sede Norte (S)

Mensaje del protocolo de nivel de aplicación de consulta a la BD = 2048 bytes

Cabecera UDP = 20 bytes

Cabecera IP = 20 bytes

Es decir, es un paquete IP de 20 + 2068 bytes, con:

- dirección IP origen = 195.46.33.5 (A)
- dirección IP destino = 195.46.32.2 (S)
- Id = 43 (p. ej.)

Esta información del datagrama IP no se modifica en todo el camino desde A hasta S.

El datagrama no puede atravesar la **red Ethernet** sin ser fragmentado/segmentado, ya que:

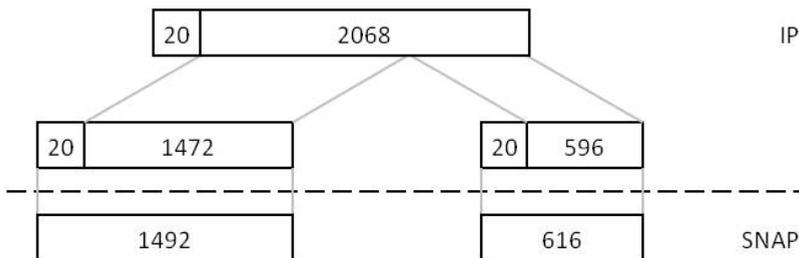
$$\begin{aligned} \text{Tamaño máximo de datos del fragmento IP} &= (\text{MTU}_{\text{Eth}} - \text{Cab}_{\text{LLC}} - \\ &\text{Cab}_{\text{SNAP}} - \text{Cab}_{\text{IP}})_8 = (1500 - 3 - 5 - 20)_8 = (1472)_8 = 1472 < 2068 \\ &(\text{tamaño del campo de datos del datagrama IP}) \end{aligned}$$

La fragmentación la hará el nivel IP de A (el enunciado dice que UDP no soporta segmentación)

$2068 / 1472 = 1,40 \rightarrow 2$  fragmentos, de los cuales:

- 1 fragmento: 20 + 1472, MF = 1 (1, en la figura)

- 1 fragmento: 20 + 596, MF = 0 (2, en la figura)



	Longitud total	ID	MF	DF	Desplaz. fragmento
Fragmento 1	1492 (20+1472)	43	1	0	0
Fragmento 2	616 (20+596)	43	0	0	184 (1472/8)

Cada uno de estos fragmentos se encapsula en una SNAP-PDU, que se encapsula en una LLC-PDU, y ésta a su vez en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-A
- dirección MAC destino = MAC-R2 (ya que en la tabla de encaminamiento de A figura R2 como Siguiente Salto para llegar a la red de la Sede Norte)

Ambos fragmentos llegan a R2, que debe enviarlos a través de la **red X.25** al R1 (Siguiente Salto para llegar a la red de la Sede Norte). Se ha supuesto que entre ambas Sedes existe un CVP, con los LCIs indicados en la figura, por lo tanto se enviará esta información a través de dicho CVP.

Para que pueda atravesar la red X.25, el R2 debe fragmentar ambos paquetes (ya que ambos son mayores de 512 bytes, tamaño máximo de los datos en los paquetes X.25-PLP). Suponiendo que la fragmentación se hace en el nivel X.25-PLP:

Datagrama IP (1) = 1492 bytes

$1492 / 512 = 2,91 \rightarrow 3$  fragmentos, de los cuales:

- 2 fragmentos: 512 bytes de datos, bit M = 1 (1.1 y 1.2, en la figura)
- 1 fragmento: 468 bytes de datos, bit M = 0 (1.3, en la figura)

Datagrama IP (2) = 616 bytes

$616 / 512 = 1,20 \rightarrow 2$  fragmentos, de los cuales:

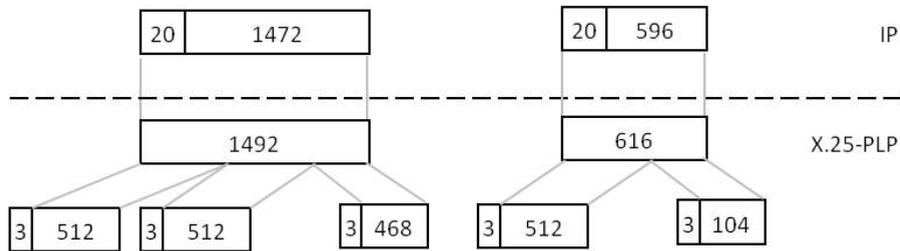
- 1 fragmento: 512 bytes de datos, bit M = 1 (2.1, en la figura)
- 1 fragmento: 104 bytes de datos, bit M = 0 (2.2, en la figura)

Cada uno de estos fragmentos X.25-PLP tiene una cabecera de 3 bytes y un campo de datos de la longitud indicada, y se encapsula en una trama LAPB.

	Tamaño X25-PLP (*)	M	LCI R2-DCE2 (**)	LCI DCE2-DCE1 (**)	LCI DCE1-R1 (**)
Fragmento 1.1	3+512	1	40	1001	21
Fragmento 1.2	3+512	1	40	1001	21
Fragmento 1.3	3+468	0	40	1001	21
Fragmento 2.1	3+512	1	40	1001	21
Fragmento 2.2	3+104	0	40	1001	21

(\*) Columna a título informativo, ya que no existe ningún campo en la cabecera X.25-PLP en el que indicar la longitud del paquete.

(\*\*) El campo LCI del paquete X.25-PLP tendrá valores diferentes en cada uno de los saltos en la red X.25.



Estos fragmentos llegan a R1. El nivel X.25-PLP de R1 reensambla los fragmentos 1.1, 1.2 y 1.3 y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el fragmento IP-1). Del mismo modo, reensambla los fragmentos 2.1 y 2.2 y pasa el resultado al nivel IP (es decir, se vuelve a obtener el fragmento IP-2).

Ambos datagramas pueden atravesar la **red Ethernet** de la Sede Norte sin necesidad de una fragmentación adicional. Por lo tanto, R1 encapsula cada uno de estos datagramas en una SNAP-PDU, que se encapsula en una LLC-PDU, y ésta a su vez en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-R1
- dirección MAC destino = MAC-S (ya que en la tabla de encaminamiento de R1 figura que los equipos de la red de la Sede Norte están conectados directamente a la misma red Ethernet que R1)

Ambas tramas llegan a S. El nivel IP de S reensambla ambos fragmentos y se va desencapsulando la información hasta entregar a la entidad de aplicación de consulta de BD el mensaje de 2048 bytes.

### **Actualización del Servidor de la Sede Norte (S) a la Base de Datos Centralizada**

Mensaje del protocolo de nivel de aplicación SQL = 516 bytes

Cabecera UDP = 20 bytes

Cabecera IP = 20 bytes

Es decir, es un paquete IP de 20 + 536 bytes, con:

- dirección IP origen = 195.46.32.2 (S)
- dirección IP destino = 205.48.36.25 (BD Central)
- Id = 625 (p. ej.)

Esta información del datagrama IP no se modifica en todo el camino desde S hasta la BD.

Este datagrama puede atravesar la **red Ethernet** de la Sede Norte sin necesidad de fragmentación.

	Longitud total	ID	MF	DF	Desplaz. fragmento
Datagrama 3	20+536	625	0	0	0

Por lo tanto, R1 encapsula el datagrama en una SNAP-PDU, que se encapsula en una LLC-PDU, y ésta a su vez en una trama MAC, con:

- dirección MAC origen = MAC-S
- dirección MAC destino = MAC-R1 (ya que en la tabla de encaminamiento de S figura que para llegar a cualquier equipo que no pertenezca a su red, el Siguiete Salto es el R1).

La tabla de encaminamiento de R1 indica que para llegar a los equipos de Internet debe ir a través del **enlace PPP** que mantiene con el ISP con el que tenga contratado el servicio de acceso a Internet (interfaz Serial-0). Por lo tanto, encapsula el datagrama IP en una trama PPP, para hacérselo llegar al router del ISP, cuya dirección IP es W.X.Y.Z. Como la MTU en dicho enlace es mayor que el tamaño del datagrama, no es necesario fragmentar.

Se hace la suposición de que todos los enlaces restantes hasta la BD utilizan PPP a nivel de enlace, con la misma MTU, y por lo tanto no es necesario fragmentar el datagrama en ningún punto hasta el destino.

### 13.

Una multinacional tiene sedes en 3 países contiguos. La sede en el país A es la Sede Central, y está compuesta por dos segmentos 802.3 y un segmento 802.5 interconectados entre sí con un Sistema Intermedio (Intermediate System, IS) IS1, y además, en el segmento 802.5 hay un equipo (IS2) que interconecta la sede con 2 redes X.25 (redes X e Y) diferentes.

La red X interconecta la Sede Central con la sede del país B, que está compuesta por dos segmentos 802.3, interconectados entre sí por un equipo (IS3). En uno de esos segmentos, se ubica el equipo IS4, que interconecta la sede del país B con la red X.

La red Y interconecta la Sede Central con la sede del país C, que tiene un único segmento 802.3, con normativa 10BASE-T. El equipo central de su topología es el equipo IS5, y el que interconecta la sede del país C con la red Y, el IS6.

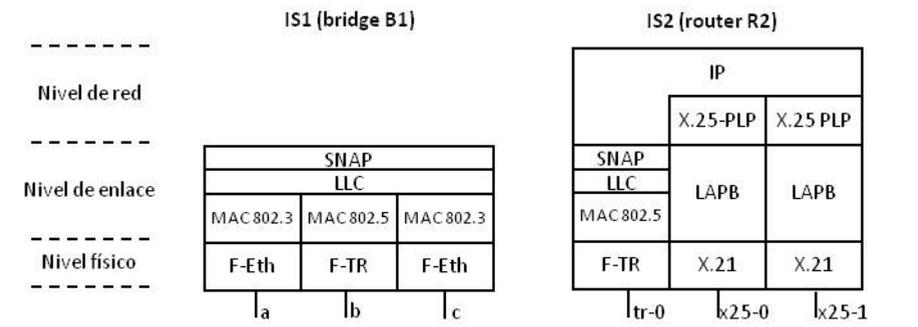
Los servicios contratados con las Operadoras de las redes X.25 son 3 CVPs en la red X y la posibilidad de establecer hasta 5 CVCs en la red Y.

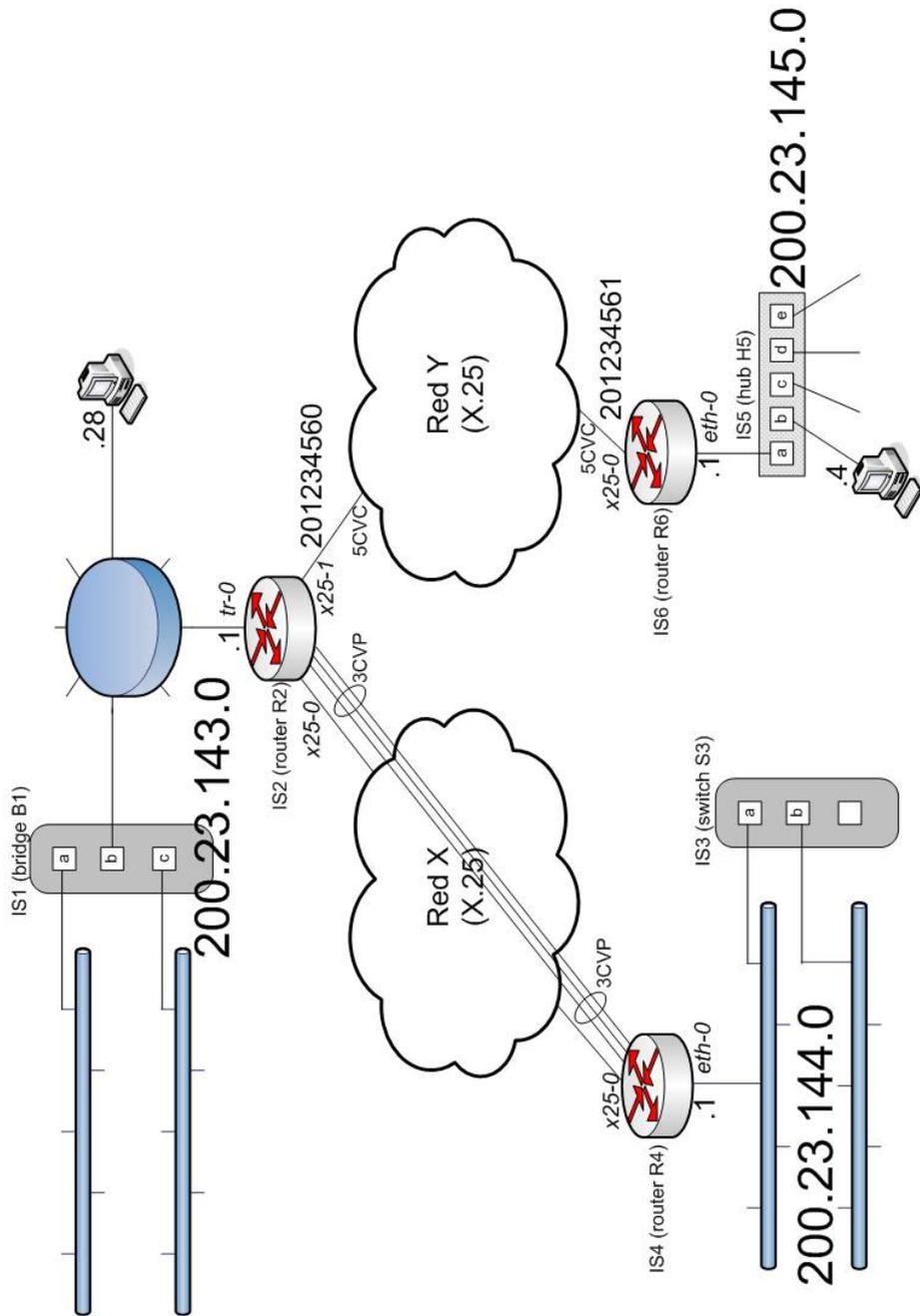
Suponiendo que las comunicaciones en todas las redes de la multinacional están basadas en la arquitectura TCP/IP, y que todos los equipos IS tienen la capacidad mínima necesaria para el problema de interconexión que solucionan, contestar a las siguientes preguntas:

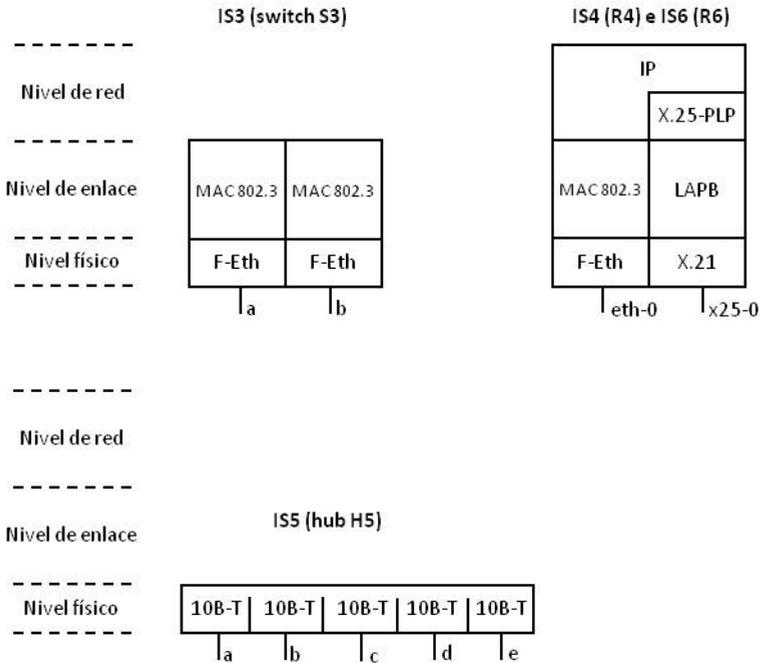
- a) Dibujar el esquema descrito, indicando qué tipo de máquina es cada IS. Definir el plan de direccionamiento, y asignar direcciones a los equipos que lo requieran. Designar cada puerto.

Ver figura de la página siguiente.

- b) Indicar la arquitectura de protocolos de cada IS







c) Tablas de encaminamiento IP de:

- Un equipo terminal de la red 802.5 de la Sede Central

Destino	Siguiente salto	Enlace
200.23.143.0	Directo	tr-0
0.0.0.0	200.23.143.1	tr-0

- IS2 (R1)

Destino	Siguiente salto	Enlace
200.23.143.0	Directo	tr-0
200.23.144.0	LCI 28, 29, 30	x25-0
200.23.145.0	201234561	x25-1

- IS3 (S3)

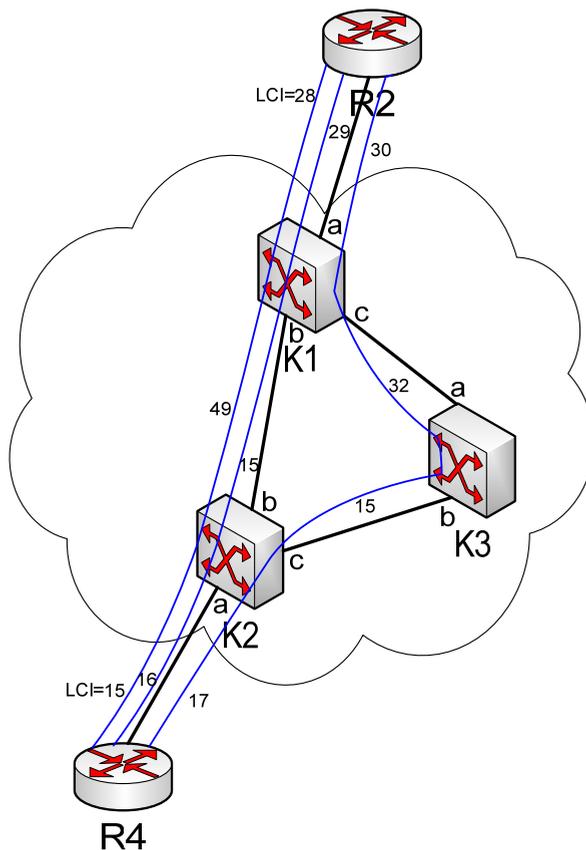
No tiene tabla de encaminamiento IP porque es un switch, que es un dispositivo de interconexión a nivel de enlace

o IS4 (R4)

Destino	Siguiente salto	Enlace
200.23.143.0	LCI 15, 16, 17	x25-0
200.23.144.0	Directo	eth-0
200.23.145.0	LCI 15, 16, 17	x25-0

La red X está compuesta por 3 conmutadores (K1, K2 y K3) que están conectados entre sí mediante una topología totalmente mallada. K1 y K2 actúan como DCEs de la sede del país A y la sede del país B respectivamente. De todos los CVPs contratados por la multinacional en la red X, sólo uno de ellos pasa por K3.

d) Dibujar el esquema de esta red X, indicando los LCIs asignados a cada CVP contratado.



## e) Escribir la tabla de conexiones de K1.

ENTRADA		SALIDA	
Enlace	LCI	Enlace	LCI
a	28	b	49
a	29	b	15
a	30	c	32
b	49	a	28
b	15	a	29
c	32	a	30

## f) Un Equipo Terminal del país B envía un mensaje a otro Equipo Terminal del país C. Explicar la secuencia de acontecimientos sucedidos desde que ese mensaje entra al IS4 hasta que sale del IS2.

IS4 = R4, IS2 = R2

Se supone que no es necesario fragmentar el mensaje en ninguna de las redes.

El **R4** recibe por su interfaz eth-0 una trama con dirección MAC destino la suya propia, que contiene un paquete IP con dirección IP origen 200.23.144.5 y dirección IP destino 200.23.145.4.

El nivel MAC de R4 identifica que el destinatario a nivel de enlace es él mismo, y le pasa el contenido de la trama al nivel IP.

El nivel IP de R4 analiza la dirección IP destino y, como el R4 no es el destinatario del paquete, consulta su tabla de encaminamiento IP para encaminarlo hacia el destino. El siguiente salto es el R2, al cual llega a través de la red X.25 X (a la que se conecta mediante el enlace x25-0), mediante uno de los CVPs identificados en el enlace entre R4 y su DCE por los LCIs 15, 16 o 17. Supongamos que lo envía a través del CVP identificado por el LCI=15, por lo tanto, el R4 encapsula el paquete IP en un paquete X.25 de datos con LCI=15 y lo envía por el interfaz x25-0

Es decir, R4 encapsula el paquete IP en un paquete X.25 para hacerlo llegar a través de la red X.25 hasta el R2 (proceso de tunelado).

El paquete X.25 se va conmutando **dentro de la red X.25 X** según indican las tablas de conexiones de los conmutadores, hasta llegar desde el R4 hasta el R2:

R4.x25-0 – (LCI=15) – K2.a

K2.b – (LCI=49) – K1.b

K1.a – (LCI=28) – R2.x25-0

El **R2** recibe por su interfaz x25-0 una trama LAPB que contiene un paquete X25-PLP con LCI=28, que contiene un paquete IP con dirección IP origen 200.23.144.5 y dirección IP destino 200.23.145.4.

El nivel x25-PLP de R2 identifica, por el LCI=28, que el paquete X25 pertenece a un CVP que él tiene establecido con el R4 (R4 y R2 son DTEs de la red X.25, y son los dos extremos del CVP en cuestión), y por lo tanto, el paquete ha llegado a su destino dentro de la red X.25. Así que le pasa el contenido del paquete X.25 al usuario de X.25, es decir, le pasa el paquete IP al nivel IP.

Es decir, R2 desencapsula el paquete IP del paquete X.25 que se ha utilizado para transportarlo a través de la red X.25 desde el R4.

El nivel IP de R2 analiza la dirección IP destino y, como el R2 no es el destinatario del paquete, consulta su tabla de encaminamiento IP para encaminarlo hacia el destino. El siguiente salto es el R6, al cual llega a través de la red X.25 Y (a la que se conecta mediante el enlace x25-1), para lo cual R2 tiene que establecer un CVC con R6 (R6 identificado en la red X.25 por su dirección X.121: 201234561).

El R2, como DTE de la red Y, envía un paquete X.25 de Solicitud de Llamada con dirección X.121 origen 201234560 (R2) y dirección X.121 destino 201234561 (R6). Este paquete se va encaminando por la red Y (en función del contenido de las tablas de encaminamiento de los conmutadores internos) hasta llegar a R6; además, en las tablas de conexiones de cada conmutador se van creando las entradas correspondientes a este CV. El R6 contesta con un paquete de Llamada Aceptada, que se va conmutando hasta R2, con lo que queda establecido el CVC entre ambos (supongamos los LCIs: R2-DCE=67 y R6-DCE=21).

Ahora ya el R2 puede enviar el paquete IP a través de la red X.25 Y para que llegue hasta el R6, a través del CVC recién establecido (proceso de tunelado). Para ello, encapsula el paquete IP en un paquete de datos X.25 con LCI=67 y lo envía por su interfaz x25-1.

El mensaje ya ha salido del R2, que es lo que pedía el enunciado, por lo que no se continúa explicando el tránsito del mismo hasta llegar a su destino.

