

1.- PREÁMBULO.

Antes de entrar a tratar el direccionamiento IP, es necesario introducir el concepto de modelo de comunicaciones y, en concreto, el denominado modelo de interconexión de sistemas abiertos, también llamado modelo OSI (*Open System Interconnection*), desarrollado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, *International Organization for Standardization*) en el año 1984. Este modelo, teórico, afronta el estudio del proceso de comunicación dividiéndolo en 7 niveles o capas, tal y como se muestra en la Figura 1. La división en estos niveles se propuso debido a la enorme complejidad del proceso global de la comunicación.

Con el fin de evitar esa complejidad global, se optó por dividir el proceso de comunicación en problemas más elementales, cuyas soluciones dieron lugar a las siete capas del modelo OSI de ISO.

No se trata, en este preámbulo de hacer un estudio sistemático del modelo de comunicaciones, pero sí de referenciar el direccionamiento IP en su lugar correspondiente.

Una buena forma de visualizar, inicialmente, el modelo OSI de ISO es imaginarlo como un edificio de siete plantas en el cual es imprescindible recorrerlas secuencialmente, tanto al subir (comunicaciones entrantes) como al bajar (comunicaciones salientes). Además, en cada una de ellas será necesario agregar (en las comunicaciones salientes) o quitar (en las comunicaciones entrantes) algún tipo de información, lo que constituye el denominado proceso de empaquetado (cuando se desciende) o desempaquetado (cuando se asciende) de la información.

Tal y como se muestra en la Figura 1, el nivel físico será el encargado de comunicar el “edificio de siete plantas” con el exterior, a través de la correspondiente línea de comunicaciones (medio de transmisión).

Este modelo es tan importante, en el estudio de las comunicaciones, que es frecuente referirse a él como al modelo de referencia. Buena prueba de ello es que incluso los equipos electrónicos que pueden formar parte de una red de transmisión de datos, se definen en función del nivel del modelo en el cual realizan su trabajo, tal y como se muestra en la Figura 1. En general, todo aquello que tenga que ver con el proceso de transmisión de datos, estará referido a uno u otro de los niveles del modelo.

Como no podía ser de otro modo, la dirección IP también está ligada a un nivel, en concreto al nivel de red (capa 3), razón por la cual se dice que es el identificador del nivel 3. Es muy importante darse cuenta que no es el único identificador del modelo, ya que la capa 2 (nivel de enlace de datos) tiene el suyo propio (**dirección física o dirección MAC**) y el nivel de transporte (capa 4) tiene otro (el **puerto**), tal y como se muestra en la Figura 1. Si bien es verdad que la dirección IP es el identificador más conocido, debemos advertir que todos ellos son imprescindibles para el correcto funcionamiento del proceso de comunicación. De hecho, en la Figura 2 se recogen los cuatro indicadores que son absolutamente imprescindibles para que cualquier mensaje pueda circular por la red.

Según lo anterior, el tratar en este apartado el direccionamiento IP, y no tratar el resto de los identificadores, no debe interpretarse como una supremacía de la IP sobre el resto de los identificadores, que iremos estudiando a lo largo del curso. Quizá, lo singular de la IP sea el que se trate del único de los identificadores con el cual interacciona, directamente, el usuario, a través de la configuración TCP/IP.

Por último, indicar que se define un identificador combinado, denominado **socket**, Figura 1, que está formado por el par (IP, puerto) y que adquiere su importancia al advertir que esa combinación (IP, puerto) no puede existir repetida en una subred. En otras palabras, un **socket** debe ser único en cada subred. Es importante señalar, que, a diferencia de los otros identificadores, el puerto (identificador de nivel de transporte) sí puede estar repetido en una subred. Dado que un **socket** debe de ser absolutamente singular, en una misma subred, se concluye que sobre una única IP no pueden habilitarse dos puertos con igual identificador.

2.- EL PROBLEMA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS NODOS DE UNA RED.

Para entender la lógica del **direccionamiento IP** (las siglas IP, hacen referencia al protocolo, del nivel de red, que gestiona este tipo de direcciones, en concreto el Protocolo de Internet -*Internet Protocol*-) es necesario tener claro el problema al que da solución.

Pero antes, es interesante convenir que llamaremos nodo o *hosts* de una subred a todo aquel equipo, sea del tipo que sea, que posea un identificador de esa subred. Independientemente de que se trate de una impresora, un PC, un servidor, un encaminador (*router*), etc.

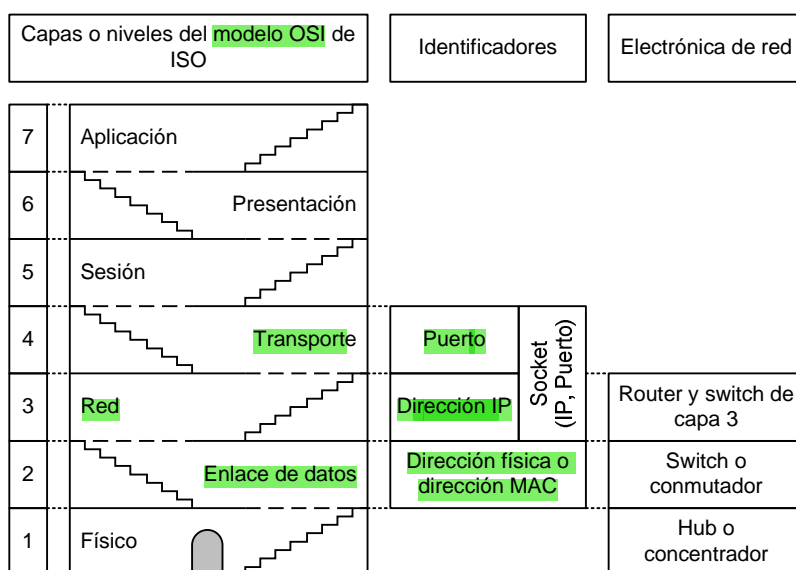


Figura 1

Enlace de datos	Red
MAC origen	IP origen
MAC destino	IP destino

Identificadores imprescindibles para que cualquier mensaje pueda circular por la red

Figura 2

Cuando alguien se planteó el conectar una serie de equipos entre sí, de forma que fuera posible compartir recursos e información entre ellos, se encontró, entre otros miles, el problema de singularizar a cada uno de los nodos de la nueva red, de forma que pudiera hacerse referencia a cada uno de ellos de forma absolutamente inequívoca.

Esto debería permitir que, cuando un nodo de la red quisiera comunicarse con otro nodo, pudiera dirigirse a él sin ningún tipo de ambigüedad. Pronto se advirtió que una buena solución sería numerarlos. Es decir, adjudicar a cada nodo un identificador numérico único, dentro de la propia red. Si se repitiera el identificador, en la propia red, se generarían ambigüedades insuperables. En base a esto se construyó la red que se muestra en la Figura 3, en la cual cada nodo tiene su identificador numérico único.

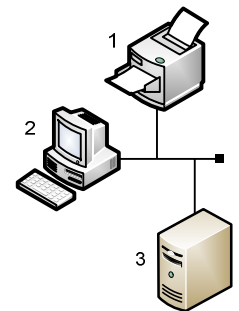


Figura 3

Esta solución funcionó de forma maravillosa, hasta que se les ocurrió que sería una buena idea el poder interconectar redes distintas. Pusieron manos a la obra y se encontraron con la situación, muy poco favorable, que se muestra en la Figura 4. En ella puede verse que aparecían identificadores de red repetidos, lo que imposibilitaba las comunicaciones.

La solución trivial sería tratar todo el conjunto como una única red, y reasignar identificadores únicos a los nodos de la misma.

Esta solución era poco práctica, pues implicaba un control absoluto de los identificadores de red asignados a cada uno de los nodos y, además, a medida que se fueran incorporando nuevas redes, a esa supared, el control absoluto de los identificadores de red se adivinaba imposible.

La solución que se adoptó fue utilizar un doble identificador, por un lado que singularizara a la subred y, por otro, a cada nodo de esa subred.

Introduciendo todas estas novedades en la figura anterior, nos quedaría algo similar a lo que se muestra en la Figura 5. En ella puede verse como se diferenciaron dos subredes (A y B) y se incorporó, al identificador de cada nodo, la referencia de su subred, de manera que ahora el identificador de nodo da dos tipos de información, la subred a la que pertenece el nodo y el nodo de que se trata (en la realidad, tanto el identificador de la subred, como el del nodo, son numéricos).

Adviértase que este sistema permite que el identificador de *host* se repita en cada una de las subredes, sin que ello cree problema alguno pues pertenecen a subredes distintas.

Además del problema de identificar subred y *host* en la interconexión de subredes, surgió otro problema, práctico, muy importante. A medida que el número de subredes interconectadas crecía, las comunicaciones se hacían más y más ineficaces, llegando a hacer posible el colapso de toda la red. ¿Por qué se corría ese peligro?

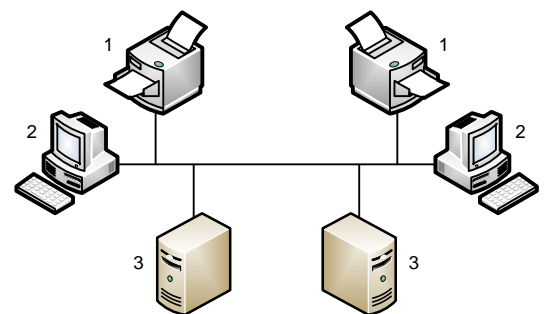


Figura 4

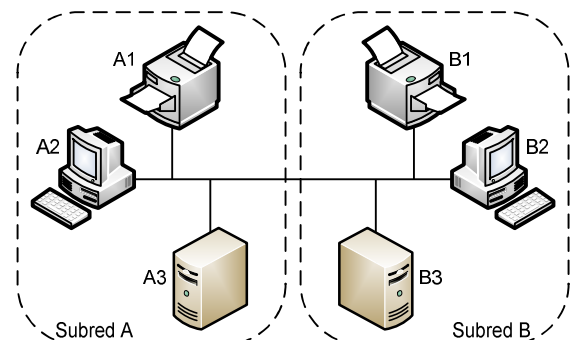


Figura 5

La respuesta se muestra en la Figura 6. Supongamos que el equipo A2 quiere comunicarse con el equipo D3. Lo que hará A2 será lanzar al medio un mensaje con la dirección de destino D3, este mensaje difundirá por el medio y llegará a todos los equipos que se encuentren conectados a esa gran red. Todos ellos comprobarán si son, o no, los destinatarios y tan solo D3 lo identificará como información para él. Adviértase que una única comunicación entre A2 y D3 llenó toda la red de información circulando y obligó, a que todos los equipos dedicaran algún tiempo a comprobar si era para ellos o no.

Normalmente, en una red de tamaño medio o grande, habrá infinidad de equipos que pretendan comunicarse con otros en cualquier momento. Lo que provocará que todos ellos lancen sus mensajes al medio, difundiendo todos ellos por los sistemas de transmisión, pudiendo llegar a saturar la red. Esta situación, de saturación de señales en la red, provoca la degradación de las mismas (por colisiones) y hace literalmente imposible la comunicación entre los equipos.

A la vista del problema planteado, se dieron cuenta que era absolutamente imprescindible mantener algún tipo de segmentación, entre las subredes interconectadas, e inventar algún método que permitiera dirigir la información, exclusivamente, a la subred de destino de la misma. Con ello nació la tecnología de interconexión de subredes, denominada **enrutamiento (routing)** y un equipo específico, el enrutador (**router**).

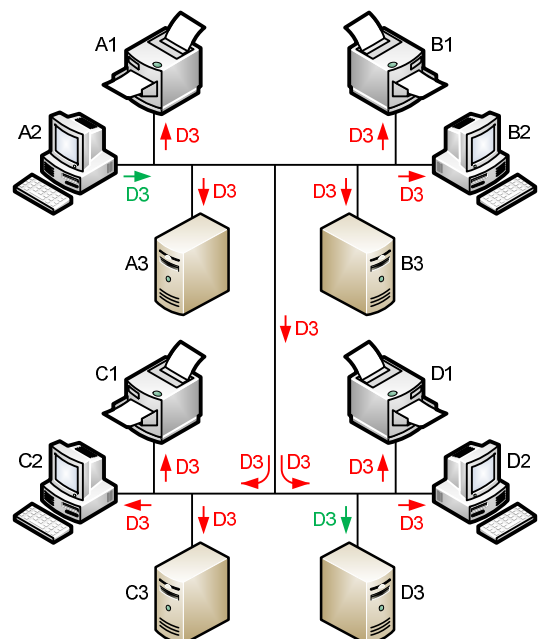


Figura 6

El funcionamiento de este nuevo equipo de electrónica de red, *router*, se muestra en la Figura 7. Como puede verse, la interconexión entre las cuatro subredes ya no se hace directamente, Figura 6, si no que todas ellas comparten un elemento común, el *router*. Adviértase que es literalmente cierto el que todas las subredes comparten el *router*, ya que obligatoriamente debe pertenecer a todas las subredes que interconecte, lo que se traduce en que debe poseer un identificador de red (IP) de

cada una de ellas, en nuestro caso tiene la A4, B4, C4 y D4 de manera que es miembro de todas ellas. Para conseguir esto, los *routers* tendrán, al menos, tantas interfaces de red (típicamente, en la actualidad, puertos RJ-45) como subredes interconecte.

Una vez incorporado el *router* a la interconexión de las subredes, ¿en qué cambió el funcionamiento del sistema? Acudiendo a la Figura 7 se comprueba que la misma comunicación entre A2 y D3 tan solo compromete, gracias a la segmentación introducida por el *router*, a la subred origen del mensaje (subred A) y a la subred en la que se encuentre el *host* destino del mismo (subred D), liberando de tráfico a las subredes B y C.

Según esto, el *router* hará el papel del cambio de agujas en la vía férrea, dirigirá el tráfico (enrutará) desde la subred de origen hacia la subred de destino, sin importunar a ninguna otra.

Continuando con la solución adoptada para el identificador de subred, cabría argumentar que, de la misma manera que antes se comentaba la imposibilidad de controlar todos y cada uno de los identificadores numéricos de cada uno de los nodos de la supranet, ahora habría que evitar que el binomio (subred, nodo) se pudiera repetir y eso requeriría un control tan absoluto como el anterior.

Pues es cierto, ese control existe. Pero basta con controlar los identificadores de subred, lo que ocurra dentro de cada subred es irrelevante a efectos de interconexión de subredes. Tal y como se ve en el ejemplo, en todas las subredes existen los nodos 1, 2, 3... y no ocurre nada, porque son subredes distintas.

En el mundo real, ese control sobre las subredes públicas que se interconectaban lo ejercía un organismo gubernamental de los Estados Unidos denominado **InterNIC -Internet Network Information Center** (Centro de Información de la Red Internet), integrado en el **Stanford Research Institute** (SRI, Instituto de Investigación de Stanford)-, hasta que en 1998 asumió ese papel, de forma oficial, el ICANN (**Internet Corporation for Assigned Names and Numbers**, corporación de Internet para la asignación de nombres y números), organismo no gubernamental.

En Europa, el equivalente al **ICANN (organismo global)**, es el **RIPE NCC (Réseaux IP Européens Network Coordination Centre**, Centro de Coordinación de redes IP europeas) que es el registro regional de Internet para Europa, Oriente Medio y partes de Asia Central. A su vez existen equivalentes nacionales como Red.es, en España. Todos estos organismos, debidamente coordinados, son los encargados de asignar y registrar las subredes públicas para evitar duplicidades.

Quizá piense que debería dar igual controlar las subredes, que los identificadores de nodos. Pues la respuesta es que no.

Veamos un ejemplo, admitamos que nos asignan la subred 147.25.0.0 con máscara 255.255.0.0. En algún ordenador del mundo habrá un único registro en el que conste que la subred indicada es nuestra. De esta subred, pueden formar parte 65.534 nodos (no se preocupe, aprenderá a calcularlo). Como se ve, no es lo mismo seguirle la pista a una subred (en genérico), que a todos y a cada uno de los nodos de la misma.

En la actualidad, el número de subredes públicas registradas es enorme, pero sólo el de *hosts* conectados a Internet (entendiendo por *hosts*, todos los ordenadores centrales que tienen una dirección IP pública asociada) se calcula que superan, con mucho, los mil millones.

Como corolario de todo esto, sacamos que: para poder acceder a cualquier nodo de una subred, necesitamos conocer la subred a la que pertenece y su identificador de nodo, dentro de la misma.

3.- DIRECCIONAMIENTO IPv4.

Cuando los investigadores empezaron a trabajar en la búsqueda de un sistema óptimo de identificación de los nodos de una subred, tenían claro que, tal y como acabamos de ver, deberían buscar un sistema que permitiera identificar a la subred y al nodo, dentro de esa subred.

La primera solución podría ser, utilizar un identificador para la subred y otro, distinto, para el nodo. Pero, sin embargo, decidieron utilizar un único identificador, que combinara ambas informaciones. Esto hacía más sencillas las consultas, ya que en una única operación se podría acceder a ambas informaciones.

¿Qué tamaño debería tener ese identificador?, pues se decidió que ocupara 4 bytes, 32 bits. En aquel momento se entendía, de forma absolutamente correcta, en términos temporales, que la capacidad de codificación de ese conjunto de 32 bits era más que suficiente, aun teniendo en cuenta un largo futuro. (Adviértase que con 32 bits es posible codificar 4.294.967.296 permutaciones distintas (2^{32}). Ya se verá que en el direccionamiento IP esto no es realmente cierto, pues se pierden codificaciones posibles por diferentes restricciones, pero da una idea de las magnitudes que se manejaban al principio de la década de los 80, y que hoy, casi 40 años después, sabemos que se quedaron cortas).

3.1.- Cálculo del número de posibles subredes y del número de nodos por subred.

Para conocer el número de subredes que es posible definir, o de *host* que puedan existir en una subred, partiendo de un número determinado de bits, acudimos al cálculo de permutaciones con repetición, según esto:

El número de permutaciones posibles (P), utilizando un conjunto de n símbolos, tomando un número r de esos símbolos será:

$$P = n^r$$

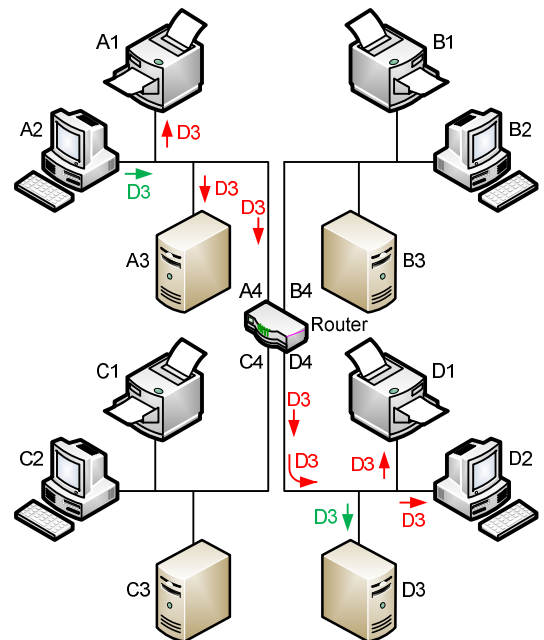


Figura 7

En nuestro caso, P es lo que nos interesa determinar, $n = 2$ (número de símbolos del sistema binario) y r será el número de bits que se utilizan para definir el identificador de subred (*ID-net*) o el identificador de *host* (*ID-host*), en cada caso.

Pongamos un ejemplo. Admitamos que trabajamos con un esquema de IP en el que se utilizan los 11 bits de mayor peso, para codificar la subred, y los 21 bits restantes como identificador de nodo. ¿Cuántas subredes distintas podrían codificarse utilizando los 11 bits indicados?, ¿cuántos *host* podrían componer cada una de las subredes anteriores?

En ambos casos es un simple cálculo de permutaciones:

$$\text{Número de subredes posibles} = n^r = 2^{11} = 2.048 \text{ subredes distintas.}$$

$$\text{Número de nodos por subred} = n^r = 2^{21} = 2.097.152 \text{ nodos por subred.}$$

De manera, que en el conjunto de esas 2.048 subredes, distintas, podrían existir 4.294.967.296 nodos ($2.048 \cdot 2.097.152 = 4.294.967.296$).

Debe advertirse que estos cálculos no son reales, ya que existen una serie de restricciones y reservas, en el direccionamiento IP, que es necesario introducir en el cálculo y que reducen, notablemente, estos valores. Pero como una primera aproximación, sí son admisibles.

3.2.- Direccionamiento con clase.

Decidido el tamaño de la codificación (32 bits), había que estudiar cómo hacer para representar, en el mismo código, la subred y el nodo. La solución, evidente, sería reservar un número determinado, y fijo, de bits de la codificación, para representar a la subred, y el resto de los bits, para identificar al nodo.

Este sistema se entendió que era demasiado rígido y obligaría a desperdiciar muchísimas codificaciones, ya que existían necesidades muy distintas y esta solución trataría, por igual, a aquel caso que requiriese muchísimos nodos en una subred (para lo cual sería necesario contar con muchos bits en la representación del nodo y pocos en el identificador de la subred) o al que requiriera muchas subredes distintas, con pocos nodos en cada una de ellas, en este caso, las necesidades de codificación son las opuestas al caso anterior, se requieren muchos bits en el identificador de subred y pocos en la parte del nodo.

Para solventar esta diversidad, de la mejor forma posible, se definieron las siguientes clases de direcciones IP.

Clase A: Estaba pensada para subredes que requieren muchísimo nodos en una misma subred, aunque el número de subredes de este tipo, que se puedan definir, sean pocas.

En esta clase de direcciones IP, el identificador de subred (*ID-net*) ocupa el byte de mayor peso (8 bits), mientras que para el identificador de nodo (*ID-host*) se utilizan los 24 bits restantes (3 bytes).

Sin tener en cuenta las restricciones existentes, que se verán más adelante, cabría esperar que con las IP de clase A se pudieran codificar 256 (2^8) subredes distintas, teniendo, cada una de ellas, un máximo de 16.777.216 nodos (2^{24}).

Clase B: Se reparte la codificación IP al 50%, los 16 bits (2 bytes) de mayor peso se utilizan para el *ID-net* y los 16 bits (2 bytes) restantes se utilizan como identificador de nodo (*ID-host*). En este caso, es posible definir muchas subredes con un número bastante grande de nodos.

En concreto, y sin tener en cuenta las restricciones existentes, que se verán más adelante, cabría esperar que con las IP de clase B se pudieran codificar 65.536 (2^{16}) subredes distintas, teniendo, cada una de ellas, un máximo de 65.536 nodos (2^{16}).

Clase C: Es el caso inverso a la IP de clase A. Aquí se reservan los 3 bytes de mayor peso (24 bits) para identificar la subred y los 8 bits restantes (el byte de menor peso), como identificador de nodo.

Sin tener en cuenta las restricciones existentes, que se verán más adelante, cabría esperar que con las IP de clase C se pudieran codificar 16.777.216 (2^{24}) subredes distintas, teniendo, cada una de ellas, un máximo de 256 nodos (2^8).

Además de estas clases, se definieron dos clases más, para usos especiales.

Clase D: Se creó para permitir la multidifusión (*multicast*) en una subred IP. Una dirección de multidifusión es una dirección de subred única que dirige paquetes, con esa dirección de destino única, a grupos predefinidos de equipos que formen parte de ese grupo *multicast* concreto.

Así, por ejemplo, algunas versiones del sistema *Windows* tienen habilitado el soporte para la subred *multicast* 224.0.0.0 con máscara 240.0.0.0.

Clase E: Las direcciones de esta clase están reservadas para uso del IETF¹, con fines de investigación.

Una vez definidas las distintas clases de direcciones IP, era necesario buscar un sistema que permitiera diferenciarlas. Es decir, cómo distinguiríamos una dirección de clase A de una de clase C. Advuértase, que un error en esta diferenciación, tiraría por tierra todo el esquema de direccionamiento planteado.

Lo que se decidió fue utilizar los bits de mayor peso, de una dirección IP, para codificar la clase a la que pertenecía esa IP.

En la tabla siguiente se muestra la codificación correspondiente a cada una de las clases.

¹ *Internet Engineering Task Force* (Grupo Especial sobre Ingeniería de Internet), es una organización internacional, abierta, de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet, actuando en diversas áreas, como transporte, encaminamiento, seguridad, etc.. Es la entidad que regula las propuestas y los estándares de Internet, a través de documentos conocidos como RFC.

RFC (*Request For Comments* -Petición de Comentarios-) son una serie de publicaciones cuyo contenido es una propuesta oficial para un nuevo estándar de Internet, que se explica con todo detalle para que pueda ser implementado sin ambigüedades.

Clase	Número de <i>bytes</i> utilizados en el <i>ID-net</i>	Plantilla del <i>byte</i> de mayor peso (<i>byte</i> de la izquierda)	Número de <i>bits</i> , efectivos, del identificador de subred	Número, teórico, de subredes posibles
A	1	0 _____	7 (8-1)	128 (2 ⁷)
B	2	10 _____	14 (16-2)	16.384 (2 ¹⁴)
C	3	110 _____	21 (24-3)	2.097.152 (2 ²¹)
D	No definido	1110 _____ Multicast	No definido	No definido
E	No definido	1111 _____ Uso experimental	No definido	No definido

Como puede comprobarse, este sistema tiene una repercusión enorme en el número de subredes, de cada una de las clases, que pueden codificarse. Compárese el resultado recogido en la tabla, con el comentado anteriormente, y se comprobará que, por ejemplo, en la clase A se pasó de una capacidad de codificación de 256 subredes (2⁸) a 128 (2⁷), debido a que el bit de mayor peso ya no puede utilizarse para codificar subredes, pues tiene un valor fijo, cero (0), para indicar que la IP pertenece a la clase A.

Sin duda habrá advertido que cuando se trata de calcular el número de subredes, o de nodos, que es posible codificar con un número determinado de bits, siempre se indicó que se trata de un resultado teórico. Esto se debe a que, al número así obtenido, es necesario restarle algunas codificaciones posibles, pero que están reservadas para usos específicos. Estas restricciones se tratarán más adelante.

Este sistema de direccionamiento con clase, pronto se vio que era demasiado rígido y que obligaba, a menudo, a derrochar enormes cantidades de direcciones, lo que rápido puso en la senda del agotamiento a las direcciones IPv4. Para hacerse una idea del problema, adviértase que a una compañía que contara con 260 *hosts*, se le asignaría una subred de clase B, ya que con una de clase C no podría direccionar sus 260 equipos. Según esto, la compañía usaría las 260 IP necesarias para sus nodos, pero se desperdiciarían algo más de 65.000 direcciones, que nadie, a excepción de esa compañía, podría usar.

3.3.- Direccionamiento sin clase (CIDR).

A la vista de los problemas planteados por el sistema de direccionamiento con clase, pronto se empezó a pensar en una solución que permitiera un mejor aprovechamiento de las direcciones IP.

Como solución surgió, al comienzo de la década de los 90, el denominado direccionamiento sin clase (CIDR, *Classless Inter-Domain Routing* - enrutamiento entre dominios sin clases), que permite asignar, a cada compañía u organización, bloques de direcciones apropiadas al número de nodos que se pretenda direccionar, minimizando el dispendio de direcciones IP.

El direccionamiento sin clase, que es el sistema que se utiliza en la actualidad, trajo como novedad la incorporación de la máscara de subred. Básicamente se trata de una plantilla que, "superpuesta" a una dirección IP, permite determinar qué bits de esa IP codifican la subred (*ID-net*) y cuáles el nodo o *host* (*ID-host*).

La máscara de subred está compuesta por 32 bits, tamaño idéntico al de una dirección IP, en la cual aparecerán a uno (1) aquellos bits que codifican, en la IP, el identificador de subred (*ID-net*) y a cero (0) aquellos que codifican el identificador de *host* (*ID-host*). Los bits que identifican al *ID-net*, deben ocupar las posiciones de mayor peso y ser contiguos. A este conjunto de bits a uno (1) se le denomina prefijo de la máscara o, simplemente, prefijo. Y al número de bits que componen el *ID-net* se le llama longitud del prefijo.

Para saber a qué subred pertenece una IP, tan sólo hay que realizar una operación lógica AND, entre la IP y la máscara de subred, tal y como se muestra en el siguiente ejemplo.

	Formato decimal con puntos	Codificación binaria
IP	192.168.169.171	11000000 10101000 10101001 10101011
Máscara de subred	255.255.224.0	11111111 11111111 11100000 00000000
	Resultado del AND en binario	11000000 10101000 10100000 00000000
	Resultado del AND en formato decimal con puntos	192.168.160.0

En este caso, la dirección de subred correspondiente sería la 192.168.160.0 con máscara de subred 255.255.224.0, lo que implica una longitud de prefijo de 19 bits (número de bits a uno (1) en la máscara de subred).

Según esto, la máscara de subred se construye en función del número de subredes, y de nodos, que es necesario direccionar en cada caso. Siendo tan válida una máscara con 16 bits a uno, como otra con 7 bits a uno. Todo dependerá de lo que interese, más subredes o más nodos.

A pesar de que ya hace muchos años, al menos 30, que se abandonó el direccionamiento con clases, y con ello casi todas sus restricciones, sigue hablándose, por razones históricas y de compatibilidad entre sistemas, de clases en las direcciones IP, estableciéndose la siguiente relación entre las antiguas clases y la actual máscara de subred.

Máscara de subred	Antigua clase
255.0.0.0	A
255.255.0.0	B
255.255.255.0	C

Esta tabla no debe hacernos olvidar que las máscaras de subred, aquí mostradas, son los casos particulares que coinciden con las clases definidas, hace más de treinta años. Pero son tan correctas, por ejemplo, las máscaras 248.0.0.0; 255.224.0.0 y 255.255.128.0 como las que se muestran en la tabla.

En la actualidad, cuando un sistema operativo nos sugiere una máscara de subred para una IP, como hace *Windows* o *Ubuntu Desktop*, lo que hace es comprobar los bits de mayor peso de la dirección IP introducida, buscando las codificaciones de clase definidas en el enrutamiento con clase.

3.4.- Formatos para la representación de una dirección IP y su correspondiente máscara de subred.

A la hora de representar una dirección IP podemos encontrarnos con diferentes formatos.

3.4.1.- REPRESENTACIÓN BINARIA.

En este caso, la dirección IP, y la correspondiente máscara de subred, se representan por el conjunto de los **32 bits**, en codificación binaria, que las componen, tal y como la utilizaría, internamente, el sistema.

Un ejemplo de esta representación binaria sería 11000000101010000000000000000001.

3.4.2.- REPRESENTACIÓN EN EL FORMATO DECIMAL CON PUNTOS.

Para obtener esta representación, se parte de la codificación binaria de la dirección IP, y se representa cada uno de los bytes que la componen (8 bits), por su correspondiente codificación decimal, separando la representación decimal de cada byte por un punto. De forma paralela, se operaría con la correspondiente máscara de subred.

Por ejemplo:

Representación binaria de la dirección IP	11000000101010000000000000000001
Representación en formato decimal con puntos de la dirección IP	192.168.0.1

3.4.3.- REPRESENTACIÓN EN EL FORMATO DE BARRA INCLINADA O NOTACIÓN CIDR.

En este tipo de representación, de una dirección IP, se añade, a la derecha del formato decimal con puntos, el número de bits que en la máscara de subred, correspondiente a la subred de la IP en cuestión, aparecen a uno (1) (longitud de prefijo), separado por una barra inclinada.

Por ejemplo, a la dirección de subred 176.16.0.0, con máscara de subred 255.240.0.0, le correspondería la representación 176.16.0.0/12, ya que la longitud del prefijo es de 12 bits (número de bits a uno (1), en la máscara de subred).

Este formato es, en la actualidad, el más utilizado.

3.5.- Numeración de los bytes de una dirección IPv4.

Para referirse a los bytes de una dirección IPv4, cuando esta se expresa en el formato decimal con puntos, suele denominarse como primer byte a aquel que ocupa la posición de la izquierda y, en consecuencia, será el cuarto byte el que se encuentre a la derecha de la dirección IPv4, tal y como se muestra en el ejemplo de la Figura 8.

1^{er} byte 2^o byte 3^{er} byte 4^o byte
192 . 168 . 222 . 254

Figura 8

3.6.- Tipos de direccionamiento de comunicación: *unicast*, *broadcast* y *multicast*.

Antes de cerrar el modelo del direccionamiento sin clase, introduciendo las restricciones que existen tanto en la parte del identificador de subred como en la parte del identificador de *host*, es conveniente ver los diferentes tipos de direccionamiento que existen, atendiendo a los posibles destinos. Ya que en algunos casos, estas restricciones tienen su origen en las reservas que se hacen para gestionar algunos de estos tipos de comunicaciones.

3.6.1.- COMUNICACIÓN Y DIRECCIONES UNICAST (UNIDIFUSIÓN).

Es el caso de la comunicación habitual. En ella, un nodo determinado se comunica con otro nodo específico. De manera que la comunicación tendrá un origen específico y singular (IP origen) y un destino, igualmente, específico y singular (IP destino).

Se trataría por lo tanto de una comunicación *unicast*, **nodo a nodo**, utilizando direcciones *unicast* como origen y destino (la IP propia del *host* origen, como IP origen, y la IP propia del *host* de destino, como IP destino). En la Figura 9 se muestra la captura de una trama correspondiente a un diálogo *unicast*.

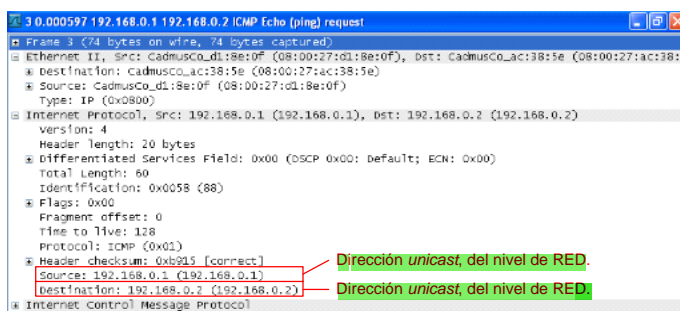


Figura 9

A las direcciones *unicast*, se les suele denominar direcciones de *host*.

3.6.2.- COMUNICACIÓN Y DIRECCIONES DE BROADCAST (DIFUSIÓN).

En este tipo de comunicación se utiliza, como dirección de destino, una dirección especial (dirección de *broadcast*), que hace que ese paquete llegue a todos los nodos de la subred y que todos ellos lo atiendan (lo procesarán igual que harían en el caso de que la dirección de destino fuera la suya específica), independientemente de que, a posteriori, puedan responder o no.

Este tipo de comunicación está restringido a la propia subred, ya que los paquetes de *broadcast* no se enrutan, y se utilizan, por ejemplo, para solicitar algún tipo de servicio a un servidor no conocido (cuya dirección *unicast* no se conoce) de nuestra propia subred, de manera que se genera un mensaje de *broadcast* con la esperanza de que llegue a ese servidor desconocido.

En este caso, la dirección origen puede ser una dirección *unicast* (la propia del *host* que generó y puso en circulación el paquete de *broadcast*), o una dirección especial que hace referencia a la subred (dirección 0.0.0.0; por ejemplo, en el caso de las peticiones de configuración TCP/IP, que hacen los clientes DHCP al correspondiente servidor).

Existen dos tipos de *broadcast*.

- a) **Broadcast dirigido (broadcast de subred).** En este tipo de *broadcast*, el mensaje se envía a todos los nodos de una subred específica, utilizando como dirección de destino la IP más alta de la subred de que se trate. O lo que es lo mismo, la dirección de *broadcast* de subred, que se obtiene poniendo a uno (1) todos los bits del *ID-host* de la subred en cuestión.

Por ejemplo, imaginemos que quisiéramos enviar un *broadcast* dirigido a la subred 192.168.0.0/24, en este caso usaríamos como dirección de destino la dirección 192.168.0.255. En la Figura 10 se muestra la captura de una trama con una dirección de destino de *broadcast* de subred (*broadcast* dirigido).

Normalmente, los *routers* no enrutan paquetes de *broadcast* dirigido, aunque podrían configurarse para que sí lo hicieran, en cuyo caso podríamos enviar un *broadcast* dirigido desde cualquier subred a cualquier otra. El enrutamiento de este tipo de mensajes, pudiera presentar ciertos problemas de seguridad para la subred destino (tormenta de *broadcast*).

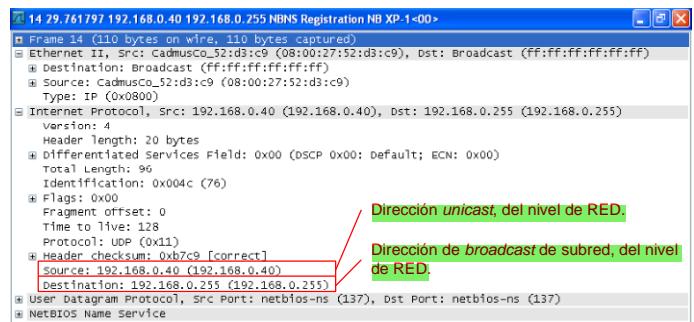


Figura 10

- b) **Broadcast limitado.** Los paquetes de *broadcast* limitado utilizan una dirección de destino distinta a la anterior, en ella los 32 bits están a uno (1), dando la dirección 255.255.255.255. En la Figura 11 se muestra la captura de una trama en la cual, la dirección de destino es de *broadcast* (*broadcast* limitado).

Los *routers* no enrutan esta dirección de *broadcast*, con lo cual sólo surtirá efecto en nuestra LAN (**Local Area Network**, red de área local), razón por la cual, a las LAN, también se les denomina dominio de *broadcast*, siendo los *routers* las fronteras de ese dominio.

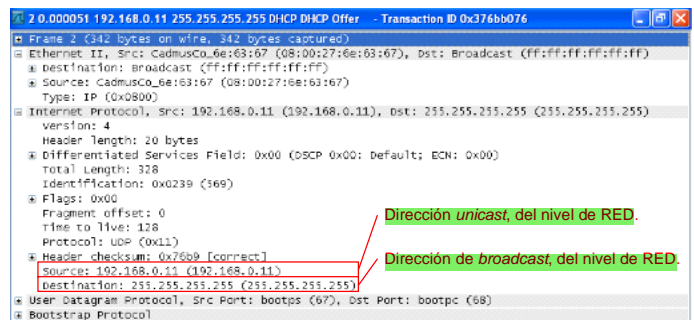


Figura 11

3.6.3.- COMUNICACIÓN Y DIRECCIONES DE MULTICAST (MULTIDIFUSIÓN).

Este tipo de comunicación está pensado para optimizar la utilización del ancho de banda disponible en una subred, ya que permite enviar el mismo mensaje, a un conjunto de *hosts* seleccionados (grupo de *multicast*), utilizando una única dirección IP de destino, dirección de *multicast*. Para que esta comunicación funcione, es necesario que se esté ejecutando, en los *hosts* destino, un cliente *multicast*.

Cuando un *host* se une a un grupo *multicast*, procesará los paquetes dirigidos a la dirección *multicast* del grupo, así como los que tengan por destino la dirección *unicast*, exclusiva, que le corresponda al nodo.

Para las direcciones de *multicast*, se reserva el bloque de direcciones, que va de la 224.0.0.0 a la 239.255.255.255. En la Figura 12 se muestra una captura en la cual, la dirección de destino es una dirección *multicast* (224.0.0.251), de la subred 224.0.0.0. Recuérdese que las subredes reservadas para el tráfico *multicast* son las correspondientes a la clase D. Esta reserva se mantiene en el direccionamiento sin clase (CIDR).

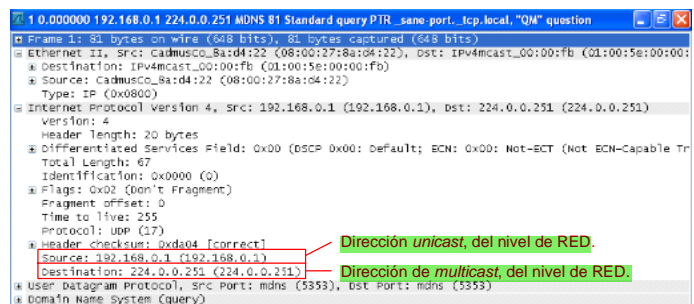


Figura 12

3.7.- Restricciones en el uso de identificadores de subred y *host*.

Tal y como se viene comentado, a lo largo de estos puntos, existen una serie de restricciones que hacen que no todos los identificadores, de subred y de *host*, que se pueden codificar sean utilizables por el usuario, ya que algunos están reservados para usos específicos o para usos no determinados. Veamos cuales son estas restricciones.

3.7.1.- RESTRICCIONES EN EL IDENTIFICADOR DE SUBRED.

- a) **El byte de mayor peso, de una dirección IP, no puede superar el valor 223 (11011111),** ya que el rango de direcciones de subred 224.0.0.0 a 239.255.255.255 está reservado para el direccionamiento de grupos *multicast*, el rango de direcciones de subred 240.0.0.0 a 255.255.255.254 está reservado para uso de investigación o experimentación y la IP 255.255.255.255 es la denominada dirección de *broadcast* limitado (difusión).

De hecho, en los sistemas *Windows*, si se intenta configurar una dirección IP con un valor superior a 223, en el byte de mayor peso, se genera el mensaje de error que se muestra en la Figura 13.

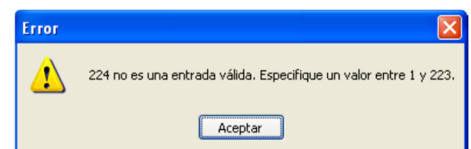


Figura 13

Windows, también configura la subred de *multicast* 224.0.0.0/4, para uso del sistema, tal y como se aprecia en la Figura 14.

- b) **La dirección 0.0.0.0; denominada ruta predeterminada, se utiliza en las tablas de enrutamiento** para indicar la ruta hacia la que dirigir un paquete, cuando la subred correspondiente a la IP de destino es desconocida para ese nodo.

Esta entrada, en la tabla de enrutado, se genera a partir de la puerta de enlace predeterminada, o *gateway*, configurada en el equipo.

La entrada correspondiente a la dirección 0.0.0.0, en la tabla de enrutado de un sistema *Windows*, se muestra en la Figura 14.

Esta misma dirección, 0.0.0.0, la utiliza el cliente del servicio de DHCP (Protocolo de Configuración Dinámica de Equipo -*Dynamic Host Configuration Protocol*), como su propia dirección (dirección de origen), cuando hace la petición de configuración al correspondiente servidor DHCP, tal y como se muestra en la Figura 15, utilizando como dirección de destino la de *broadcast* limitado (255.255.255.255).

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.254	192.168.0.1	20
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.0.1	192.168.0.1	20
192.168.0.1	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
192.168.0.255	255.255.255.255	192.168.0.1	192.168.0.1	20
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.1	20
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.0.1	192.168.0.1	1
Puerta de enlace predeterminada:		192.168.0.254		

Figura 14

- c) El conjunto de bits correspondientes al identificador de subred, en una IP, no puede tener el valor cero. Ya que esa codificación se reserva para hacer referencia a la propia subred, sea cual sea la subred. Así, por ejemplo, la IP 0.0.0.35/26 identificaría al nodo 35 de la propia subred, siendo, ésta, cualquiera de las subredes válidas con máscara de 26 bits.

Frame 1: 342 bytes on wire (2736 bits), 342 bytes captured (2736 bits)
Ethernet II, Src: CadmusCo_52:d3:c9 (08:00:27:52:d3:c9), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
Source: CadmusCo_52:d3:c9 (08:00:27:52:d3:c9)
Type: IP (0x0800)
Internet Protocol Version 4, Src: 0.0.0.0 (0.0.0.0), Dst: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
Version: 4
Header Length: 20 bytes
Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))
Total Length: 328
Identification: 0x0000 (0)
Flags: 0x00
Fragment offset: 0
Time to live: 128
Protocol: UDP (17)
Header checksum: 0x39a6 [correct]
Source: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Destination: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
User Datagram Protocol, Src Port: bootpc (68), Dst Port: bootps (67)
Bootstrap Protocol

Figura 15

- d) La dirección 255.255.255.255, denominada dirección de *broadcast*, se utiliza para enviar paquetes a todo aquel nodo que lo reciba. Por ejemplo, se emplea, como IP de destino, en las peticiones que hace un equipo cuando se enciende y necesita que un servidor DHCP le facilite su configuración TCP/IP (Figura 15). Simplemente lanza una petición esperando que, en algún lugar, exista un servidor DHCP que reciba esa petición y la atienda. Ese "algún lugar", se restringe a la propia subred, ya que un paquete con una dirección de *broadcast* 255.255.255.255, como dirección IP de destino, no se enruta (razón por la se denomina *broadcast* limitado).
- e) El byte de mayor peso, de una dirección IP, no puede tener el valor 127, ya que el bloque de direcciones 127.0.0.0 a 127.255.255.255 está reservado, en los *hosts*, como dirección de *loopback* (bucle interno).

La dirección de *loopback* es una dirección especial que los *hosts* utilizan para dirigir el tráfico hacia sí mismos. La dirección de *loopback* crea un método abreviado para las aplicaciones y los servicios TCP/IP que se ejecutan en el mismo dispositivo. Mediante esta dirección las aplicaciones y servicios, que se ejecutan en el propio nodo, pueden evitar las capas inferiores de la pila TCP/IP cuando se comuniquen con él mismo.

Aunque sólo se utilizan unas cuantas direcciones IP de la subred 127.0.0.0/8; cualquier dirección del bloque de direcciones 127.0.0.0 a 127.255.255.255 se enrutará dentro del *host* local. En la Figura 14 pueden verse las entradas correspondientes al bucle local, en la tabla de enrutado de un sistema *Windows*. En una de ellas, la señalada, se establece la relación entre la dirección IP del equipo (192.168.0.1) y la IP 127.0.0.1 del bucle local. En la otra entrada, se relaciona cualquier IP de la subred 127.0.0.0 con la 127.0.0.1.

El administrador del sistema, puede utilizar la IP 127.0.0.1, o cualquier otra IP de la subred 127.0.0.0/8, para comprobar el correcto funcionamiento de la pila TCP/IP en el *host* local, lanzando un *ping* a esa IP.

- f) La subred 169.254.0.0/16 (con el bloque de direcciones IP 169.254.0.0 a la 169.254.255.255) se denomina subred **APIPA** (**A**utomatic **P**rivate **I**P **A**ddressing, asignación automática de direcciones IP privadas. RFC 3927, *Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses*, mayo de 2005), y se utiliza, en redes locales, como subred de autoconfiguración de los nodos. En una subred APIPA, los nodos autoconfiguran su TCP/IP, automáticamente, sin necesidad de ningún servicio de configuración automática centralizado (DHCP).

Según esto, la subred 169.254.0.0/16 debe considerarse reservada en su uso. En la actualidad, prácticamente todos los sistemas operativos incorporan la subred APIPA como sistema de autoconfiguración.

3.7.2.- RESTRICCIONES EN EL IDENTIFICADOR DE HOST.

- a) En una dirección IP, el conjunto de bits correspondiente al identificador de *host*, no puede tener el valor cero. Esa IP se reserva como IP de subred. Ejemplo: 192.168.0.0/24, es la dirección de la subred 192.168.0.0 con máscara 255.255.255.0. Véase la Figura 14.
- b) En una dirección IP, el conjunto de bits correspondiente al identificador de *host*, no pueden tener el valor uno. Esa dirección IP se denomina dirección de *broadcast* de subred (razón por la que se denomina de *broadcast* dirigido) y se utiliza para enviar un paquete a todos los nodos de una subred específica.

Por ejemplo, la IP 192.168.0.255/24, sería la dirección de *broadcast* de la subred 192.168.0.0/24 y cuando aparece como dirección IP de destino, en un paquete, podría traducirse diciendo, que el destinatario de ese paquete son todos los nodos de la subred 192.168.0.0/24.

Es posible configurar los *routers* para que gestionen (enruten) este tipo de direcciones.

3.7.3.- INTRODUCCIÓN DE LAS RESTRICCIONES VISTAS EN EL CÁLCULO DEL NÚMERO DE POSIBLES SUBREDES Y DEL NÚMERO DE NODOS POR SUBRED.

- a) Tal y como se ha visto, un identificador de subred no puede tener todos sus bits a cero (0), ni puede tener todos sus bits a uno (1).
- b) En el caso de los identificadores de *host*, no pueden ser todos los bits cero (0), sería la dirección IP de la subred, ni todos los bits uno (1), sería la dirección de *broadcast* de subred.

Según esto, cuando se calcule el número de subredes, o de *host*, que es posible codificar con un número determinado de bits, es necesario restarle estas dos codificaciones posibles, pero de uso reservado. De manera, que la fórmula vista con anterioridad para estos cálculos quedaría como:

$$\text{El número de subredes o el número de hosts} = 2^n - 2$$

Siendo n el número de bits a utilizar en la codificación de subredes o de *hosts*.

3.8.- Direcciones privadas y públicas.

Se entiende por direcciones privadas, aquellas que se reservaron para su uso en las LAN y que, en consecuencia, no serán enrutadas por los *routers* públicos de Internet. Si un *router*, público, recibe un paquete con destino a una subred privada, no podría enrutarlo pues carece de las rutas apropiadas y, en consecuencia, lo desearía eliminándolo de la red.

En cualquier caso; la electrónica de red de la LAN, debe evitar que un paquete con IP privada llegue a Internet.

Los bloques de direcciones privadas, establecidos por la IETF en su RFC 1918 (*Address Allocation for Private Internets*, asignación de direcciones para subredes privadas, de febrero de 1996), son:

- a) 10.0.0.0/8 (de la 10.0.0.0 a la 10.255.255.255; direcciones de *host* de la 10.0.0.1 a la 10.255.255.254).
- b) 172.16.0.0/12 (de la 172.16.0.0 a la 172.31.255.255; direcciones de *host* de la 172.16.0.1 a la 172.31.255.254).
- c) 192.168.0.0/16 (de la 192.168.0.0 a la 192.168.255.255; direcciones de *host* de la 192.168.0.1 a la 192.168.255.254).

Siendo estas las direcciones que deben usarse en las subredes privadas, y no otras.

Es interesante destacar que en el uso de estas subredes privadas no hay obligación de respetar las máscaras indicadas, siempre y cuando se utilicen longitudes de prefijo iguales o mayores que las utilizadas en el estándar, para cada una de ellas. Así, por ejemplo, es muy típico emplear, en las LAN pequeñas, la subred 192.168.0.0 con máscara de 24 bits. Esa subred está dentro del rango de las privadas, ya que su máscara es mayor que los 16 bits del estándar, de forma que constituye un pequeño subconjunto de las posibles subredes que se pueden definir dentro de esa "suprared" 192.168.0.0/16 establecida. De manera que respetando la IP de subred del estándar, y el tamaño mínimo de la máscara, que es el consta en el RFC, podemos adaptar esas subredes a nuestros intereses particulares, jugando con el tamaño del *ID-net* y del *ID-host*. En la Figura 16 se intenta representar este concepto, de forma gráfica.

La subred APIPA (169.254.0.0/16; RFC 3927, *Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses* (direccionamiento privado automático del Protocolo de Internet, versión 4), mayo de 2005), también tiene la consideración de subred privada, pero reservada para su uso como subred de configuración automática de IP privadas.

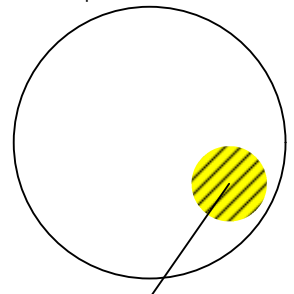
Son direcciones públicas, aquellas cuyas subredes son accesibles a través de Internet, es decir aquellas que son enrutables por los *routers* públicos.

Para, que desde una subred privada, pueda salirse a Internet es necesario que alguien nos preste una dirección IP pública. Ese alguien es el operador que nos proporciona el acceso a Internet (ISP, *Internet Service Provider*, proveedor de servicios de Internet), que nos prestará, mediante un procedimiento denominado NAT (*Network Address Translation*, traducción de dirección de red), que se realiza en el *router* de nuestra LAN, una de las IP que le concedió el ICANN, o el organismo correspondiente. Normalmente esta IP pública será compartida por todos los *host* de nuestra LAN de forma dinámica, y completamente transparente para el usuario, y no será otra que la IP pública que tenga configurado el *router* de nuestra LAN, en su interfaz pública.

Básicamente, el *router* de la LAN, cuando recibe un paquete con una IP pública como destino, modifica el paquete original sustituyendo la IP origen, del *host* de la LAN privada, por la IP pública que le asignó el ISP y envía el paquete a Internet, este cambio en la dirección origen del paquete se denomina SNAT (*Source Network Address Translation*, traducción de dirección origen de red).

Cuando recibe la respuesta, hace el cambio contrario, sustituye la IP pública de destino, en la respuesta -que es la que nos asignó el ISP- por la IP privada del *host* que, en su momento, envió el paquete

Conjunto de direcciones de la subred privada 192.168.0.0/16



Conjunto de direcciones de la subred privada 192.168.0.0/24

Figura 16

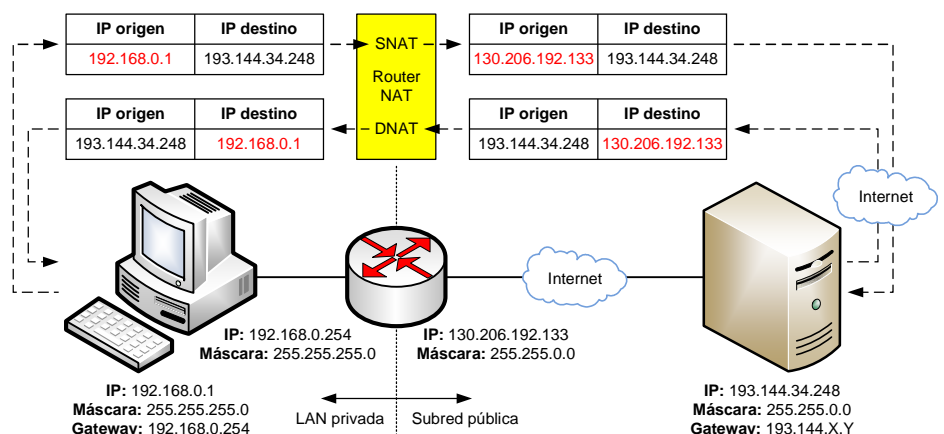


Figura 17

que genera esa respuesta, a Internet. Este nuevo cambio se denomina DNAT (*Destination Network Address Translation*, traducción de dirección destino de red)

En la Figura 17 se muestra un ejemplo de diálogo, cliente-servidor, en el que se realiza una traducción de dirección de red (NAT).

Es muy importante destacar, que el único caso en el que se modifican las direcciones IP de un paquete, es cuando existe un proceso NAT a lo largo de la ruta que recorra el paquete. En un enrutamiento convencional, no se modifica el contenido de los campos IP del paquete.

Por otro lado, parece justo mencionar que pocas cosas contribuyeron tanto al alargamiento de la vida del direccionamiento IPv4, como el mecanismo del NAT. Ya que gracias a él, es posible que un gran número de equipos compartan una misma IP pública, con el consiguiente ahorro en el uso de las mismas.

4.- DIRECCIONAMIENTO ESTÁTICO O DINÁMICO.

Las direcciones de la subred se le pueden asignar a los nodos de forma estática o dinámica.

a) Asignación estática de direcciones.

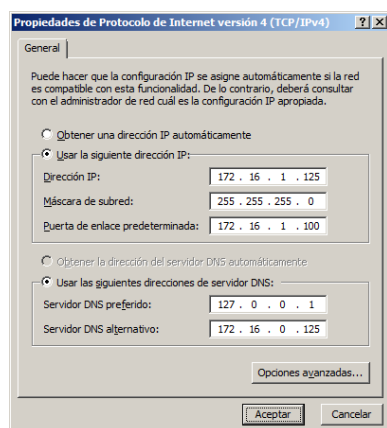


Figura 18

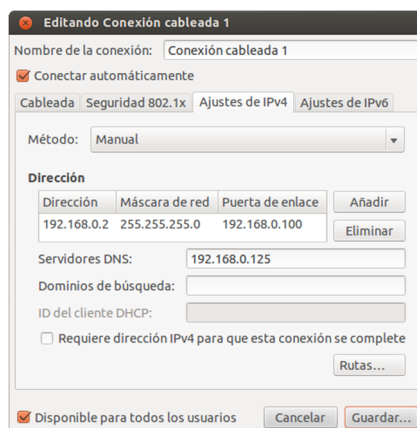


Figura 19

```
auto lo
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet static
address 10.16.0.125
netmask 255.255.255.0
gateway 10.16.0.100

dns-nameservers 172.16.0.125 172.16.1.125
```

En este caso, es el administrador de la red el que configura manualmente la información de la subred para el *host*, siendo su responsabilidad el verificar que no existan direcciones duplicadas en la misma. Típicamente debería configurar IP, máscara de subred, puerta de enlace (*gateway*) y DNS (uno o varios, normalmente dos).

Suele usarse en redes pequeñas o en aquellos equipos a los que acceden el resto de los nodos de la subred, a través de su IP; solicitando, de los mismos, la prestación de algún servicio, por ejemplo impresoras de red o servidores, ya que un cambio en la IP de los mismos provocaría que el resto de los nodos no pudieran acceder a sus servicios, pues los buscarían en una dirección IP en la que ya no responderían. Según esto, sería necesario reconfigurar todos los nodos, cada vez que cambiara la IP de ese equipo que presta algún servicio al resto.

En la Figura 18 pueden verse ejemplos de asignación estática de configuración TCP/IP en entornos gráficos, correspondiendo a sistemas *Windows* y al caso del *Ubuntu Desktop 14.04 LTS*.

En la Figura 19 se muestra un ejemplo de configuración TCP/IP a través del correspondiente fichero de configuración, en este ejemplo se muestra el fichero */etc/network/interfaces* de un *Ubuntu Server 14.04 LTS*. La Figura 20, presenta un ejemplo de la configuración TCP/IP de un dispositivo móvil corriendo el sistema operativo *Android*, adviértase que en este caso no se configura la máscara de subred, si no la longitud del prefijo de subred, directamente.

b) Asignación dinámica de direcciones.

Se asignan de forma automática a través de un servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*, Protocolo de configuración dinámica de *host*).

Al arrancar un nodo de la subred, lanza una petición DHCP al medio (con IP origen 0.0.0.0 e IP destino 255.255.255.255) a través de la cual solicita al servidor DHCP de la subred (cuya IP desconoce, razón por la que se dirige a él utilizando la dirección de difusión (*broadcast*)) que le suministre una configuración TCP/IP completa (típicamente: IP, máscara de subred, puerta de enlace (*gateway*), DNS (uno o varios, normalmente dos) y, en su caso, dominio).

La configuración TCP/IP que suministra el servidor DHCP se hace en términos de préstamo; es decir, ese *host* sólo puede utilizarla un tiempo determinado. En caso de que desee continuar usándola debe solicitar, del servidor DHCP, la prórroga del préstamo. Este mecanismo facilita que, en principio, cuando un *hosts* deje de usar una dirección, ésta le pueda ser concedida

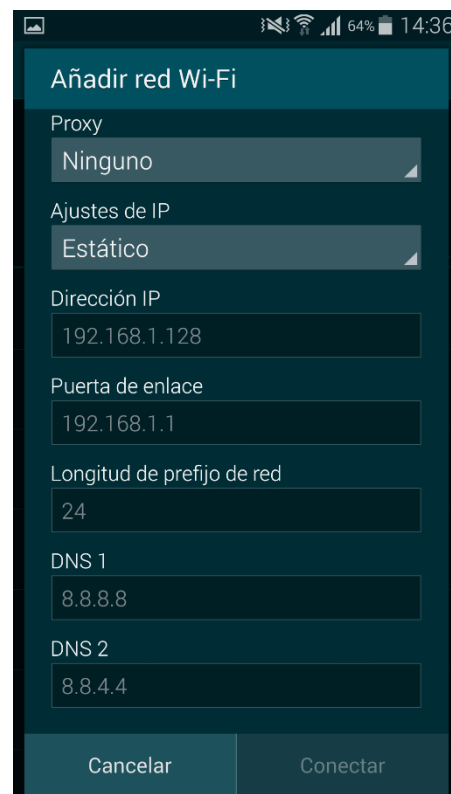


Figura 20

a otro nodo que solicite nueva configuración, lo que permite dar servicio a un número mayor de clientes que de direcciones IP disponibles, siempre y cuando estos clientes no se conecten de forma concurrente.

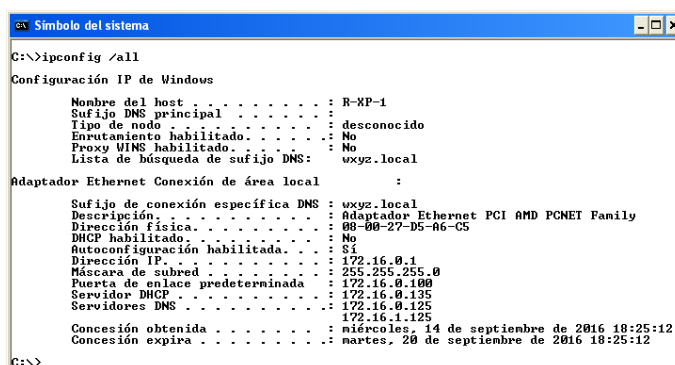
Si la configuración del servidor DHCP es correcta, se evitará el problema de duplicidades de direcciones IP en la subred. El propio servidor se ocupará de que eso no ocurra.

El servicio DHCP, posee mecanismos que permiten hacer reservas de IP para equipos específicos. De manera, que cuando el servidor DHCP reciba una petición del nodo concreto, siempre le asigne la misma IP. Este mecanismo se utiliza para impresoras de red, etc.

En la Figura 21, se muestra un ejemplo de configuración TCP/IP asignada, a un nodo, mediante un servidor DHCP (en concreto desde la IP 172.16.0.135/24, tal y como puede verse en la imagen mostrada).

Consideración a parte, en este punto, debe hacerse para la subred APIPA (169.254.0.0/16. Asignación automática de direcciones IP privadas, **Automatic Private IP Addressing**), ya que se trata de un sistema de direccionamiento dinámico que se diferencia del uso del DHCP, en que, en este caso, no existe ningún servidor específico para servir configuraciones TCP/IP. Con este mecanismo cada nodo se autoconfigura, de forma automática, en coordinación con el resto de los nodos de la subred, para evitar duplicidades con la IP que se otorgue.

Mediante la APIPA, tan sólo es posible asignar, a los equipos de la subred, dirección IP y máscara de subred, lo que impide que, en su caso, puedan comunicarse con cualquier otro equipo de una subred distinta a la propia. Permitiendo, únicamente, comunicaciones entre los equipos de la propia subred (enlaces locales).



```
C:\>ipconfig /all

Configuración IP de Windows

Nombre del host . . . . . : R-XP-1
Sufijo DNS principal . . . . . : 
Tipo de nodo . . . . . : desconocido
Enrutamiento habilitado . . . . . : No
Proxy WINS habilitado . . . . . : No
Lista de búsqueda de sufijo DNS: . . . . . : xyz.local

Adaptador Ethernet Conexión de área local :

Sufijo de conexión específica DNS : xyz.local
Descripción . . . . . : Adaptador Ethernet PCI AMD PCNET Family
Dirección física . . . . . : 00-00-27-D5-A6-C5
DHCP habilitado . . . . . : No
Autoconfiguración habilitada . . . . . : Si
Dirección IP . . . . . : 172.16.0.1
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 172.16.0.100
Servidor DHCP . . . . . : 172.16.0.135
Servidores DNS . . . . . : 172.16.0.125
                             172.16.1.125
Concesión obtenida . . . . . : miércoles, 14 de septiembre de 2016 18:25:12
Concesión expira . . . . . : martes, 20 de septiembre de 2016 18:25:12

C:\>
```

Figura 21

5.- EJERCICIOS.

- 1.- ¿Cómo indicaría que en la IP 128.121.X.Y se utilizan dos bytes para identificar a la subred?
- 2.- Si en una subred se usan 6 bits para el *ID-net*, ¿Cuál es la máscara de subred?, expresada en formato decimal con puntos y en base hexadecimal.
- 3.- Si tenemos un esquema de subredes con máscara de subred de 25 bits². ¿Cuál será su máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿cuántas subredes podemos configurar con esa máscara?, ¿cuántos nodos podrán existir en cada una de las subredes?

Para aquel subconjunto de subredes que tuvieran a cero (0) el bit de menor peso del *ID-net*, cuál sería el byte de la derecha, en el formato decimal con puntos, de la dirección de *broadcast* de subred.
- 4.- Sea la dirección 182.5.10.4/16. ¿A cuál de las antiguas clases pertenece?, ¿a qué subred corresponde?, ¿cuál es su máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿a qué nodo corresponde?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de subred?
- 5.- Sea la dirección 64.8.10.4/8. ¿A cuál de las antiguas clases pertenece?, ¿a qué subred corresponde?, ¿cuál es su máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿a qué nodo corresponde?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de subred?
- 6.- Sea la dirección 192.7.8.42/27. ¿A cuál de las antiguas clases podría asimilarse?, ¿a qué subred corresponde?, ¿a qué nodo de la subred identifica?, ¿cuántos nodos puede haber en esa subred?, ¿cuál es su máscara de subred en formato decimal con puntos?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de esa subred? ¿Es una subred privada?
- 7.- Sabiendo que a la IP binaria 11100110101000111010100000110111, le corresponde una máscara FFF00000 hexadecimal. Expresar, en formato decimal con puntos, el identificador de la subred y la IP correspondiente a la dirección de *broadcast* de la misma.
- 8.- En una subred se utilizan 14 bits para el *ID-net*, ¿cuál sería la máscara de la subred en notación decimal con puntos?, ¿cuántos nodos podrían existir en esa subred?
- 9.- Sea la dirección 194.6.5.129/26. ¿Es una dirección de subred, de nodo o de *broadcast* de subred?
- 10.- Sea la dirección 192.168.3.128/26. ¿Es una dirección de subred, de nodo o de *broadcast* de subred? ¿Es una subred privada?
- 11.- Sea la dirección 172.27.255.255/13. ¿Es una dirección de subred, de nodo o de *broadcast* de subred? ¿Es una subred privada?
- 12.- Con una máscara de subred 255.255.255.240. ¿Cuál es el número máximo de nodos en cada subred?
- 13.- ¿Cuál es el rango de las direcciones IP que pertenecen a la subred correspondiente a la dirección IP 140.220.15.165 con máscara 255.255.255.240.
- 14.- En una empresa necesitan manejar 13 subredes públicas diferentes, ¿cuántos bits a uno (1) necesitará, como mínimo, la máscara de subred?, ¿cuál será esa máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿cuál será el identificador de cada subred (*ID-net*)?, ¿cuál será la dirección de cada subred?, ¿qué rango de IP corresponderá a cada una de las subredes?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de cada subred?, ¿cuántos nodos podría tener cada subred?, ¿cuántos nodos, en total, podrían tener las 13 subredes?

² Cuando se habla de una máscara de subred de 25 bits, por ejemplo, lo que se está indicando es la longitud del prefijo (número de bits a uno (1) en la máscara de subred), ya que las máscaras de subred, y las IPv4, tienen un tamaño fijo de 32 bits.

6.- EJERCICIOS RESUELTOS.

1.- ¿Cómo indicaría que en la IP 128.121.X.Y se utilizan dos bytes para identificar a la subred?

Lo que se nos pide es que definamos la máscara de subred para esa subred concreta. Dado que se utilizan dos bytes para el *ID-net*, la máscara de subred deberá tener 16 bits, a uno. En una máscara de subred, estos bits a uno, ocuparán las posiciones de mayor peso, por lo tanto será, en binario, 11111111 11111111 00000000 00000000, que en formato decimal con puntos sería 255.255.0.0; en hexadecimal quedaría como FFFF0000; o bien, utilizando el formato de barra inclinada o formato CIDR, en el que se indica la longitud del prefijo de la máscara de subred después de la IP, separado de ésta por una barra inclinada, quedaría como 128.121.X.Y/16.

2.- Si en una subred se usan 6 bits para el *ID-net*, ¿Cuál es la máscara de subred?, expresada en formato decimal con puntos y en base hexadecimal.

Empezaremos por representarla en binario, con los seis bits a uno ocupando las posiciones de mayor peso, para, partiendo de ella, realizar los cambios de base correspondientes.

Binario	11111100 00000000 00000000 00000000
Hexadecimal	FC000000
Formato decimal con puntos	252.0.0.0

3.- Si tenemos un esquema de subredes, con máscara de subred de 25 bits. ¿Cuál será su máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿cuántas subredes podemos configurar con esa máscara?, ¿cuántos nodos podrán existir en cada una de las subredes?

Para aquel subconjunto de subredes que tuvieran a cero (0) el bit de menor peso del *ID-net*, cuál sería el byte de la derecha, en el formato decimal con puntos, de la dirección de *broadcast* de subred.

La máscara de subred de 25 bits, en binario, tomaría la forma: 11111111 11111111 11111111 10000000, que convirtiendo cada byte a su correspondiente codificación decimal y separándolos por puntos, se obtiene 255.255.255.128, que corresponde a la representación en formato decimal con puntos.

El número de subredes que podríamos codificar con 25 bits sería 2^n , siendo n el número de bits del *ID-net*, según esto podríamos codificar 2^{25} , es decir 33.554.432 subredes teóricas, dado que no podemos usar las subredes con todos los bits del *ID-net* a cero (codificación reservada para hacer referencia a la propia subred) ni a uno (se obtendría un byte de mayor peso superior a 223), nos quedarían 33.554.430 subredes distintas.

Dado que utilizamos 25 bits para el *ID-net*, nos quedan 7 bits para el *ID-host* (32 bits que forman una IP – 25 bits utilizados en el *ID-net* = 7 bits disponibles para el *ID-host*), con lo cual podríamos identificar hasta 2^7 , es decir 128 nodos teóricos, como no podemos usar los *ID-host* con todos sus bits a uno (codificación reservada para la dirección de *broadcast* de subred), ni a cero (codificación reservada para la IP de subred), nos quedarán 126 nodos por subred.

Lo que se está indicando, en el enunciado, es que el byte de menor peso, de ese subconjunto de subredes, empezará por un bit cero (0), bit 25 de la máscara de subred, con lo cual, en binario, el byte de menor peso, en la dirección de *broadcast* de ese subconjunto de subredes, será 01111111, que en decimal sería 127. Según esto, para ese subconjunto de subredes, la dirección de *broadcast* de subred tendrá la forma X.Y.Z.127/25.

4.- Sea la dirección 182.5.10.4/16. ¿A cuál de las antiguas clases pertenece?, ¿a qué subred corresponde?, ¿cuál es su máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿a qué nodo corresponde?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de subred?

Dado que utilizan 16 bits como *ID-net*, podría asimilarse como perteneciente a la antigua clase B.

Para obtener la dirección de subred, se ponen a cero todos los bits del *ID-host*, con lo que se obtendría la codificación 182.5.0.0/16, que es la IP de subred que se nos pide.

La máscara de subred, correspondiente a una longitud de prefijo de 16 bits, sería la 255.255.0.0, en la que aparecen los 16 bits de mayor peso a uno.

Correspondería al nodo 10.4 de la subred 182.5.0.0/16; ya que, al tener una máscara de 16 bits, el *ID-host* lo compondrán los 16 bits de menor peso, lo que implica que el *host* vendrá identificado por los dos bytes de menor peso.

La dirección de *broadcast*, de esa subred, será la 182.5.255.255/16, que se obtiene poniendo a uno todos los bits del *ID-host*, en este caso los 16 bits de menor peso.

5.- Sea la dirección 64.8.10.4/8. ¿A cuál de las antiguas clases pertenece?, ¿a qué subred corresponde?, ¿cuál es su máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿a qué nodo corresponde?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de subred?

Dado que utiliza 8 bits como *ID-net*, podría asimilarse como perteneciente a la antigua clase A.

Corresponderá a la IP de subred 64.0.0.0/8, que se obtiene poniendo a cero todos los bits del *ID-host*. En este caso, los tres bytes de menor peso, que son los que corresponden al *ID-host*.

La máscara de subred, correspondiente a una longitud de prefijo de 8 bits, sería la 255.0.0.0, en la que aparecerán a uno los 8 bits del byte de mayor peso.

Correspondería al nodo 8.10.4 de la subred 64.0.0.0/8, ya que el *ID-host* viene definido por los tres bytes de menor peso.

La dirección de *broadcast*, de esa subred, será la 64.255.255.255/8, que se obtiene poniendo a uno todos los bits del *ID-host*.

- 6.- Sea la dirección 192.7.8.42/27. ¿A cuál de las antiguas clases podría asimilarse?, ¿a qué subred corresponde?, ¿a qué nodo de la subred identifica?, ¿cuántos nodos puede haber en esa subred?, ¿cuál es su máscara de subred en formato decimal con puntos?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de esa subred? ¿Es una subred privada?

No puede asimilarse a ninguna de las antiguas clases. Ya que sólo contemplaban *ID-net* de 8 bits (clase A), 16 bits (clase B) y 24 bits (clase C) y en este caso se utilizan 27 bits para el *ID-net*.

Para saber a qué subred corresponde, debemos darnos cuenta que se utilizan los tres bits de mayor peso, del byte de la derecha, en el *ID-net*. Con lo que es conveniente representar ese byte en binario, con lo cual el 42 decimal se representará, completando a 8 bits por la izquierda, como 00101010. Dado que los tres bits de mayor peso, de ese byte, corresponden al *ID-net*, en la dirección de subred tomará la forma 00100000 que en decimal será el valor 32. Por lo tanto, la dirección de subred será la 192.7.8.32/27.

Partiendo de la codificación binaria del 42₍₁₀₎ del byte de menor peso, 00101010, y eliminando los tres bits de mayor peso, que corresponden al *ID-net*, nos quedaría 01010, que en decimal corresponde al número 10. Según esto, identifica al nodo 10 de la subred 192.7.8.32/27.

Dado que utilizamos 27 bits para el *ID-net*, nos quedan 5 bits para el *ID-host* (32 bits que forman una IP – 27 bits utilizados en el *ID-net* = 5 bits disponibles para el *ID-host*), con lo cual podríamos identificar hasta 2⁵, es decir 32 nodos teóricos, como no podemos usar los *ID-host* con todos sus bits a uno, ni a cero, nos quedarán un máximo de 30 nodos en esa subred.

Dado que la longitud de prefijo es de 27 bits, la máscara de subred, en formato decimal con puntos, será 255.255.255.224. Adviértase que el 224 corresponde a la codificación binaria 11100000, en donde aparecen a uno los tres bits de ese byte que pertenecen al *ID-net*.

La dirección de *broadcast* de esta subred, tendrá el byte de menor peso con la codificación binaria 00111111, que corresponde al 63 decimal, por lo tanto la dirección de *broadcast* de esa subred será la 192.7.8.63/27. Adviértase que se pusieron a uno los bits del *ID-host*, 11111, pero no se cambiaron los tres de mayor peso que pertenecen al *ID-net*, 001.

No, no se trata de una subred privada ya que la subred privada es la 192.168.0.0/16 con lo cual, obligatoriamente, los dos bytes de mayor peso deben coincidir (máscara de 16 bits) y en este caso no coinciden, 192.7.8.63/27.

- 7.- Sabiendo que a la IP binaria 11100110101000111010100000110111, le corresponde una máscara FFF00000 hexadecimal. Expresar, en formato decimal con puntos, el identificador de la subred y la IP correspondiente a la dirección de *broadcast* de la misma.

De acuerdo con la máscara de subred, se utilizan los 12 bits (FFF₍₁₆₎) de mayor peso como *ID-net*, según esto, podemos separar la IP dada, en el *ID-net* y el *ID-host*, de la forma 11100110 10100011 10101000 00110111, completando el *ID-net*, a 32 bits por la derecha, nos quedará, 11100110 10100000 00000000 00000000, que en formato decimal con puntos corresponderá a 230.160.0.0/12, que no es otra cosa que la dirección de subred buscada.

Por otro lado, puede comprobarse que en la parte del *ID-host* existen bits a cero y bits a uno, por lo tanto, lo que nos dan será una IP de nodo, o IP de *host*, en concreto la 230.163.168.55/12; que identifica al nodo 3.168.55 de la subred 230.160.0.0/12.

Para calcular la dirección de *broadcast* de la subred, debemos darnos cuenta que se utilizan los 4 bits de mayor peso del segundo byte por la izquierda dentro del *ID-net*, con lo cual son fijos en toda IP de esa subred, por lo tanto, ese byte, en la dirección de *broadcast* de subred, tendrá la codificación 10101111, que en representación decimal corresponde al número 175. Los dos bytes de menor peso corresponden, íntegramente, al *ID-host*; por lo tanto, se codificarán con todos sus bits a uno. Según esto, la dirección de *broadcast* de la subred 230.160.0.0/12 será la 230.175.255.255/12.

- 8.- En una subred se utilizan 14 bits para el *ID-net*, ¿cuál sería la máscara de la subred en notación decimal con puntos?, ¿cuántos nodos podrían existir en esa subred?

Dado que se utilizan 14 bits para el *ID-net*, su máscara de subred tendrá 14 bits a uno, por lo que se usarán 6 bits del segundo byte de la izquierda, que en binario tendrá la codificación 11111100 que corresponde al 252 decimal, con lo cual la máscara de subred, en formato decimal con puntos será 255.252.0.0.

Como se utilizan 14 bits para el *ID-net*, nos quedan 18 bits para el *ID-host* (32 bits que forman una IP – 14 bits utilizados en el *ID-net* = 18 bits disponibles para el *ID-host*), con lo cual podríamos identificar hasta 2¹⁸, es decir 262.144 nodos teóricos, como no podemos usar los *ID-host* con todos sus bits a uno, ni a cero, nos quedarán un máximo de 262.142 nodos en esa subred.

- 9.- Sea la dirección 194.6.5.129/26. ¿Es una dirección de subred, de nodo o de *broadcast* de subred?

Con una máscara de 26 bits, es claro que se utilizan los 2 bits de mayor peso del byte inferior de la IP en la máscara de subred; por lo tanto, es necesario analizar el contenido de ese byte. El valor 129 decimal, correspondiente al byte de menor peso de la IP, se codifica en binario como 10000001. A la vista de la codificación binaria, es fácil deducir que se trata de una dirección de nodo (o dirección *unicast*), ya que existen bits correspondientes al *ID-host* (000001) con valor 0 y otros con valor uno. Adviértase que los 2 bits de mayor peso (10) pertenecen al *ID-net*.

Según todo lo anterior, la IP 194.6.5.129/26, identificaría al nodo 1 de la subred 194.6.5.128/26.

- 10.- Sea la dirección 192.168.3.128/26. ¿Es una dirección de subred, de nodo o de *broadcast* de subred? ¿Es una subred privada?

Con una máscara de 26 bits, es claro que se utilizan los 2 bits de mayor peso del byte inferior de la IP en la máscara de subred; por lo tanto, es necesario analizar el contenido de ese byte. El valor 128 decimal, correspondiente al byte de menor peso de la IP, se codifica en binario como 10000000. A la vista de la codificación binaria, es fácil deducir que se trata de

una dirección de subred, ya que todos los bits correspondientes al *ID-host* (000000) están a cero, adviértase que los dos bits de mayor peso (10) pertenecen al *ID-net*, no al *ID-host*, razón por la que no se toman en consideración.

Sí, se trata de una subred privada. El estándar establece que tendrá la consideración de subred privada la subred 192.168.0.0/16 y todas sus subredes. La primera condición para que sea privada, en este caso, es que coincidan los dos bytes de mayor peso (máscara de 16 bits), condición que en este supuesto se cumple (192.168). Y la otra condición es que la longitud del prefijo de la máscara de subred sea igual o superior al indicado en el estándar. En este caso $26 > 16$. A la vista de todo ello, se concluye que la subred 192.168.3.128/26 es una subred de la 192.168.0.0/16 y, en consecuencia, tiene la consideración de privada. Sus direcciones no serán enrutadas por los *routers* públicos.

11.- Sea la dirección 172.27.255.255/13. ¿Es una dirección de subred, de nodo o de *broadcast* de subred? ¿Es una subred privada?

Trabajando con una longitud de prefijo, de la máscara de subred, de 13 bits, es claro que el *ID-net* lo constituyen los 8 bits del byte de mayor peso de la IP, más los cinco bits de mayor peso del segundo de los bytes, empezando por la izquierda (27). Según esto, lo que tenemos que analizar, con detenimiento, es la codificación binaria de ese byte.

El 27 decimal se representa en binario, normalizado a 8 bits, como 00011011 dado que de esa codificación se utilizan los cinco bits de mayor peso como parte del *ID-net*, podemos identificarlos como: **00011011** en donde se ve que en los tres bits de menor peso (011), que forman parte del *ID-host*, existen ceros y unos, señal inequívoca de que se trata de una IP de *host*. Según esto, la IP 172.27.255.255/13 identifica al equipo 3.255.255 de la subred 172.24.0.0/13

Para averiguar si se trata de una subred privada o pública, debemos fijarnos en la subred 172.16.0.0/12 que establece el RFC correspondiente como subred privada. Codificando en binario el segundo byte, por la izquierda, de la IP de subred del estándar (16), se obtiene: 00010000. Comparando esta codificación con la del byte equivalente de la IP dada, 00011011, se observa que coinciden los cuatro dígitos de mayor peso, 0001. Y dado que la longitud del preámbulo de la máscara de subred de la IP dada, 13, es mayor que la correspondiente a la del estándar, 12, podemos afirmar que la subred a la que pertenece la IP 172.27.255.255/13; es decir, la subred 172.24.0.0/13, es un subconjunto de la 172.16.0.0/12. Por lo tanto la subred 172.24.0.0/13 es una subred privada. No la enrutarán los *routers* públicos.

12.- Con una máscara de subred 255.255.255.240. ¿Cuál es el número máximo de nodos en cada subred?

Acudiendo al byte de menor peso, 240, y convirtiéndolo a binario obtenemos 11110000, de forma que es evidente que en esta subred se utilizan únicamente 4 bits como *ID-host*. Con lo cual, el número de direcciones posibles, en esa subred, será de 2^4 , es decir, 16 direcciones. Para obtener las direcciones que se pueden asignar a los nodos debemos descontar la correspondiente a la IP de subred (todos los bits del *ID-host* a cero (0)) y la dirección de *broadcast* de subred (todos los bits del *ID-host* a uno (1)), con lo cual dispondremos de un máximo de 14 nodos en cada una de esas subredes.

13.- ¿Cuál es el rango de las direcciones IP que pertenecen a la subred correspondiente a la dirección IP 140.220.15.165 con máscara 255.255.255.240.

De acuerdo con el valor del byte de menor peso de la máscara de subred, se utilizan 4 bits, de ese byte, para el *ID-net* ($240_{(10)} = 11110000_{(2)}$). Estudiando el valor del byte de menor peso de la dirección que nos dan ($165_{(10)}$) en base binaria, 10100101 y comparándolo con el byte de la máscara de subred, es fácil deducir que nos encontramos frente a la subred 140.220.15.160/28.

Según todo lo anterior el rango IP de esa subred irá de la 140.220.15.160 a la 140.220.15.175. Excluyendo la IP de subred (140.220.15.160) y la de *broadcast* de subred (140.220.15.175), nos queda el siguiente rango de direcciones de *host*, 140.220.15.161 a 140.220.15.174.

14.- En una empresa necesitan manejar 13 subredes públicas diferentes, ¿cuántos bits a uno (1) necesitará, como mínimo, la máscara de subred?, ¿cuál será esa máscara de subred, en formato decimal con puntos?, ¿cuál será el identificador de cada subred (*ID-net*)?, ¿cuál será la dirección de cada subred?, ¿qué rango de IP corresponderá a cada una de las subredes?, ¿cuál será la dirección de *broadcast* de cada subred?, ¿cuántos nodos podría tener cada subred?, ¿cuántos nodos, en total, podrían tener las 13 subredes?

Para calcular cuál es el número, mínimo, de bits que se necesitan para codificar las trece subredes, necesitamos acudir al número de permutaciones con repetición, sabiendo que estas deben ser, como mínimo, 13 (P), el número de símbolos disponibles (n) será dos (0 y 1) y r será el número de bits que buscamos, con lo cual:

$P = n^r$, de donde $\log P = \log n^r = r \log n$ con lo cual $r = \log P / \log n$ sustituyendo todo por su valor, queda $r = \log 13 / \log 2$ con lo cual $r = 3,7$ dado que no es posible usar fracciones de bit, se aproxima al entero mayor, más próximo, en este caso $r = 4$ bits.

Según esto, la máscara de subred tendrá el byte de mayor peso con la codificación binaria 11110000, que en base decimal será 240. Por lo tanto la máscara de subred, en formato decimal con puntos será 240.0.0.0.

<i>ID-net</i>	IP de subred	Rango de IP de <i>hosts</i>	IP de <i>broadcast</i> de subred	Nº. de nodos
0000	Reservada			
0001	16.0.0.0	16.0.0.1 a 31.255.255.254	31.255.255.255	268.435.454
0010	32.0.0.0	32.0.0.1 a 47.255.255.254	47.255.255.255	268.435.454
0011	48.0.0.0	48.0.0.1 a 63.255.255.254	63.255.255.255	268.435.454
0100	64.0.0.0	64.0.0.1 a 79.255.255.254	79.255.255.255	268.435.454
0101	80.0.0.0	80.0.0.1 a 95.255.255.254	95.255.255.255	268.435.454
0110	96.0.0.0	96.0.0.1 a 111.255.255.254	111.255.255.255	268.435.454

0111	112.0.0.0	112.0.0.1 a 126.255.255.254	126.255.255.255	251.658.238
1000	128.0.0.0	128.0.0.1 a 143.255.255.254	143.255.255.255	268.435.454
1001	144.0.0.0	144.0.0.1 a 159.255.255.254	159.255.255.255	268.435.454
1010	160.0.0.0	160.0.0.1 a 169.253.255.255 169.255.0.0 a 172.15.255.255 172.32.0.0 a 175.255.255.254	175.255.255.255	267.321.342
1011	176.0.0.0	176.0.0.1 a 191.255.255.254	191.255.255.255	268.435.454
1100	192.0.0.0	192.0.0.1 a 192.167.255.255 192.169.0.0 a 207.255.255.254	207.255.255.255	268.369.918
1101	208.0.0.0	208.0.0.1 a 223.255.255.254	223.255.255.255	268.435.454
1110	Estas codificaciones podrían considerarse como codificaciones redundantes. Pero, en cualquier caso, no podríamos usarlas pues generarían subredes reservadas, al tener identificadores superiores a 223			
1111				

Para la subred 112.0.0.0 (*ID-net* 0111) se obtiene el rango de direcciones de *unicast* 112.0.0.1 a 127.255.255.254, pero como es conocido, el byte de mayor peso de una IP no puede tener el valor 127, ya que todo ese bloque de direcciones se reserva para el bucle local (*loopback*). En consecuencia, ese conjunto de direcciones (de la 127.0.0.0 a la 127.255.255.255) debe eliminarse del rango de IP disponibles para esa subred, quedando, como la dirección más alta del rango, la última de las direcciones de nodo, cuyo byte de mayor peso tiene el valor 126 (126.255.255.254).

En el caso de la subred 160.0.0.0 (*ID-net* 1010) se obtiene el rango de direcciones de *host* 160.0.0.1 a 175.255.255.254, pero ese rango incluye las subredes 169.254.0.0/16 y 172.16.0.0/12, que son privadas. Con lo cual no podemos incluirlas en nuestro rango de subredes públicas. Según esto, tendremos que excluir los bloques de direcciones correspondientes a ambas subredes, para la subred 169.254.0.0/16 será el conjunto de direcciones comprendido entre la 169.254.0.0 y la 169.254.255.255 (ambas incluidas) y para la 172.16.0.0/12 será, de la 172.16.0.0 a la 172.31.255.255 (ambas incluidas).

Incorporando estas restricciones en la subred 160.0.0.0 (*ID-net* 0111) tendremos un primer rango que irá de la más baja de las direcciones de *host* posibles, para esa subred, la 160.0.0.1, a la más alta de las direcciones anterior a la subred 169.254.0.0/16, es decir a la dirección 169.253.255.255. Aparecerá otro segundo rango que irá de la dirección inmediatamente superior a la última de la subred 169.254.0.0/16, que será la 169.255.0.0, a la dirección anterior a la más baja de las direcciones de la subred 172.16.0.0/12, que será la dirección 172.15.255.255. Por último definiremos otro tercer rango que irá de la dirección inmediatamente superior a la más alta de las direcciones de la subred 172.16.0.0/12, que será la dirección 172.32.0.0, a la más alta de las direcciones posibles de la subred 160.0.0.0, que será la 175.255.255.254.

En el caso de la subred 192.0.0.0 (*ID-net* 1100), nos encontramos con un rango de posibles direcciones de *host* que va de la 192.0.0.1 a la 207.255.255.254 y el problema que plantea, ese rango, es que incluye las direcciones 192.168.0.0 a 192.168.255.255 que están reservadas para subredes privadas, de manera que ese conjunto de direcciones no son públicas y por lo tanto debemos excluirlas de nuestro rango, quedando segmentado tal y como se muestra en la tabla.

Para el cálculo del número de nodos de cada subred, debe tenerse en cuenta que se utilizan 4 bits como *ID-net* y, en consecuencia, 28 bits como *ID-host*. Según esto, el número de IP de *host* posibles sería de $2^{28} - 2$, teniendo en cuenta que la dirección de subred y la de *broadcast* de subred no son IP de *host* (no se pueden usar), salen 268.435.454 nodos por subred.

En el caso de la subred 112.0.0.0 debe tenerse en cuenta que hay que restar todas las posibles IP de la subred 127.0.0.0/8, lo que significa que perdemos 2^{24} IP (de la 127.0.0.0 a la 127.255.255.255), es decir 16.777.216. Según esto, en esa subred sólo podrán disponerse 251.658.238 nodos.

Para la subred 160.0.0.0 se pierden las 2^{16} IP (65.536) de la subred 169.254.0.0/16 y las 2^{20} IP (1.048.576) correspondientes a la subred 172.16.0.0/12, con lo cual, en esa subred, podríamos direccionar 267.321.342 nodos.

Un caso similar se presenta en la subred 192.0.0.0, en este caso deben excluirse todas las IP de la subred 192.168.0.0/16, es decir de la 192.168.0.0 a la 192.168.255.255. Según esto, a los 268.435.454 nodos posibles, deben restarse los 65.536 (2^{16}) de la subred 192.168.0.0/16, quedando un total de 268.369.918 nodos.

En el total de todas las subredes, podrían disponerse hasta 3.471.704.038 nodos.