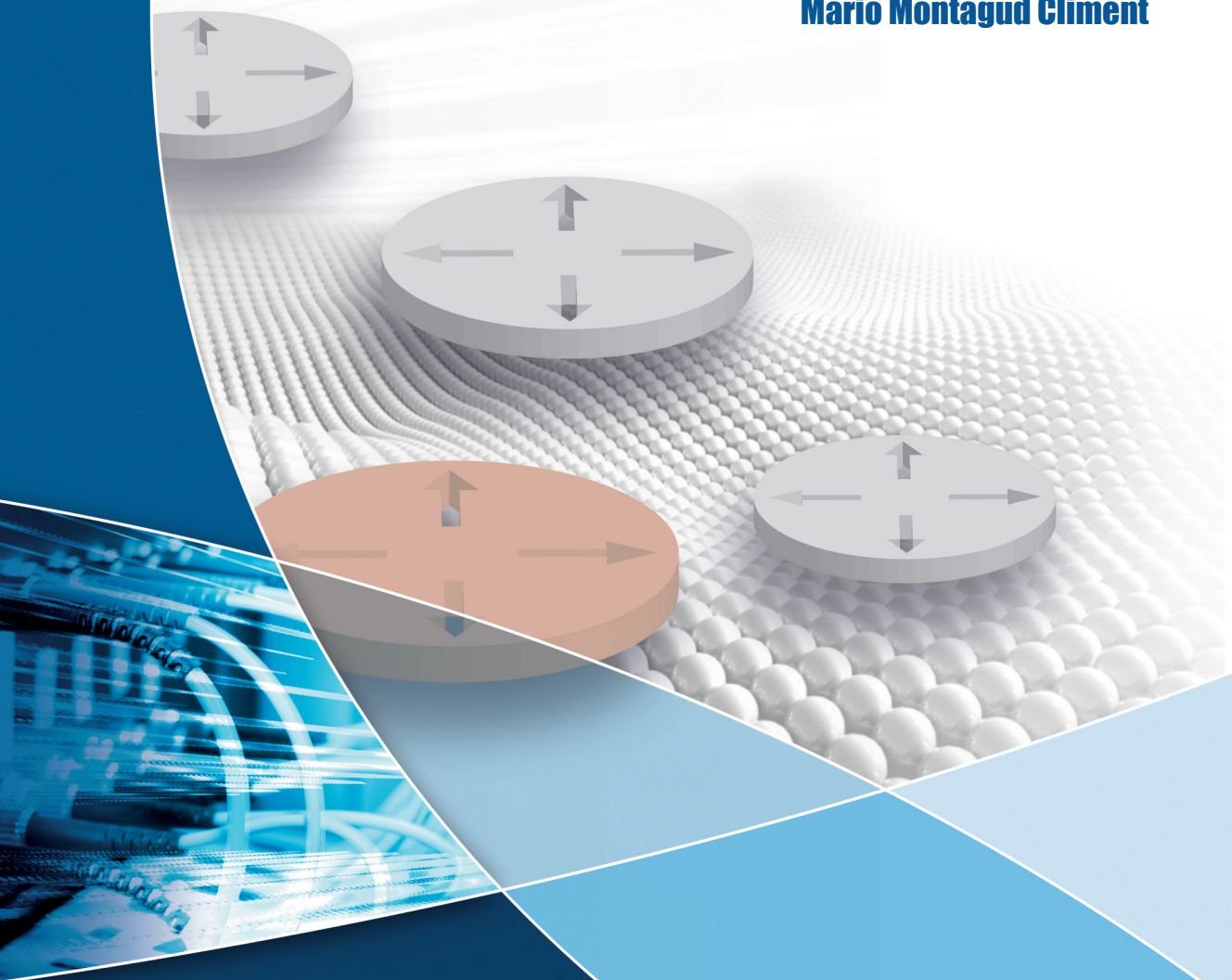


Direccionamiento e interconexi3n de redes basada en TCP/IP

(IPV4/IPV6, DHCP, NAT, Encaminamiento RIP y OSPF)

Fernando Boronat Seguí
Mario Montagud Climent





Fernando Boronat Seguí
Mario Montagud Climent

Direccionamiento e interconexión de redes basada en TCP/IP

(IPv4/IPv6, DHCP, NAT, Encaminamiento RIP y OSPF)



EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Comunicaciones de la UPV

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: BORONAT, F. y MONAGUD, M. (2013) *Direccionamiento e interconexión de redes basada en TCP/IP; IPv4/IPv6, DHCP, NAT, ENCAMINAMIENTO RIP Y OSPF*. Valencia : Universitat Politècnica

Primera edición, 2013

©Fernando Boronat Seguí
Mario Montagud Climent

© de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València

Distribución: pedidos@editorial.upv.es /
Tel. 96 387 70 12/ www.editorial.upv.es / Ref 681

Imprime: By print percom sl.

ISBN: 978-84-9048-037-3
Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y , en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

Acrónimos

- ABR: Routers de Borde (fronterizos) de Área (*Area Border Routers*).
- AfriNIC: *African Network Information Centre*.
- ANS: *Advanced Network and Services*.
- APNIC: *Asia-Pacific Network Information Centre*.
- ARIN: *American Registry for Internet Numbers*.
- ARP: Protocolo de Resolución de Direcciones (*Address Resolution Protocol*).
- ARPA: *Advanced Research and Projects Agency*.
- ASBR: Routers de Borde (fronterizos) de un Sistema Autónomo (*Autonomous System Border Routers*).
- BER: Tasa de Error de Bit (*Bit Error Rate*).
- BMA: Red de Acceso Múltiple con *Broadcast* (*Broadcast Multiple-Access Network*).
- BOOTP: *Bootstrap Protocol*.
- BSD: *Berkeley Software Distribution*.
- CL: Sin Conexión (*Connectionless*).
- CIDR: Encaminamiento entre Dominios Sin Clase (*Classless Inter-Domain Routing*).
- CO: Orientado a la conexión (*Connection Oriented*).
- CV: Circuito Virtual.
- CVP: Circuito Virtual Permanente.
- DCA: Agencia de Comunicación de Defensa (*Defense Communication Agency*).
- DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*.
- DNS: Sistema de Nombres de Dominio (*Domain Name System*).
- DRI: *Defense Research Internet*.
- EBONE: *European Backbone*.
- EUI: Identificador Único Extendido (*Extended Unique Identifier*).

- FTP: *File Transfer Protocol*.
- HLEN: Longitud de la Cabecera o (*Header length*).
- HTTP: *HyperText Transfer Protocol*
- IAB: Junta de Arquitectura de Internet (*Internet Activity Board*).
- IANA: *Internet Assigned Numbers Authority*.
- IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*The Institute of Electric and Electronic Engineers*).
- IETF: *Internet Engineering Task Force*.
- InterNIC: *Internet Network Information Centre*.
- IPSec: *Internet Protocol Security*.
- IPv4: *Internet Protocol version 4*.
- IPv6: *Internet Protocol version 6*.
- IRTF: *Internet Research Task Force*.
- ISATAP: *Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol*.
- ISO: *International Standardization Organization*.
- ISOC: *Internet Society*.
- ISP: Proveedores de Acceso a Internet (*Internet Service Providers*).
- IWU: Unidad de Interconexión (*Internetworking Unit*).
- LACNIC: *Latin America and Caribbean Network Information Centre*.
- LAN: Red de Área Local (*Local Area Network*).
- LSA: Publicaciones de Estado de Enlace (*Link State Advertisement*).
- LSP: Paquete de Estado de Enlace (*Link State Packet*).
- LSU: Actualización de Estado de Enlace (*Link State Update*).
- MILNET: *Military Network*.
- MTU: Unidad Máxima de Transferencia (*Maximun Transmission Unit*).
- NAT: Traducción de Direcciones de Red (*Network Address Translation*).
- NBMA: Red de Acceso Múltiple sin Broadcast (*Non-Broadcast Multiple-Access Network*).
- NCC: *Network Coordination Centre*.

- NPA: Dirección de Punto de Conexión a la Red (*Network Point of Attachment*).
- NSAP: Punto de Acceso al Servicio de Red (*Network Service Access Point*).
- NSF: *National Science Foundation*.
- NSP: Proveedor de Servicio de Red (*Network Service Provider*).
- OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open Systems Interconnection*).
- OSPF: *Open Shortest Path First*.
- PA: *Point of Attachment*.
- PAT: Traducción de Direcciones de Puerto (*Port Address Translation*).
- PDA: Asistente Personal Digital (*Personal Digital Assistant*).
- PDU: Unidad de Datos de Protocolo (*Protocol Data Unit*).
- PLP: *X.25 Packet Layer Protocol*.
- QoS: Calidad de Servicio (*Quality of Service*).
- RARP: Protocolo de Resolución de Direcciones Inverso (*Reverse Address Resolution Protocol*).
- RDSI-BE: Red Digital de Servicios Integrados de Banda Estrecha.
- RFC: *Request For Comments*.
- RIP: *Routing Internet Protocol*.
- RIPE: *Réseaux IP Européens*
- RIR: *Regional Internet Registry*.
- RTB: Red Telefónica Básica.
- RTC: Red Telefónica Conmutada.
- SA: Sistema Autónomo.
- SI: Sistema Intermedio o de Interconexión.
- SF: Sistema Final.
- SMTP: *Simple Mail Transfer Protocol*.
- ST: Tipo de Servicio (*Service Type*).
- TCP: *Transmission Control Protocol*.

- TFTP: *Trivial File Transfer Protocol*.
- TS: Tipo de Servicio (*Type of Service*).
- UDP: *User Datagram Protocol*.
- VLSM: Máscara de Subred de Longitud Variable (*Variable Length Sub-network Mask*).
- VPN: Red Privada Virtual (*Virtual Private Network*).
- WAN: Red de Área Amplia (*Wide Area Network*).
- WINS: *Windows Internet Naming Service*.

Contenido

Acrónimos	3
Capítulo 1. Principios de Interconexión de Redes.....	11
1.1. Introducción	11
1.2. Interconexión a Nivel Físico	13
1.3. Interconexión a Nivel de Enlace de Datos	14
1.4. Interconexión a Nivel de Red.....	18
1.5. Interconexión a Nivel de <i>Interred</i>	19
1.6. Aspectos a tener en cuenta en la Interconexión de Redes	20
1.6.1. Servicio de Capa de Red ofrecido al Nivel de Transporte.....	22
1.6.2. Direccionamiento	22
1.6.3. Encaminamiento.....	23
1.6.4. Calidad de servicio o QoS (Quality of Service)	25
1.6.5. Tamaño Máximo de PDU.....	26
1.6.6. Control de Flujo y Control de la Congestión.....	27
1.6.7. Notificación de Errores	28
1.7. Diferentes Soluciones propuestas a la Interconexión de Redes	28
1.7.1. Solución propuesta por ISO (International Standardization Organization)	28
1.7.2. Solución propuesta por el IAB (Internet Activity Board)	30
Capítulo 2. La familia de Protocolos TCP/IP.....	33
2.1. Introducción.	33
2.1.1. Breve historia de Internet	33
2.1.2. Administración de Internet.....	34
2.2. Arquitectura TCP/IP.....	36
2.3. Nivel de <i>Interred</i> . El protocolo IP	38
2.3.1. Servicio de Red ofrecido por IP	38

2.3.2. Interredes IP.....	39
2.3.3. Direcciones IP	43
2.3.4. Formato de un datagrama IP.....	49
2.4. ICMP (<i>Internet Control Message Protocol</i>).....	57
2.4.1. Introducción.....	57
2.4.2. Tipos de mensajes ICMP	58
2.4.3. Utilidades de red basadas en el uso de mensajes ICMP	60
2.4.4. Observación con respecto a los mensajes ICMP	64
2.5. Envío de información en IP	64
2.5.1. Entrega o Transmisión Directa.	65
2.5.2. Entrega o Transmisión indirecta.	66
2.5.3. Tablas de encaminamiento.	69
2.5.4. Resolución de Direcciones.	72
2.6. Subdivisión de redes IP en Subredes o <i>Subnetting</i>	80
2.6.1. Subnetting de máscara variable (VLSM)	85
2.7. Conceptos de Superredes. <i>Supernetting</i> y CIDR.....	86
Capítulo 3. Asignación de Direcciones IP.....	91
3.1. Introducción.....	91
3.2. El Protocolo <i>BOOTP</i> (<i>Bootstrap Protocol</i>).....	92
3.3. El Protocolo <i>DHCP</i> (<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>)	94
3.3.1. Diferencias DHCP y BOOTP	95
3.3.2. Descripción de DHCP	96
3.3.3. Funcionamiento de DHCP.....	97
3.3.4. Estados DHCP.....	99
3.3.5. Formato de los mensajes DHCP.....	101
3.3.6. Conmutación (relay) DHCP. El Relay Agent.....	106

Capítulo 4. NAT (Network Address Translation)	109
4.1. Introducción	109
4.1.1. Tipos de redes.....	109
4.2. Direccionamiento IP público y privado.....	113
4.3. Funcionamiento de NAT	114
4.3.1. Terminología NAT	116
4.3.2. Tablas NAT	117
4.3.3. NAT con una o varias direcciones públicas	118
4.3.4. Sobrecarga NAT.....	119
4.3.5. Ejemplo de ISP con NAT	120
4.4. Ventajas y desventajas del uso de NAT	121
4.4.1. Ventajas del uso de NAT.....	121
4.4.2. Desventajas del uso de NAT	122
Capítulo 5. IP versión 6.....	123
5.1. Introducción	123
5.2. El Protocolo IPv6	124
5.2.1. Principales diferencias con IPv4	124
5.3. Cabecera de un datagrama IPv6	126
5.3.1. Cabeceras de Extensión IPv6	129
5.4. Direcciones en IPv6	132
5.4.1. Prefijo de Formato de las direcciones IPv6.....	134
5.4.2. Direcciones Multicast.....	134
5.4.3. Direcciones Locales	136
5.4.4. Direcciones Públicas Jerárquicas (RFC 3587).	137
5.4.5. Asignación del identificador de interface.....	139
5.5. Autoconfiguración automática de equipos.....	140
5.6. Retraso en la implantación de IPv6.....	141
5.7. Estrategias de migración a IPv6	142

5.7.1. Dual-Stack o doble pila	142
5.7.2. Tunneling IPv6	143
5.7.3. Traducción.....	145
Capítulo 6. Encaminamiento en IP	147
6.1. Introducción.....	147
6.1.1. Métrica y Distancia Administrativa (DA)	151
6.1.2. Detección de redes.....	152
6.2. Protocolo de encaminamiento RIP	153
6.2.1. Encaminamiento por vector distancias	153
6.2.2. RIP versión 1	154
6.2.3. RIP versión 2	160
6.3. Protocolo de encaminamiento OSPF (<i>Open Shortest Path First</i>)	161
6.3.1. Protocolos de estado del enlace	161
6.3.2. Funcionamiento del Protocolo OSPF	162
Bibliografía.....	175

Capítulo 1. Principios de Interconexión de Redes

1.1. Introducción

El concepto de *Interred* o *InterNetwork* (abreviado *internet*) hace referencia a un conjunto de redes (de cualquier naturaleza, ya sean de área local –LAN- o amplia –WAN-, etc.), denominadas *subredes*, interconectadas entre sí formando una red global que permite la comunicación entre los diferentes dispositivos conectados a cualquiera de dichas subredes.

Las diferentes subredes que forman la *interred* pueden ser muy heterogéneas. Pueden estar basadas en el uso de la misma o distinta tecnología. Pueden utilizar medios físicos diferentes, ya sean cableados (por ejemplo, fibra óptica, par trenzado, coaxial fino o grueso, etc.) o inalámbricos (por ejemplo, WLAN, enlaces satelitales, etc.). Pueden soportar diferentes velocidades (por ejemplo, FDDI a 100 Mbps, Ethernet a 10, 100 Mbps o 1 Gbps). Con respecto al tamaño máximo de transmisión, cada red también puede permitir una MTU (*Maximun Transmission Unit*) diferente. Además, cada subred puede ofrecer un tipo de servicio u otro (sin conexión - *ConnectionLess* o CL- u orientado a la conexión - *Connection Oriented* o CO-, servicios fiables o no fiables, etc.), así como también puede trabajar con diferente organización o estructura interna (modo circuito virtual -CV- o modo datagrama). Adicionalmente, cada una de las subredes puede utilizar un sistema de direccionamiento interno diferente al de las demás, que, lógicamente, debe ser soportado por cada uno de los dispositivos conectados la propia subred. Por otro lado, en cuanto al encaminamiento, cada subred puede estar empleando técnicas diferentes (estáticas o adaptativas; centralizadas o distribuidas; etc.).

Todo lo anterior supone un problema a la hora de ofrecer una comunicación a los dispositivos conectados a la red global (a la *interred*) extremo a extremo. El fin último de la *interred* será que se comuniquen dispositivos conectados a las diferentes subredes de distintas tecnologías (por ejemplo, Ethernet, Token-Ring, FDDI, X.25, Frame-Relay o ATM) que la forman. Para ello se deberán superar todas las dificultades anteriores. En este capítulo se va a abordar la problemática de la heterogeneidad de las redes que conforman una *interred*.

La solución más simple de conectar las diferentes subredes consiste en utilizar los denominados Sistemas Intermedios o de Interconexión (SI) que constituyen una especie de pasarela entre las subredes de diferente (o igual) tecnología. En la figura 1.1 se presenta una *interred* formada por 4 subredes de diferente naturaleza (ATM, Frame-Relay, Token-Ring y Ethernet), interconectadas entre sí mediante cinco SI. En ella aparecen dos sistemas finales o SF (uno conectado a la subred ATM y otro a la subred Ethernet) que son los dispositivos que desean comunicarse.

Los sistemas intermedios, también denominados *Internetworking Units* (IWU), son sistemas auxiliares que interconectan subredes y que no incluirán necesariamente todos los niveles de la arquitectura OSI (*Open System Interconnection*). Normalmente incluirán, como máximo, hasta la capa 3, aunque pueden incluir capas superiores o funcionalidades de las mismas. Pueden ser desde simples conectores o adaptadores de medios hasta encaminadores o *routers* muy complejos.

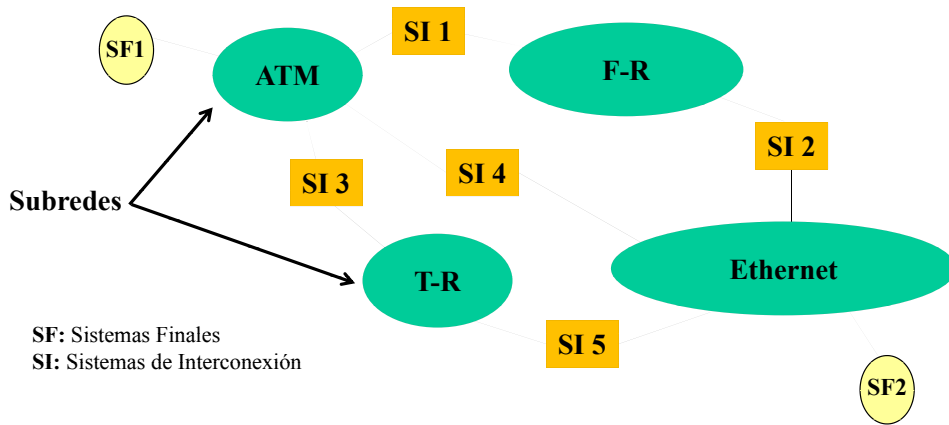


Figura 1.1. Interconexión de subredes mediante sistemas intermedios

La idea del modelo OSI (figura 1.2) es que sólo se pueda establecer un diálogo directo entre niveles homólogos de las diferentes capas del modelo, es decir, entre los mismos niveles (que hablan el mismo 'idioma' o protocolo de comunicaciones). Cuando no lo son, se necesitará un sistema intermedio (SI) para la conversión de un protocolo a otro.

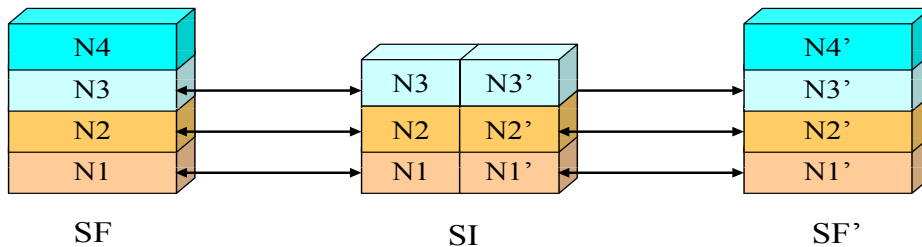


Figura 1.2. Esquema OSI de una interconexión

Según el nivel o capa que marque la diferencia entre las subredes a interconectar mediante el SI, ya sea el nivel físico, el nivel de enlace o el nivel de red, tendremos diferentes tipos de interconexión: Interconexión a nivel físico; a nivel de enlace; o a nivel de red, respectivamente. A continuación se explica cada uno de estos tipos de interconexión, además de otro tipo adicional que facilita la interconexión de redes muy heterogéneas y que se basa en la existencia de un nivel adicional común a todos los dispositivos a interconectar denominado *nivel de interred*.

1.2. Interconexión a Nivel Físico

Un sistema de interconexión de nivel 1 (nivel físico) será necesario cuando se desee conectar dos subredes con todos los niveles iguales salvo el nivel físico. El SI realizará funciones de pasarela entre, al menos, ambos niveles físicos, tal y como se muestra en la figura 1.3.

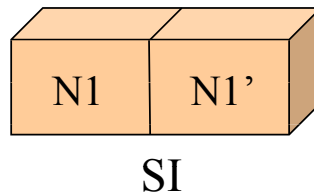


Figura 1.3. Interconexión a Nivel Físico o de capa 1

Existen dos tipos de sistemas de interconexión de nivel físico: los activos y los pasivos. Por un lado, tenemos los denominados *adaptadores de impedancias*, que son dispositivos pasivos. Por otro lado, tenemos los *repetidores* que son activos ya que regeneran, amplifican la señal y, si es necesario, convierten formatos.

Este tipo de interconexión permite solucionar problemas tanto de incompatibilidad del medio físico de las redes a interconectar, como también de cobertura, tal y como se describe en los siguientes ejemplos de interconexión a nivel físico:

- a) *Conexión de una red Ethernet con cable coaxial a una red Ethernet con cable de par trenzado.* En este caso ambas redes se basan en medios físicos diferentes (cable coaxial y cable de pares).
- b) *Conexión de dos segmentos de red Ethernet, ambos con cable de par trenzado.* En este caso ambas redes se basan en el mismo medio físico. Se puede realizar mediante un *hub*, que no es más que un repetidor (regenerador y amplificador) que copia o replica cada trama que le llega a uno de sus puertos por el resto de puertos. Cuando se utiliza un *hub* para formar una red, cada ordenador o dispositivo de red se conecta a un puerto del *hub*, con lo que éste les proporciona

conectividad física. Conceptualmente es equivalente a que todos los dispositivos estuvieran conectados al mismo medio.

Los dos ejemplos a y b se reflejan en la figura 1.4.

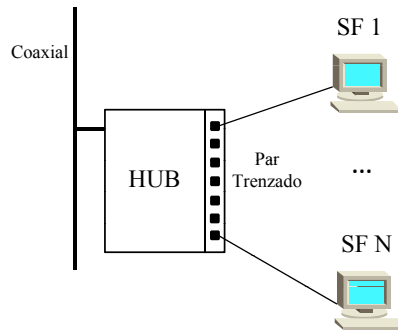
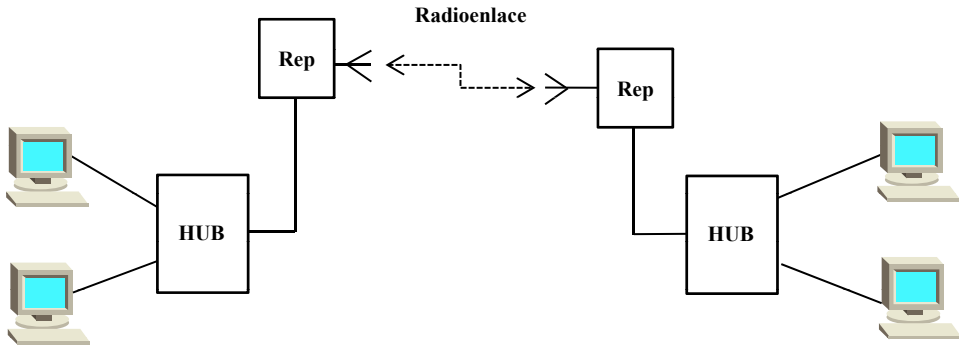


Figura 1.4. Conexión mediante un hub con puertos de par trenzado y puertos coaxiales

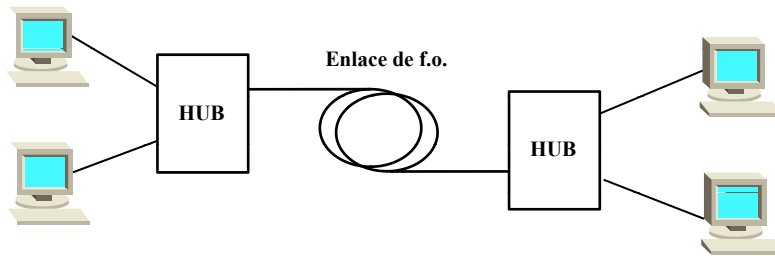
- c) Caso de *interconexión de dos subredes, aunque sean iguales, cuya conexión directa mediante cableado convencional sea imposible*. Este caso puede darse, por ejemplo, bien porque haya un obstáculo infranqueable, como una autopista o un río, entre los edificios en los que se emplazan cada una de las dos subredes, o bien porque la distancia entre ambos edificios sea excesiva para utilizar una determinada tecnología cableada. Dependiendo de cada caso, se podría, por ejemplo, usar un par de repetidores, uno en cada edificio y unirlos mediante un radioenlace (en caso de que el cableado físico no sea posible) o mediante cable de fibra óptica (en caso de que sí sea posible realizar cableado físico). En la figura 1.5 se muestra un ejemplo de los dos casos.

1.3. Interconexión a Nivel de Enlace de Datos

Un sistema de interconexión de nivel 2 (nivel de enlace de datos), como el mostrado en la figura 1.6 será necesario cuando es dicho nivel el que diferencia las subredes a interconectar, con independencia de si el nivel 1 es igual o no. Como se verá más adelante, también se podrán utilizar para interconectar subredes del mismo tipo (es decir, con los niveles 1 y 2 iguales).



a) Mediante radioenlace



b) Mediante enlace de fibra óptica

Figura 1.5. Solución al problema de cobertura

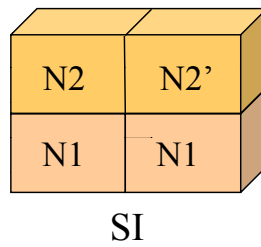


Figura 1.6. Interconexión a Nivel de Enlace de Datos o de capa 2

A los SI que conectan dos subredes a nivel 2 se les denomina bridges, puentes o incluso ‘conmutadores de nivel 2’¹. Disponen de una cierta unidad inteligente (con procesador y memoria), pues deben entender y procesar las tramas del nivel 2 de cada una de las subredes que interconectan. El funcionamiento es muy simple y se utilizará un sencillo ejemplo para su explicación.

Veamos un ejemplo del caso más sencillo, de interconexión de dos subredes cuyo nivel 2 sea diferente, por ejemplo, una subred Token-Ring y una subred Ethernet (figura 1.7). El puente recibirá por sus puertos tramas Token-Ring (TR) y tramas Ethernet, según el tipo de puerto. Cada trama que llega por uno de sus puertos se copiará en la memoria interna y se procesará.

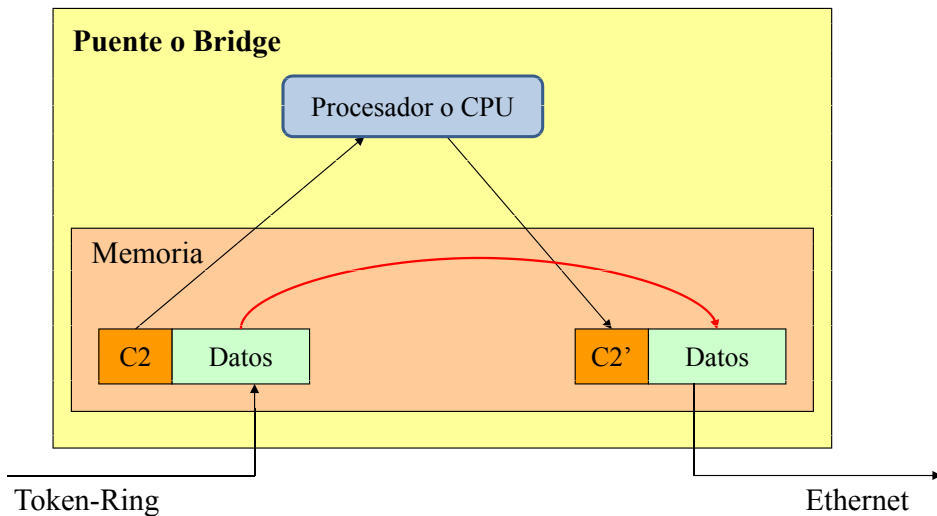


Figura 1.7. Funcionamiento de un puente o bridge

Supongamos que llega una trama por el puerto Token-Ring del puente. El procesador analizará la cabecera de dicha trama (C2) e inspeccionará principalmente su dirección de destino. Si el destino está en la propia subred Token-Ring la trama será descartada y, por tanto, eliminada de la memoria. Por otro lado, si el destino está en la red Ethernet, se eliminará la cabecera Token-Ring y se extraerá el campo de datos para conformar una trama Ethernet a enviar por el puerto de salida Ethernet. Se creará una trama con una cabecera Ethernet (C2') y se rellenará el campo de datos

¹ Cuando nos referimos a un SI, la palabra ‘conmutador’ siempre debe ir acompañada del nivel más alto al que trabaja el conmutador en cuanto a funciones de interconexión, ya que existen conmutadores que trabajan a diferentes niveles.

Para seguir leyendo haga click aquí