

RESUMEN TELECOMUNICACIONES

1. Redes de datos

1.1 Introducción

Red de datos: conjunto de infraestructura que permite a dos o más computadores comunicarse entre sí. Se representan por un grafo.

Tipos de comunicación

- **Full-duplex:** cuando el dispositivo puede transmitir y recibir al mismo tiempo.
- **Half-duplex:** cuando el dispositivo puede transmitir y recibir pero NO al mismo tiempo.
- **Simplex:** cuando el dispositivo solo puede transmitir.

Tipos de conexión

Los dispositivos están conectados a través de medios de transmisión como cables de cobre, fibras ópticas y espacio libre.

¿Qué nos ofrecen los ISP?

Red de última milla

- Medio de transmisión
- Velocidad bajada/subida (simétrica o asimétrica)

Dispositivos de red

NAT/CGNAT

¿Qué transmitimos por Internet?

Transmitimos impulsos de luz o electricidad, que se traducen en ceros y unos. Estos a su vez se pueden convertir a otras bases, más fáciles de trabajar para un usuario final como ASCII y Hexadecimal.

TABLA ASCII

DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR		
000	00	\	(nul)	016	10	►	(dle)	032	20	␣	048	30	0	064	40	⓪	080	50	P	096	60	‘	112	70	p
001	01	⓪	(sob)	017	11	◄	(dcl)	033	21	!	049	31	1	065	41	A	081	51	Q	097	61	a	113	71	q
002	02	●	(etx)	018	12	†	(dcr)	034	22	"	050	32	2	066	42	B	082	52	R	098	62	b	114	72	r
003	03	▼	(etz)	019	13	#	(dcs)	035	23	#	051	33	3	067	43	C	083	53	S	099	63	c	115	73	s
004	04	◆	(eot)	020	14	¶	(dcd)	036	24	\$	052	34	4	068	44	D	084	54	T	100	64	d	116	74	t
005	05	▲	(enq)	021	15	§	(naks)	037	25	%	053	35	5	069	45	E	085	55	U	101	65	e	117	75	u
006	06	◆	(ack)	022	16	–	(syn)	038	26	&	054	36	6	070	46	F	086	56	V	102	66	f	118	76	v
007	07	•	(bel)	023	17	‡	(etb)	039	27	'	055	37	7	071	47	G	087	57	W	103	67	g	119	77	w
008	08	■	(bs)	024	18	‡	(can)	040	28	(	056	38	8	072	48	H	088	58	X	104	68	h	120	78	x
009	09	■	(tab)	025	19	‡	(em)	041	29	)	057	39	9	073	49	I	089	59	Y	105	69	i	121	79	y
010	0A	■	(lf)	026	1A	(eof)	042	2A	*	058	3A	:	074	4A	J	090	5A	Z	106	6A	j	122	7A	z	
011	0B	♠	(vt)	027	1B	–	(esc)	043	2B	+	059	3B	;	075	4B	K	091	5B	[	107	6B	k	123	7B	{
012	0C	♠	(np)	028	1C	L	(fs)	044	2C	<	060	3C	<	076	4C	L	092	5C	\	108	6C	l	124	7C	|
013	0D	♠	(cr)	029	1D	–	(gs)	045	2D	=	061	3D	=	077	4D	M	093	5D	]	109	6D	m	125	7D	}
014	0E	♠	(so)	030	1E	▲	(rs)	046	2E	>	062	3E	>	078	4E	N	094	5E	^	110	6E	n	126	7E	~
015	0F	⦿	(si)	031	1F	▼	(us)	047	2F	/	063	3F	?	079	4F	O	095	5F	_	111	6F	o	127	7F	o

EXTENDED ASCII CHART (character codes 128 – 255) LATIN1 / CP1252

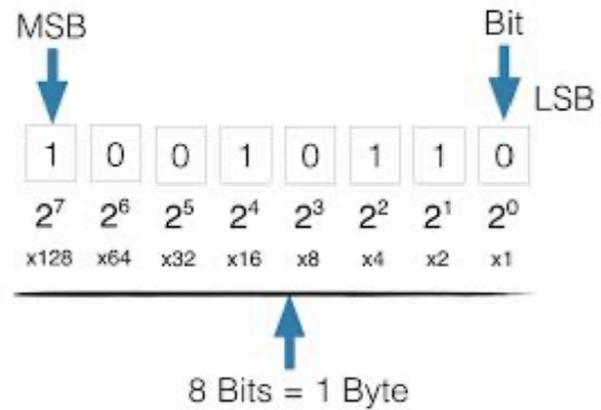
DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR
128	80	€	144	90	‘	160	A0	\	176	B0	•	192	C0	À	208	D0	Ð	224	E0	à	240	F0	ð
129	81	€	145	91	‘	161	A1	¡	177	B1	•	193	C1	Á	209	D1	Ñ	225	E1	á	241	F1	á
130	82	€	146	92	‘	162	A2	¢	178	B2	•	194	C2	Â	210	D2	Ò	226	E2	â	242	F2	â
131	83	€	147	93	‘	163	A3	£	179	B3	•	195	C3	Ã	211	D3	Ó	227	E3	ã	243	F3	ã
132	84	€	148	94	‘	164	A4	¤	180	B4	•	196	C4	Ä	212	D4	Ô	228	E4	ä	244	F4	ä
133	85	€	149	95	•	165	A5	¥	181	B5	•	197	C5	Å	213	D5	Õ	229	E5	å	245	F5	å
134	86	€	150	96	–	166	A6	¦	182	B6	•	198	C6	Æ	214	D6	Ö	230	E6	æ	246	F6	æ
135	87	€	151	97	–	167	A7	§	183	B7	•	199	C7	Ç	215	D7	×	231	E7	ç	247	F7	ç
136	88	€	152	98	–	168	A8	¨	184	B8	•	200	C8	È	216	D8	Ø	232	E8	è	248	F8	ø
137	89	€	153	99	™	169	A9	©	185	B9	•	201	C9	É	217	D9	Ù	233	E9	é	249	F9	é
138	8A	€	154	9A	§	170	AA	ª	186	BA	•	202	CA	Ê	218	DA	Ú	234	EA	ê	250	FA	ê
139	8B	€	155	9B	>	171	AB	«	187	BB	•	203	CB	Ë	219	DB	Û	235	EB	ë	251	FB	ë
140	8C	€	156	9C	œ	172	AC	¬	188	BC	•	204	CC	Ï	220	DC	Ü	236	EC	ï	252	FC	ï
141	8D	€	157	9D	–	173	AD	®	189	BD	•	205	CD	Ï	221	DD	Ý	237	ED	í	253	FD	ý
142	8E	€	158	9E	z	174	AE	®	190	BE	•	206	CE	Î	222	DE	Þ	238	EE	î	254	FE	þ
143	8F	€	159	9F	ÿ	175	AF	–	191	BF	•	207	CF	Ï	223	DF	ß	239	EF	ï	255	FF	ÿ

Hexadecimal to Binary

0	0000	4	0100	8	1000	C	1100
1	0001	5	0101	9	1001	D	1101
2	0010	6	0110	A	1010	E	1110
3	0011	7	0111	B	1011	F	1111

Groups of ASCII-Code in Binary

Bit 6	Bit 5	Group
0	0	Control Characters
0	1	Digits and Punctuation
1	0	Upper Case and Special
1	1	Lower Case and Special



¿Cómo el receptor sabe cómo interpretar todos los bits recibidos? Mediante la capa OSI.



Jerarquías de Protocolos

La mayoría de las redes están organizadas en una serie de niveles o capas, cada una construida sobre la anterior, el objetivo del diseño en capas es abstraer la implementación, definiendo una API (Application Program Interface) o conjunto de servicios entregados a la capa superior.

Los **mensajes tienen una estructura base, compuesta de un header y un payload o cuerpo del mensaje**. A veces, además, incluye un trailer o información adicional después del cuerpo. El mecanismo de colocar un mensaje de una capa en el contenido de otro se llama “encapsulación” y es fundamental para varios protocolos y tecnologías de redes.

MODELO OSI

- Cuenta con 7 capas.

- 7. Aplicación**
- 6. Presentación**
- 5. Sesión**
- 4. Transporte**
- 3. Red**
- 2. Enlace de Datos**
- 1. Física**

Diseño de capas

- Cada capa necesita un mecanismo para identificar a los emisores y a los receptores.
- Como se tienen muchos computadores, se necesita un método para que un proceso en una máquina especifique con cuál de ellas quiere hablar.
- Como se pueden tener muchos destinos, se necesita alguna forma de direccionamiento a fin de precisar un destino específico.
- El control de errores es un aspecto importante, ya que los circuitos físicos no son perfectos. Para esto, el receptor debe tener algún medio en donde le diga al emisor que el mensaje se ha recibido correctamente y cuál no. Ambos extremos deben estar de acuerdo con que código de detección y corrección vayan a usar.
- No todos los canales de comunicación conservan el orden en que se les envían los mensajes, para tratar con un posible pérdida de secuencia, el protocolo debe incluir un mecanismo que permita al receptor volver a unir los pedazos en forma adecuada.
- Además en cada nivel se debe evitar que un emisor rápido sature de datos al receptor más lento, para esto se puede realizar algún tipo de retroalimentación del receptor al emisor, directa o indirectamente, dependiendo de la situación actual del receptor. O limitar al emisor a una velocidad acordada (control de flujo).

Entidades estandarizadoras

1. **ITU (International Telecommunication Union):** regula las tecnologías de la información y la comunicación a nivel internacional.
2. **La ANSI (American National Standards Institute):** supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.
3. **La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers):** desarrolla estándares técnicos.
4. **El NIST (National Institute of Standards and Technology).**
5. **La IETF (Internet Engineering Task Force):** se centra en el desarrollo y la promoción de estándares de Internet.
6. **La IRTF (Internet Research Task Force):** se centra en la investigación a largo plazo relacionada con Internet, impulsando la investigación y el desarrollo de tecnologías emergentes que podrían ser relevantes en el futuro.

Dispositivos de red

Tienen como propósito aumentar el alcance de una red, localizar el tráfico de la red, aislar los problemas de la red, así los problemas pueden ser diagnosticados más fácilmente.

TIPOS

1. **Network Interface Card:** pueden ser físicas/virtuales, permiten conectarse con equipos de red.
2. **Repetidores:** operan a nivel de capa 1, función principal es expandir el alcance de una red, mediante la "limpieza" y amplificación de la señal.
3. **Hubs:** el repetidor es un concentrador, constituye el elemento central de la red, el área de red dentro de la cual los paquetes son originados y colisionan, se conoce como un dominio de colisión.
4. **Bridges:** operan a nivel de la capa 2, eliminan el tráfico innecesario y minimizan las posibilidades de colisión mediante la división en segmentos y el filtrado basado en la dirección física. Son capaces de analizar los paquetes entrantes y despacharlos en base a la dirección, toman y pasan paquetes entre segmentos, controlan los mensajes de broadcast y mantienen tablas de direcciones.

5. Switches: versión más avanzada con más puertos y capacidades de rendimiento superiores en comparación con el bridge.

6. Routers: se usan para conectar redes, proveen conectividad end-to-end, mediante el paso de paquetes y tráfico de ruteo entre diferentes redes basado en información de la capa 3. Poseen la habilidad de tomar decisiones de bajo nivel al mejor camino para despachar los paquetes. Segmentan dominios de broadcast.

7. Gateway: el dispositivo que comunica dos redes, o más bien una red con "el exterior". Un gateway puede ser cualquier equipo de red con al menos 2 puertos a los que se conectan redes distintas (tanto lógicas como físicas).

Topologías

Corresponden a la disposición de los nodos y los medios de comunicación en una red.

En una Local Area Network, las estaciones de trabajo y servidores deben estar conectados. Estas conexiones son permitidas por los medios físicos.

TIPOS:

Topología lógica

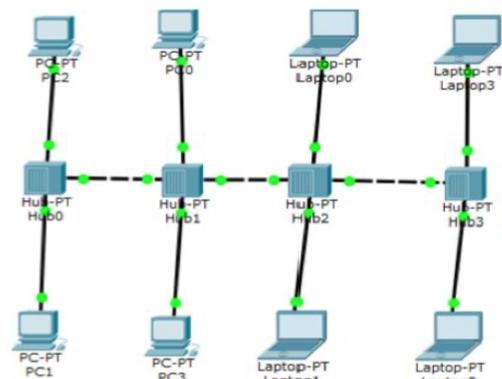
Topología física: Se refiere a las conexiones físicas e identifica cómo se interconectan los dispositivos finales (computadores, cámaras, TV, consola de videojuegos) con los elementos de infraestructura (routers, switches y puntos de acceso inalámbrico). Además especifica la ubicación dentro de un entorno (campus, colegio, fábrica, edificio, hogar) de los terminales (computadores, cámaras, etc) y los dispositivos de infraestructura.

Tipos

- **Bus:** dispositivos conectados en un medio lineal (truncal/bus), cada dispositivo se conecta al medio independientemente, en cada extremo el bus tiene un terminador, que tiene como objetivo absorber la señal eléctrica y así evitar que rebote continuamente.

Características:

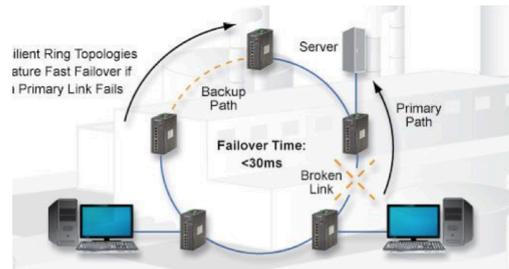
- Soporta comunicación Half-Duplex.
- Si la dirección de destino del fragmento no corresponde a la MAC address de la interfaz del dispositivo, entonces se ignora.
- Se utiliza mecanismo de detección de colisiones, para asegurar la transmisión una sola vez.
- No es escalable, reduce el rendimiento de la red.
- Tiene como desventaja la mantención, debido al diagnóstico de la falla.



- **Anillo:** las estaciones están unidas unas con otras formando un círculo por medio de un cable común, el último nodo se conecta al primero cerrando el anillo, las señales circulan en un sentido regenerándose en cada nodo con el fin de que cada nodo examine la información enviada a través del anillo, sino va dirigida a ese nodo pasa al siguiente y así.

Características:

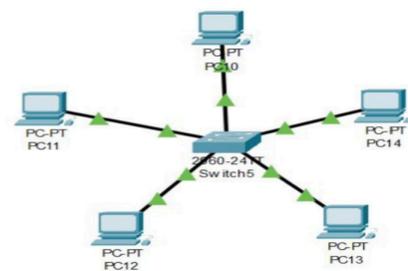
- Tiene como desventaja que si se rompe una conexión, se cae la red completa.
- En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un token o testigo.
- No existen las colisiones.



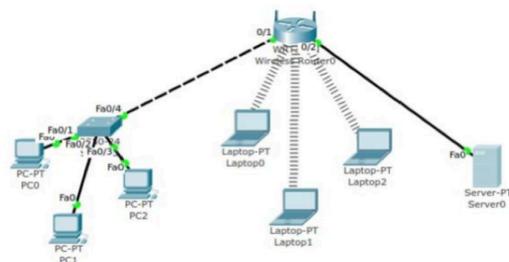
- **Estrella:** todo el tráfico pasa a través del concentrador, en una topología de este tipo, el medio va desde el concentrador hasta cada equipo conectado.

Características:

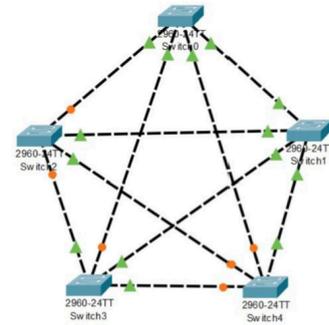
- Red más fácil de instalar, de mantener (única zona de concentración en el concentrador).
- Si un medio se corta o sufre deterioro, sólo el aparato conectado a él queda fuera de servicio.
- Requiere más cable para su instalación.
- La existencia del concentrador lo convierte en un punto único de falla



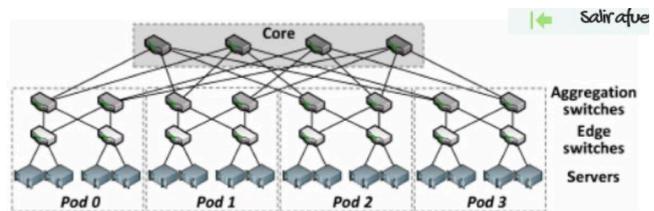
- **Árbol:** los nodos están colocados en forma de árbol, la conexión es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas. La falla de un nodo no implica interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones.



- **Malla:** topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos, pudiendo llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos. Si la red de malla está completamente conectada se minimiza al máximo interrupciones por corte en las comunicaciones.



- **Fat-Tree:** utilizada generalmente por Datacenters.



Network Areas

- **Body Area Network (BAN):** Es una red de comunicación inalámbrica entre dispositivos de baja potencia utilizados en el cuerpo, consiste en un conjunto móvil y compacto de comunicación.
- **Personal Area Network (PAN):** Corresponde a la interconexión de dispositivos TI, dentro del alcance de una persona, normalmente en un rango de 10 metros.
- **Local Area Network (LAN):** Corresponde a una red de computadoras que abarca un área reducida a una casa, un departamento o un edificio.
- **Wide Area Network (WAN):** red de área amplia, es una red de computadoras que une varias redes locales, aunque sus miembros no estén todos en una misma ubicación física.

1.2 Capa de Enlace de Red

Ethernet es una tecnología de medio compartido (cable de cobre, coaxial, wireless), lo que significa que todos los dispositivos en la red deben escuchar las transmisiones y contener o negociar por la oportunidad o derecho a transmitir.

Cuando un dispositivo determina que hubo una colisión, se procede con un backoff, la retransmisión se retarda basado en un algoritmo, y el largo de ese retardo es diferente para cada dispositivo en la red, con el fin de minimizar la posibilidad de una posterior colisión. Para evitar esto, se tiene a la subcapa MAC.

Subcapa MAC

Las redes pueden dividirse en dos categorías:

- Conexiones punto a punto
- Canales de difusión o broadcast.

Colisiones

Para detectar si se va a producir una colisión, la estación comprueba si la señal transmitida es idéntica a la del medio de transmisión. Si no fuera así, otra estación transmitirá al mismo tiempo, distorsionando así la señal del Bus.

Un **dominio de colisión** es un segmento físico de una red en el que las estaciones comparten un medio de transmisión y pueden colisionar.

Protocolos de acceso aleatorio

- **Carrier Sense Multiple Access (CSMA):** CSMA indica que si el transmisor desea enviar datos pero detecta una transmisión en curso, este debe esperar para el envío de estos.
Problema: Ya que varias estaciones pueden haber detectado la transmisión y estar a la espera para transmitir cuando el canal esté desocupado, pueden colisionar ya que todas ellas desean transmitir a la vez.
Solución: Hacer que la espera para volver a transmitir después que el canal está desocupado sea aleatoria (con algún grado de probabilidad).
- **Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA/CD):** Como CSMA no dice qué hacer en caso de que haya una colisión mientras el nodo está transmitiendo un mensaje, en CSMA/CD, la técnica consiste en escuchar el medio mientras se transmite. Si la señal escuchada es diferente a la que se transmite, se sabe que hay una colisión. Ante la presencia de colisión se pasa a una fase de contención.
Con el fin de asegurar que las estaciones detecten la colisión, el transmisor debe enviar a lo menos 64 bytes (largo mínimo aceptado en un segmento Ethernet). Si dos estaciones están en extremos opuestos, el transmisor debe esperar cierta cantidad de tiempo antes de detectar la colisión. Ese tiempo tiene que ser acotado.
- **CSMA/Collision Avoidance:** CSMA/CA difiere CSMA/CD en la naturaleza del medio. Las colisiones no pueden ser detectadas mientras se envía, por lo que la detección de colisiones no es posible.

Algoritmo de retroceso exponencial binario: utilizado para colisiones y en caso de no respuesta para no saturar el medio.

MAC Address

Compuesta por dos partes

- 24 bits llamados OUI: identifica quién es el fabricante del hardware.
- 24 bits llamados NISI: número de serie que identifica al dispositivo fabricado.

Direccionamiento Ethernet

Cuando un host A desea comunicarse con un host B dentro de la misma subred, las direcciones MAC en la trama ethernet corresponden la MAC del host A para la MAC de origen y la MAC del host B para la MAC de destino.

Cuando un host A desea comunicarse con un host B que está fuera de la subred, las direcciones MAC en la trama ethernet corresponden la MAC del host A para la MAC de origen y la MAC del default gateway para la MAC de destino.

SIEMPRE la MAC de destino corresponde a un host que está en la misma subred que el host de origen.

Existe una dirección MAC llamada dirección Broadcast que permite enviar una trama a todos los equipos en una subred, siempre y cuando no pasen a través de un router. La dirección Broadcast ethernet es FF:FF:FF:FF:FF:FF.

ARP(Address Resolution Protocol)

Protocolo de red utilizado para encontrar la dirección MAC (dirección física de capa de enlace) asociada a una dirección IP (dirección lógica de capa de red) dentro de una red local (*LAN*).

Todos los computadores que sean alcanzables colocando la dirección de capa 2 de destino en el frame están dentro del dominio de broadcast.

Para almacenar las direcciones de capa 2 de los computadores del dominio de broadcast, el computador usa la tabla ARP.

Conmutación

Proceso por el cual un switch transporta una trama desde un puerto de entrada (asociado al nodo transmisor) hacia un puerto de salida (asociado al nodo receptor).

Para saber por cual puerto debe ser conmutada la trama, el switch utiliza la tabla Content Addressable Memory (CAM). **Una tabla CAM tiene la asociación entre la MAC address y el puerto en el switch al cual está conectado cada nodo.**

Problemáticas actuales en una red

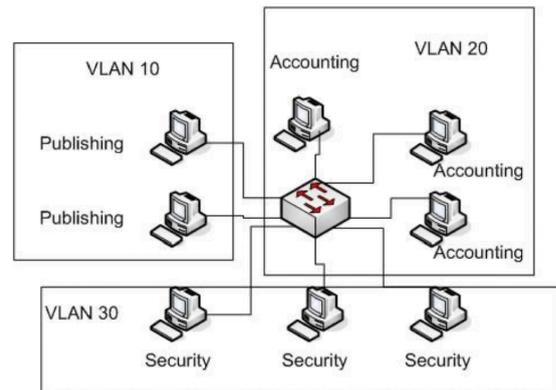
Se espera una alta disponibilidad de la red, auto-reparación y rendimiento. Para lograr esto se usa redundancia, resiliencia, topología mesh y virtualización.

VLAN

Red de área local que agrupa un conjunto de equipos de manera lógica y no física.

La VLAN permite definir una nueva red por encima de la red física y, por lo tanto, ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor flexibilidad en la administración y en los cambios de la red, ya que la arquitectura puede cambiarse usando los parámetros de los conmutadores.
- Aumento de la seguridad, ya que la información se encapsula en un nivel adicional y posiblemente se analiza.
- Disminución en la transmisión de tráfico en la red.



Enlace troncal

En una red conmutada, un enlace troncal es un enlace punto a punto que admite varias VLAN.

El enlace troncal agrupa múltiples enlaces virtuales en un enlace físico, permitiendo que el tráfico de varias VLAN viaje a través de un solo cable entre los switches.

VLAN Trunking Protocol (VTP)

Protocolo que permite desarrollar un mecanismo que permita a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas (Trunking).

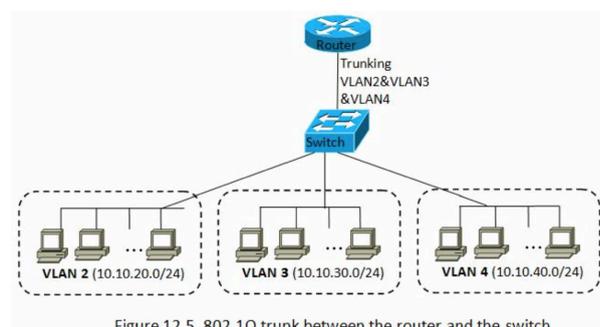


Figure 12.5. 802.1Q trunk between the router and the switch

Link-Aggregation

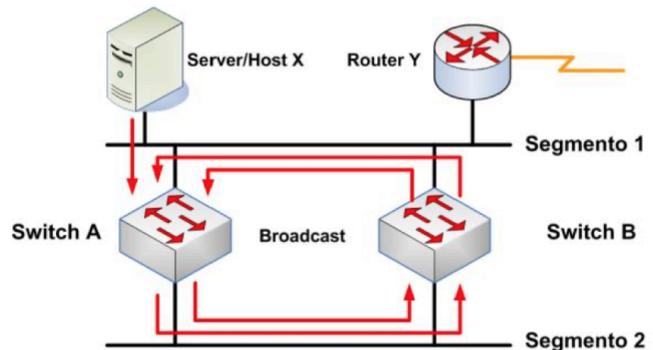
Consiste en utilizar múltiples cables de red en paralelo para aumentar la velocidad del enlace y para incrementar la redundancia para proveer una alta disponibilidad.

Redundancia física

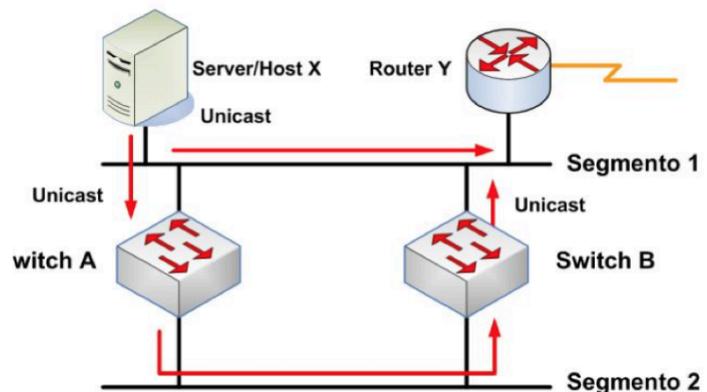
Topologías redundantes son más tolerantes a fallas, mayor disponibilidad.

- Eliminan punto único de falla Problemas:
- Tormenta de broadcast
- Transmisión múltiple
- Inestabilidad de las tablas

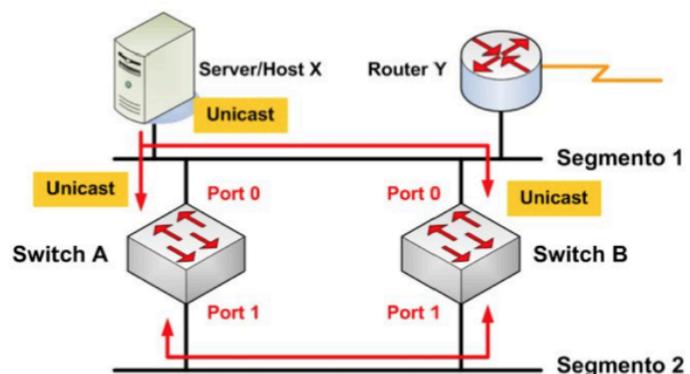
Tormenta de Broadcast: Host X envía un frame broadcast, los switches lo difunden de manera indefinida.



Transmisión Múltiple: Host X envía un frame unicast al router Y, la dirección MAC del router Y no ha sido aprendida por los switch, Router Y recibirá dos copias del mismo frame.



Inestabilidad: Host X envía un frame unicast al router Y, la dirección MAC del router no ha sido aprendida por los otros switches, switches A y B aprenden la dirección del host X por el puerto 0, el frame al router Y es inundado, switches A y B aprenden incorrectamente la dirección MAC de host X en el puerto 1.



La solución a esto son los **Spanning Tree T** de un grafo no dirigido G es un subgrafo que es un árbol que incluye todos los vértices de G, con el mínimo número posible de los enlaces. Impide la existencia de ciclos.

Spanning Tree Protocol

- Protocolo de red que garantiza topologías sin bucles dentro de una LAN Ethernet.
- Permite incluir redundancia a la topología, por sí una conexión falla.
- Crea una topología de árbol, a partir de una red de malla, deshabilitando enlaces, dejando un camino único entre 2 nodos de la red.
- Los switches y bridges que están corriendo el algoritmo STP intercambian mensajes de configuración Bridge Protocol Data Unit (BPDU).

Convergencia: tiempo que tarda la red en elegir un switch que cumpla la función de Root Bridge, además de definir los Root Ports y los Designated Ports.

STP introduce 5 estados de puertos:

- 1. Bloqueado (blocking):** el puerto está no designado y no participa en el envío de frames.
- 2. Escucha (listening):** el puerto se prepara para transmitir ya que STP ha determinado que puede participar.
- 3. Aprende (learning):** el puerto se prepara para el envío y comienza a llenar la tabla de direcciones MAC.
- 4. Reenvía (forwarding):** el puerto envía y recibe frames.
- 5. Deshabilitado (disable):** el puerto no participa en STP. Este estado se establece cuando el puerto está administrativamente deshabilitado.

Step 1 - Root Bridge Selection

Es el primer paso del proceso de convergencia. Se debe elegir un punto o nodo central para la topología STP (Root Bridge). Este es elegido basado en su Bridge ID(compuesto por 16-bit Bridge priority y 48-bit MAC address)

El número de prioridad por defecto es 32768, el switch o bridge que tiene el número de prioridad más bajo gana (es el Root Bridge). Si hay más de un switch con igual prioridad, se usa la dirección MAC más baja para elegir el root bridge.

Step 2 - Root Port Identification

El root port de cada switch es el puerto que tiene la ruta con el mínimo costo hacia el Root Bridge. Cada switch sólo puede tener un root port, el Root Bridge no puede tener un root port. El costo de la ruta es costo acumulado del camino hacia el Root Bridge y está basado en el ancho de banda de los enlaces (mayor ancho de banda, menor costo).

Step 3 - Designated Port Identification

Por cada segmento de red se debe identificar un único puerto designado. Si hay dos puertos designados se producirá un ciclo y uno de los puertos deberá ser puesto en estado bloqueado. Para la elección del puerto designado se usa el mismo procedimiento que para elegir el Root Port.

1.3 Capa de Red

El protocolo IP pretende resolver el problema de conectar diversas redes locales, que además pueden ser de diversos tipos. A este concepto se le conoce como internet working.

Cada datagrama contiene suficiente información para permitir que la red se encargue de hacerlo llegar a destino independientemente, pero este servicio no es confiable, ya que si algo anda mal y el datagrama se pierde, corrompe, se despacha a otro lugar y cualquier otra cosa, la red no hace nada para corregirlo.

En cuanto a la relación con la capa 2, la IP funciona independiente del medio de comunicación y la capa de enlace de datos se encarga de prepararlo para su transmisión en la red.

Maximum Transmission Unit (MTU):

Estructura Datagrama IP

Identification: contiene el número del datagrama el cual identifica el fragmento para su reconstrucción.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
667...	0.0000000000	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=1/256, 1
667...	0.195178687	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=2/512, 1
667...	0.203173492	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=3/768, 1
667...	0.202983697	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=4/1024, 1
667...	0.198656612	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=5/1280, 1
667...	0.203714186	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=6/1536, 1
667...	0.201265312	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=7/1792, 1
667...	0.196083432	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=8/2048, 1
667...	0.297671552	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=9/2304, 1
668...	0.414752346	192.168.0.1	192.168.0.24	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x51e8, seq=10/2560, 1

```
Frame 66764: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured (784 bits) on interface wlp2s0, id 0
  Ethernet II, Src: ArrisGro_48:8a:88 (18:35:d1:48:8a:88), Dst: IntelCor_68:a6:eb (18:1d:ea:68:a6:eb)
  Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1, Dst: 192.168.0.24
    0100 .... = Version: 4
    .... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
  Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
    Total Length: 84
    Identification: 0x7bdf (31711)
```

Ventajas de segmentar

- **Eficiencia**
 - Un segmento IP requiere estar en el mismo dominio de broadcast.
 - Si tenemos muchos nodos en el mismo segmento, aumentamos las posibilidades de colisión y disminuimos el rendimiento.
- **Seguridad**
 - Podemos aplicar reglas o filtros de tráfico entre segmentos IP.
- **Administración**
 - Definimos segmentos IP en base a funciones, que requieren tipos de servicio diferentes.
 - Cada red IP puede recibir un tratamiento diferente, distintos servicios, etc.

IPs para una LAN

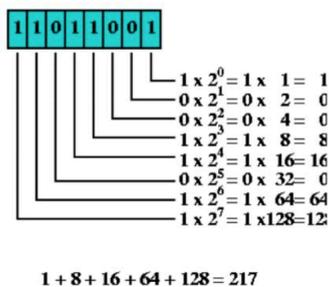
IANA define un bloque de IPs reservados que permiten a las organizaciones su utilización en redes privadas sin solicitud alguna. A estos bloques reservados se les conoce como direcciones privadas, pues está prohibido su uso en redes públicas como Internet.

- **Direcciones IP públicas:** Son visibles en todo Internet. Un nodo con una IP pública es accesible (visible) desde cualquier otro nodo conectado a Internet. Para conectarse a Internet es necesario tener una dirección IP pública.
- **Direcciones IP privadas (reservadas):** Son visibles únicamente por otros nodos de su propia red o de otras redes privadas interconectadas por routers. Se utilizan en las empresas para los puestos de trabajo. Los nodos con direcciones IP privadas pueden salir a Internet por medio de un router (o proxy) que tenga una IP pública.

240.0.0.0 – 255.255.255.254	Reservado (clase E)
10.0.0.0	Privado clase A
172.16.0.0 – 172.31.0.0	Privado clase B
192.168.0.0 – 192.168.255.0	Privado clase C

NAT: Network Address Translation

Es la solución para la escasez de IPs, ISP asigna una IP para cada hogar/empresa. Dentro de la red, cada equipo tiene un IP único perteneciente a la red privada y para lograr comunicar con el resto de las redes, se realiza un proceso de traducción entre las IP privadas a la IP pública.



Decimal number 225			Decimal number 8		
Division	Quotient	Remainder	Division	Quotient	Remainder
225 / 2	112	1 ← LSB	8 / 2	4	0 ← LSB
112 / 2	56	0	4 / 2	2	0
56 / 2	28	0	2 / 2	1	0
28 / 2	14	0	1 / 2	0	1
14 / 2	7	0			0
7 / 2	3	1			0
3 / 2	1	1			0
1 / 2	0	1			0
Binary number 11100001			Binary number 00001000		
Decimal number 77			Decimal number 254		
Division	Quotient	Remainder	Division	Quotient	Remainder
77 / 2	38	1 ← LSB	254 / 2	127	0 ← LSB
38 / 2	19	0	127 / 2	63	1
19 / 2	9	1	63 / 2	31	1
9 / 2	4	1	31 / 2	15	1
4 / 2	2	0	15 / 2	7	1
2 / 2	1	0	7 / 2	3	1
1 / 2	0	1	3 / 2	1	1
		0	1 / 2	0	1
Binary number 01001101			Binary number 11111110		

Máscara de red: compuesta por una secuencia de 1s y 0s, permite conocer rangos de IPs. Al hacer un AND con una dirección IP de una red, permite obtener la IP inicial y final de la red.

Prefijo: Formado por IP/Mask

- Tamaño del prefijo no puede ser calculado solo con la IP
- IP + tamaño: 131.108.0.0 / 16, se debe enviar el tamaño igualmente
- Subnet Mask → 16 representa número de 1's incluidos en la máscara
- IP AND Mask → Parte que representa la red

Ventajas del esquema jerárquico

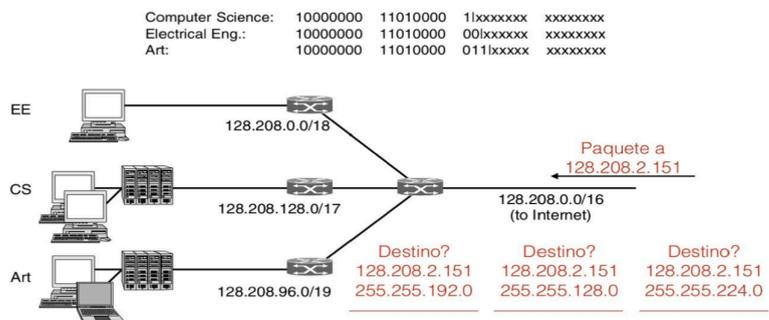
- Solo utiliza la parte de red para “rutear” paquetes disminuyendo los tamaños de las tablas de los routers.
- Cuando llega a la red de destino, se utiliza la información del host para entregar el paquete.
- Tamaño de las tablas son del orden de 300.000 prefijos, con Internet actual, lo cual le permite escalar.

Desventajas del esquema jerárquico

- Uso ineficiente de las IPs a menos que haya una cuidadosa administración.
- Si se asignan bloques de direcciones muy grandes pueden quedar muchos IPs sin uso.
- Con el crecimiento de internet las IPs son un bien escaso.

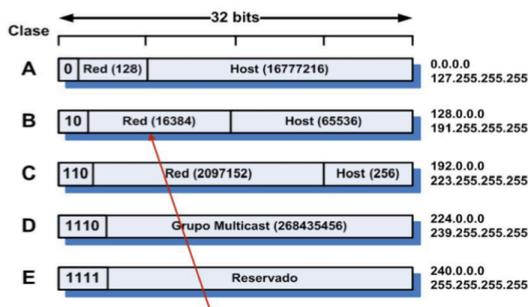
Subredes: segmentos de nodos de la red, cada segmento de la red está identificado por un prefijo de red y todos los host de dicho segmento poseen el mismo prefijo.

Ejemplo de subred



CLASES DE IPS Y SUS RANGOS

Clases de IPs



CIDR (Classless Inter Domain Routing): se utiliza para combinar rutas y reducir los datos de enrutamiento transportados por los routers centrales.

Clase	Prefijo CIDR	Rango	Direcciones
A	10.0.0.0/8	10.0.0.0 - 10.255.255.255	1 dirección clase A
B	172.16.0.0/12	172.16.0.0 - 172.31.255.255	16 direcciones clase B
C	192.168.0.0/16	192.168.0.0 - 192.168.255.255	256 direcciones clase C

Subnet Mask				
Suffix	Hosts	32-Borrowed=CIDR	2*Borrowed=Hosts	Binary-> dec = Suffix
.255	1	/32	0	11111111
.254	2	/31	1	11111110
.252	4	/30	2	11111100
.248	8	/29	3	11111000
.240	16	/28	4	11110000
.224	32	/27	5	11100000
.192	64	/26	6	11000000
.128	128	/25	7	10000000

VLSM (Variable Length Subnet Masking):

- Lo que tradicionalmente se utiliza es un tamaño de máscara variable.
- Máscara variable permite adaptarse a las necesidades y reducir el desperdicio de IPs.
- La parte red y la parte host no son iguales en todas las subredes.
- Aunque las subredes pueden tener diferente tamaño no pueden solaparse

Permite dividir una red en subredes de diferentes tamaños según las necesidades específicas de cada segmento.

Cómo funciona VLSM

1. Determinar la red principal: Empieza con una red base definida por su dirección IP y máscara (por ejemplo, **192.168.0.0/24**).

2. Analizar las necesidades de cada subred: Calcula cuántos hosts requiere cada subred (acercando a la potencia de dos más cercana la cantidad de host entregados). Recuerda que cada subred necesita al menos dos direcciones: una para la red y otra para broadcast.

3. Asignar máscaras de subred específicas:

- Usa máscaras más largas (más bits para la red, menos para hosts) para subredes con pocos hosts.
- Usa máscaras más cortas (menos bits para la red, más para hosts) para subredes más grandes.

4. Dividir y asignar bloques: Divide la red principal en bloques más pequeños siguiendo las necesidades y aplica la máscara adecuada. La división debe respetar los límites binarios.

5. Asegurarse de evitar solapamientos: Las subredes deben ser disjuntas, es decir, no deben compartir direcciones IP.

Ejemplo de VLSM 1

Supongamos que tienes la red **192.168.1.0/24** y necesitas crear subredes para los siguientes requisitos:

- Subred A: 50 hosts.
- Subred B: 20 hosts.
- Subred C: 10 hosts.

Paso 1: Calcular el tamaño de las subredes

1. Subred A:
 - Se necesitan al menos 50 direcciones + 2 (red y broadcast).
 - El bloque más cercano en potencia de 2 es **64**, lo que requiere una máscara **/26** (255.255.255.192).
2. Subred B:
 - Se necesitan al menos 20 direcciones + 2.
 - El bloque más cercano es **32**, lo que requiere una máscara **/27** (255.255.255.224).

3. Subred C:
 - Se necesitan al menos 10 direcciones + 2.
 - El bloque más cercano es 16, lo que requiere una máscara /28 (255.255.255.240).

Paso 2: Asignar las subredes

1. Subred A: 192.168.1.0/26 (rango: 192.168.1.0 - 192.168.1.63).
2. Subred B: 192.168.1.64/27 (rango: 192.168.1.64 - 192.168.1.95).
3. Subred C: 192.168.1.96/28 (rango: 192.168.1.96 - 192.168.1.111).

Paso 3: Espacio sobrante

Después de asignar estas subredes, quedan direcciones disponibles en la red principal (de 192.168.1.112 en adelante) para futuras subredes.

Ejemplo de VLSM 2

Se tiene una red clase C cuya dirección base es 192.168.10.0/24. Se quiere dividir dicha red en 4 subredes.

- Subred A con 50 host
- subred B con 20 host
- subred C con 10 host
- subred D con 10 host.

Determine una manera de asignar direcciones utilizando VLSM. Identifique número de hosts, rango de IPs disponibles, dirección de broadcast, y máscara de cada subred.

RESPUESTA:

RED:#	Host (2 ⁿ)	n	Red	Mascara	Rango Util	Broadcast
A: 50	64	6	192.168.10.0	255.255.255.192 /26	192.168.10.1 - 192.168.10.62	192.168.10.63
B: 20	32	5	192.168.10.64	255.255.255.224 /27	192.168.10.65 - 192.168.10.94	192.168.10.95
C:10	16	4	192.168.10.96	255.255.255.240 /28	192.168.10.97 - 192.168.10.110	192.168.10.111
D:10	16	4	192.168.10.112	255.255.255.240 /28	192.168.10.113 - 192.168.10.126	192.168.10.127

Agregación de dominios

Proceso consiste en encontrar el máximo prefijo común entre las redes.

Ventajas:

- Hace más pequeñas las tablas de enrutamiento, logrando que las búsquedas en la tabla sean más rápidas.
- Vuelve más legible la información y oculta información específica acerca de las redes agregadas.
- Los protocolos de enrutamiento dinámico pueden evitar consumir ancho de banda para las actualizaciones.

Enrutamiento

Tipos de enrutamiento

	Enrutamiento dinámico	Enrutamiento estático
Complejidad de la configuración	Por lo general es independiente del tamaño de la red	Se incrementa con el tamaño de la red
Conocimientos requeridos del administrador	Se requiere de un conocimiento avanzado	No se requieren conocimientos adicionales
Cambios de topología	Se adapta automáticamente a los cambios de topología	Se requiere la intervención del administrador
Escalamiento	Adecuado para las topologías simples y complejas	Adecuada para topologías simples
Seguridad	Es menos seguro	Más segura
Uso de recursos	Utiliza CPU, memoria y ancho de banda de enlace	No se requieren recursos adicionales
Capacidad de predicción	La ruta depende de la topología actual	La ruta hacia el destino es siempre la misma

Protocolos para caminos dinámicos

	Distance Vector	Link State
Internos	RIP, RIPv2, EIGRP	OSPF, IS-IS
Externos	BGP	

Distance Vector

Cada nodo mantiene un arreglo que contiene las distancias a todos los otros nodos y se la comunica a todos sus vecinos. Inicialmente la tabla tiene la información para los vecinos directos y para los otros el valor es infinito. Utiliza Bellman-Ford para calcular las rutas.

El proceso necesario para que todos los nodos tengan una visión consistente de la red, se llama convergencia.

Se envían actualizaciones a los vecinos en dos circunstancias: periódicamente a intervalos regulares y cuando se recibe una notificación de cambio desde un vecino.

RIP cuenta los saltos efectuados hasta llegar al destino mientras que IGRP utiliza otra información como el retardo y el ancho de banda. Este proceso se conoce también como "enrutamiento por rumor" ya que los nodos utilizan la información de sus vecinos y no pueden comprobar a ciencia cierta si ésta es verdadera o no

Situación inicial

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	INF	--
E	1	E
F	1	F
G	INF	--

Information Stored at Node	Distance to Reach Nodes						
	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	INF	1	1	INF
B	1	0	1	INF	INF	INF	INF
C	1	1	0	1	INF	INF	INF
D	INF	INF	1	0	INF	INF	1
E	1	INF	INF	INF	0	INF	INF
F	1	INF	INF	INF	INF	0	1
G	INF	INF	INF	1	INF	1	0

4r

Situación final

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	2	C
E	1	E
F	1	F
G	2	F

Information Stored at Node	Distance to Reach Nodes						
	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	2	1	1	2
B	1	0	1	2	2	2	3
C	1	1	0	1	2	2	2
D	2	2	1	0	3	2	1
E	1	2	2	3	0	2	3
F	1	2	2	2	2	0	1
G	2	3	2	1	3	1	0

Un problema de Distance Vector se denomina count-to-infinity.

Una primera aproximación es definir INF=16, lo que reduce el tiempo de convergencia.

Éstas **técnicas afectan la velocidad de convergencia del protocolo, y por lo mismo no se usan en redes grandes.**

- Otra técnica llamada split horizon, consiste en no enviar las actualizaciones de ruta al vecino del cual se aprendieron.
- Otra técnica más fuerte es split horizon with poison reverse, que consiste en que un nodo sí le envía la actualización aprendida al nodo de quién la aprendió, pero con distancia INF.

RIPv2 (RFC 1723)

Para elegir una ruta, compara las métricas (al recibir una tabla, le suma 1 a todas sus métricas, puesto que las redes están a un router más de distancia) y se queda con la más pequeña. Si existe igualdad se queda con la ruta antigua.

Actualización de tabla:

RIP se actualiza cada 30 segundos utilizando el protocolo UDP y el puerto 520, enviando la tabla de enrutamiento completa a sus vecinos. Las rutas tienen un TTL (tiempo de vida) de 180 segundos, es decir que si en 6 intercambios la ruta no aparece activa, esta es borrada de la tabla de enrutamiento.

Distancia Administrativa:

RIP es un protocolo de enrutamiento con una distancia administrativa de 120 (cuanto menor sea la distancia administrativa el protocolo se considera más confiable) y utiliza un algoritmo de vector distancia utilizando como métrica el número de saltos.

Enrutamiento por estado de enlace:

El algoritmo de Dijkstra permite encontrar la ruta más corta entre dos nodos en un grafo. La ruta más corta no se refiere a la ruta con menos cantidad de saltos.

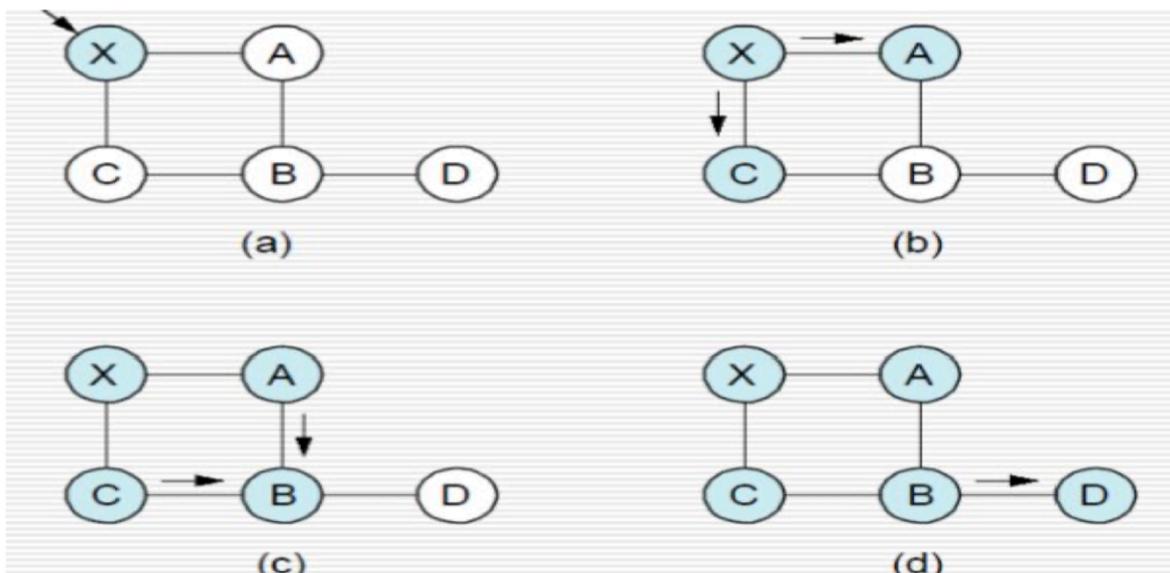
Link State

Asume que cada nodo es capaz de detectar el "estado" del enlace con sus vecinos. Cada nodo sabe como llegar a sus vecinos directos.

Toda esa información es diseminada por toda la red, con el de que cada nodo es capaz de tener una visión completa de la red y con ello poder calcular el camino más corto a cada destino.

Este tipo de protocolo se basa en comunicar a todos los miembros la situación de los enlaces, haciendo un flooding de la red, que quiere decir que cada nodo le entrega su información a todos sus vecinos y así sucesivamente.

Proceso de flooding



- **Contenido de LSP (Link-State Packets)**

- ID del nodo que creó el LSP.
- Una lista de los vecinos directamente conectados a ese nodo con el costo del enlace a cada uno.
- Un número de secuencia.
- Un TTL para el paquete.
- Los dos primeros campos se usan para calcular las rutas y los dos últimos para asegurar el proceso de flooding. La confiabilidad del proceso incluye asegurarse que todos los nodos tienen la información actualizada.

- **Proceso LSP**

Si un nodo X recibe una copia de un LSP de parte de un nodo Y, éste verifica si ya tiene información almacenada proveniente de Y, sino tiene, lo almacena y si tiene compara el número de secuencia.

Si el nuevo LSP tiene un número mayor, lo considera más nuevo y actualiza su tabla con su información, además de enviarlo a todos sus vecinos, menos aquel que nos lo envió (split-horizon), si la secuencia es menor o igual, se descarta.

- **Difusión de LSP**

Se generan en dos circunstancias:

- A intervalos regulares de tiempo. Estos intervalos son amplios (algunas horas) para reducir el sobrecosto.
- Al producirse un cambio en la topología. Para detectar éstos el protocolo envía mensajes "Hello" regularmente. Si no se ha escuchado un "Hello" desde un vecino en cierto tiempo, se declara el enlace como "fuera de servicio" y se genera un LSP para anunciarlo.

Open Shortest Path First (OSPF)

Se mantienen dos listas: Tentative y Confirmed, donde cada entrada es de la forma <Destination, Cost, NextHop>, se inicializa Confirmed con una entrada para mi host, con costo 0. Para el nodo recién agregado la lista Confirmed, que llamaremos Next, revisaremos sus LSP y para cada vecino <Neighbor> de Next, calculamos el costo <Cost> de llegar a <Neighbor> como la suma del costo desde mi a Next y desde Next a Neighbor.

Si Neighbor no está en la lista Tentative ni en Confirmed, agregó <Neighbor, Cost, NextHop> dónde Next Hop es quien permite llegar a Neighbor, mientras que si está en la lista Tentative y el costo es menor que el actual costo, reemplazar la actual entrada con <Neighbor, Cost, Next Hop>. Si la lista Tentative está vacía, se detiene. Si no, elijo la entrada de Tentative que tenga el costo más bajo, la muevo a la lista Confirmed y vuelvo al paso 2.

En un link-state el tiempo de convergencia puede ser de 4 o 5 segundos según la red, en cambio en RIP es de 180 segundos

Autonomous Systems: Unidades bajo la misma administración, permite agregación de direcciones con el objetivo de reducir la cantidad de información global, y con ello permitir una mejor escalabilidad. Dentro de los AS se pueden usar protocolos internos (IGP) o externos, pero entre AS, se usan protocolos externos (EGP).

Exterior Gateway Protocol

Se basa en el sondeo periódico empleando intercambios de mensajes "Hello/I Hear You", para monitorizar la accesibilidad de los vecinos y para sondear si hay solicitudes de actualización. Trabaja con redes de diferentes sistemas autónomos, publicando sus propias redes y determinando a través de qué otro sistema autónomo se puede llegar a un tercero. Además, tiene varias funciones de filtrado para permitir informar o no sobre las rutas que tiene y a que router externo AS lo dice.

Internal Gateway Protocol

Los IGP son protocolos de enrutamiento que pertenecen a un solo AS, y es administrado por una sola entidad, ejemplos de estos son el RIP, RIPv2, OSPF, IGRP y EIGRP (Cisco). Se utilizan en routers internos y los EGP se utilizan en routers fronterizos y externos.

1.4 Capa de Transporte

Para evitar los problemas de los segmentos como recordar PDU de capa 4, pérdidas de segmentos por rutas congestionadas o enlaces caídos, segmentos llegan fuera de orden y segmentos se duplican por retardos que obligan a la retransmisión.

Se emplea la segmentación la cual re-ensambla segmentos para pasarlos a la aplicación de manera coherente, esto es posible gracias a la enumeración y secuenciación de los segmentos.

Aplicaciones

Identificar las aplicaciones

- Asegurar que cada aplicación en ejecución reciba los datos correctamente, para esto se utilizan puertos específicos para cada aplicación.

Maximum Segment Size: se define en la conexión TCP y permite saber el tamaño máximo de los paquetes a segmentar.

Multiplexing

La segmentación de los datos permite que múltiples conexiones de diferentes usuarios sean multiplexadas en la misma red. La capa de transporte agrega un header (o encabezado) que contiene información para identificar cada segmento de datos.

Protocolo de la capa de transporte

Los protocolos **UDP (User Datagram Protocol)** y **TCP (Transmission Control Protocol)** son dos protocolos de la capa de transporte del modelo TCP/IP que permiten la transmisión de datos entre dispositivos en una red.



Header TCP

TCP es un protocolo stateful, vale decir mantiene información acerca del estado de la comunicación, lo enviado y lo recibido.

El encabezado TCP (header) es de 20 bytes y encapsula la información de la capa de aplicación

Header UDP

UDP es un protocolo stateless, vale decir ni el receptor ni el origen deben llevar un seguimiento del estado de la comunicación. Si se requiere de confiabilidad debe ser manejada por la aplicación. Los paquetes enviados por UDP son conocidos bajo el nombre de datagramas. UDP tiene una cabecera de 8 bytes.

Puertos

Para poder realizar varias conexiones de forma simultánea, la IP tiene asignados 65536 puntos de salida y entrada de datos, algunos de ellos asignados por IANA (RFC 1700).

2. Telecomunicaciones (Comunicaciones Digitales, TI, Señales)

- Una fuente digital de información produce un conjunto finito de mensajes posibles.
- Una fuente analógica de información produce un conjunto infinitos mensajes distintos
- Una Forma de onda digital es una función en el tiempo que sólo puede adoptar un conjunto discreto de valores de amplitud. No sólo 1 o 0.
- Una Forma de onda analógica es una función del tiempo que posee un rango continuo de valores.

Objetivos de un sistema de comunicación:

Enviar la información con el mínimo deterioro posible y satisfacer las condiciones de diseño de ancho de banda, potencia y costo

Medida de la degradación digital: BER (Bit Error Rate).

Asignación de frecuencias:

La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) / ITU da la distribución internacional de frecuencias y determina el tipo de servicio, la modulación, la banda de frecuencias y la potencia máxima admisible.

Propagación según la frecuencia:

Propagación Terrestre únicamente: 3KHz a 300KHz

Propagación Terrestre e Ionosférica: 300KHz a 30MHz

Propagación Línea de Vista (LOS): 30MHz a 300GHz

Atenuaciones por precipitaciones y vapor de agua: 10GHz, 22.2GHz, 183GHz

2.1 Modo de propagación de onda

Propagación de onda en espacio libre

El modo de propagación depende de la frecuencia, a frecuencias más bajas, el alcance es mayor, la onda es más penetrante y rodea más obstáculos, mientras que a frecuencias más altas se transmite una mayor cantidad de datos.

Según el orden de frecuencias, de más baja a más alta, las ondas de radio pueden tomar 3 trayectorias básicas de propagación a través de espacio libre.

A medida de que las ondas están más cerca de la superficie de la tierra se verán más afectadas por las propiedades de esta.

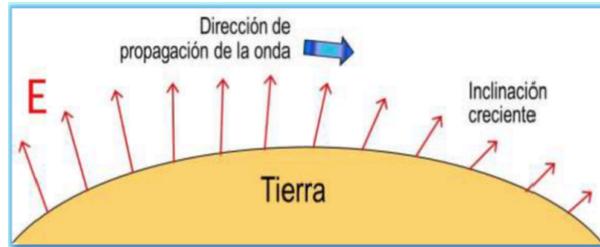
Modos de propagación de ondas		
Hasta 2 MHz	300 kHz a 30 MHz	30 MHz a 30 GHz
Por onda de superficie o terrestre. La onda sigue a la superficie de la Tierra.	Por onda ionosférica. La onda se refracta en las capas ionizadas de la atmósfera.	Por onda espacial o línea de vista. La onda se propaga en línea recta, directa, del transmisor al receptor.

Propagación por onda ionosférica

- Ondas de frecuencia hasta 2 MHz

Onda polarizada de manera vertical que sigue la superficie de la tierra, por ende, sigue su curvatura para propagarse más allá del horizonte.

En cuanto a sus aplicaciones, da buenos resultados en comunicaciones a larga distancia, aunque afecta mucho el tipo de terreno, además se utiliza en la banda de radiodifusión AM.



- Ondas de frecuencia de 300KHz a 30MHz

La onda se refracta en las capas ionizadas de la atmósfera, allí las moléculas de aire se ionizan por la radiación solar, dichas capas están entre 60-400 Km de altura. La propagación en el día (mayor ionización) es posible para las frecuencias entre 10MHz y 30MHz, mientras que la propagación de noche (menor ionización) es posible para las frecuencias menores que 10MHz.

En cuanto a su aplicación, se utiliza en comunicaciones de barcos, aviones y radioaficionados. Tienen gran alcance pero poca estabilidad, las ondas pueden reflejarse desde el suelo y realizar saltos. Es posible rodear la tierra (max distancia de un salto es de 3.200Km).



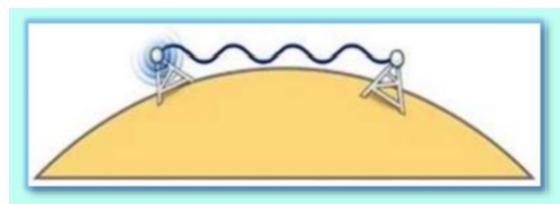
Propagación por onda espacial terrestre

- Ondas de frecuencia entre 30MHz a 30GHz

Utiliza radiación directa entre dos antenas a través de la troposfera, se le conoce también como propagación por Línea de Vista (LOS), pueden haber reflexiones desde la superficie de la tierra, pero es más probable que cause problemas que incremente la señal intensidad de la señal.

En cuanto a su aplicación, se utilizan en radioenlace por microondas terrestre, telefonía móvil, difusión de televisión terrestre

La onda espacial terrestre requiere que ambas antenas estén a la mayor altura posible. Los radioenlace de microondas terrestres se explotan entre 2 a 80GHz se llaman así ya que ambos terminales (Tx y Rx) se encuentran en la tierra.



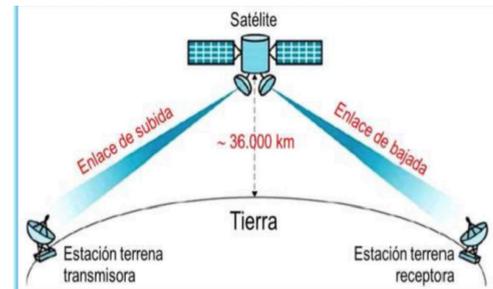
Propagación por onda espacial satelital

- Ondas de frecuencia entre 30MHz a 30GHz

Utiliza radiación directa entre la antena de la estación terrestre y la satelital, el satélite corresponde a un repetidor emplazado en el espacio.

En cuanto a su aplicación, se utiliza en radioenlaces por microondas satelital, telefonía móvil satelital y difusión de televisión satelital.

Los radioenlace de microondas terrestres se explotan entre 2 a 50GHz se llaman así ya que uno de los terminales se encuentra en un satélite.



Para una radiación eficiente la antena debe ser más larga que $h = \frac{\lambda}{10}$, calculando $\lambda = \frac{c}{f}$, con $c = 3 * 10^8$ m/s y f igual a la frecuencia.

Las ondas se refractan de manera gradual en la ionósfera y responde a la expresión:

$$n = \sqrt{1 - \frac{81 * N}{f^2}}$$

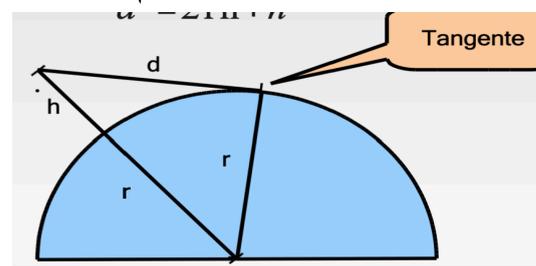
Con n índice de refracción, N cantidad de electrones libres por metro cúbico (alrededor de 10^{12}) y f es la frecuencia en Hz.

2.2 Propagación LOS

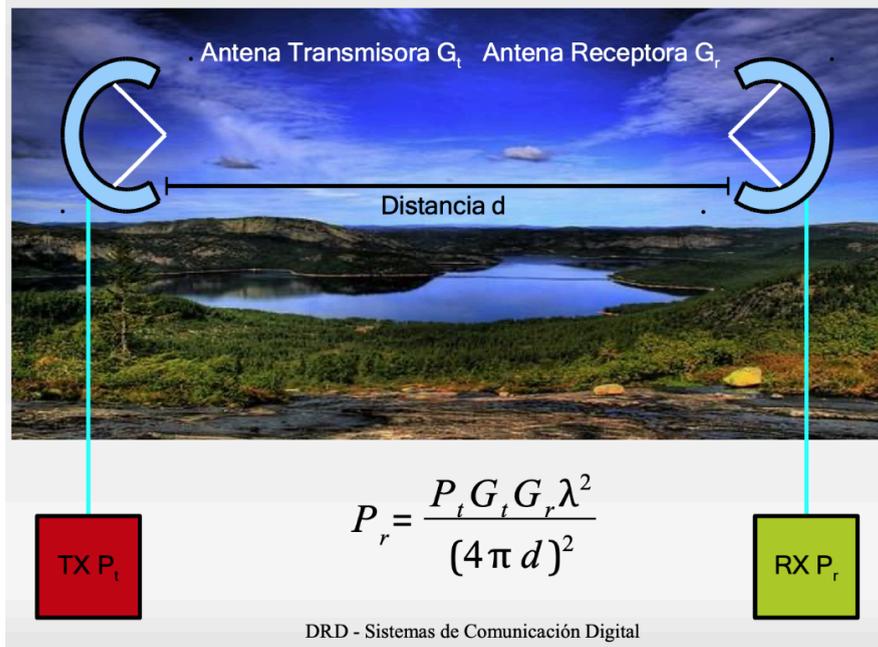
La propagación LOS requiere que las antenas se vean por encima del horizonte. **El radio de la tierra es de 8497km (8.497.000 m).**

Dando para nuestro cálculo, $d = \sqrt{2 * r * h}$

Si se quiere sumar distancias se tiene $d = \sqrt{2 * r * h_1} + \sqrt{2 * r * h_2}$



- La distancia a la que puede llegar una señal depende también del transmisor y el receptor.
- El transmisor entrega una potencia al medio a través de la antena.
- El receptor tiene una sensibilidad mínima, una señal con potencia menor no puede ser decodificada.
- Además, la señal debe ser recibida con una cierta potencia por encima del ruido para ser decodificada.



- **Línea de vista de onda espacial**

Alcance de la trayectoria

La onda espacial utiliza radiación directa entre dos antenas a través de la troposfera. Debe disponer de la potencia necesaria para cruzar una distancia dada y tener condiciones de visibilidad directa.

La distancia de comunicación está limitada por la curvatura de la tierra y se calcula en base a la geometría de la tierra y la altura en que está la antena transmisora (horizonte óptico).

$$r_1(km) = \sqrt{12.74 * h_1(m)}$$

En la práctica la distancia va más allá del horizonte óptico debido a que la refracción en la atmósfera tiende a curvar la onda hacia la tierra, provocando que llegue una distancia 1/3

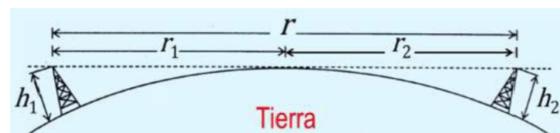
veces mayor al horizonte de radio $r_1(km) = \sqrt{17 * h_1(m)}$.

(AMBAS ECUACIONES SE UTILIZAN EN UN TERRENO RAZONABLEMENTE PLANO)

r_1 = distancia del transmisor al horizonte. En km.
 h_1 = altura en que está la antena transmisora. En m.
 $K \approx 4/3$, factor de corrección.

Para calcular la distancia máxima, se incluye la altura en la que está la zona receptora, por lo que se consideran las distancias al horizonte de radio de cada antena. $r_1(km) = \sqrt{17 * h_1(m)}$

y $r_2(km) = \sqrt{17 * h_2(m)}$.



Entonces para obtener el valor aproximado de la distancia máxima se deben sumar ambas,

$$r(km) = \sqrt{17 * h_1(m)} + \sqrt{17 * h_2(m)}, \text{ con } r \text{ en Km y } h \text{ en m.}$$

Obstrucción parcial de la línea de vista

La antena es el foco primario de un frente de onda que se expande, pero ese frente incide en alguna montaña o algún obstáculo y se produce una difracción.

Las ondas directas y difractadas se suman al receptor, pero debido a la diferencia en la longitud de trayectoria de ambas, la interferencia puede ser **constructiva** (si ambas ondas están en fase) o **destructiva** (si están fuera de fase, es decir, se pueden cancelar mutuamente produciendo el desvanecimiento de onda).

Si se quiere disminuir la potencia de la onda difractada y su interferencia sea menos pronunciada se debe incrementar el espacio entre la trayectoria directa y el objeto que difracta la onda.

2.3 Zonas de fresnel

Las zonas de fresnel son una familia de elipsoides en 3D con focos en las antenas, **todas poseen la misma distancia r entre antenas pero cada una dispone de un radio F al centro cada vez mayor.**

La idea consiste en determinar en qué zona del espacio entre el emisor y el receptor debe estar libre para evitar la interferencia destructiva de la onda difractada.

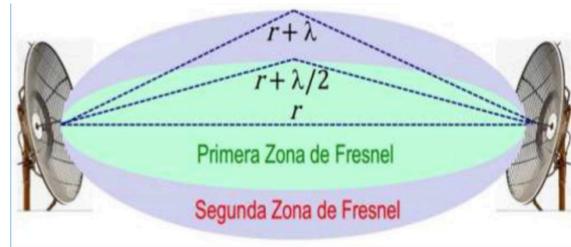
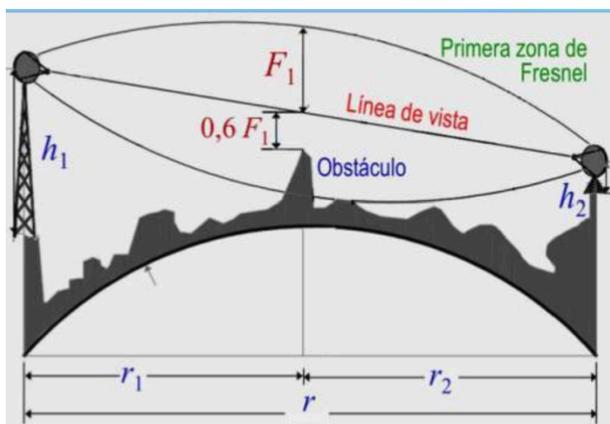
Existen muchas zonas de fresnel, pero la que nos interesa es la primera, ya que contiene el 50% de la potencia de la onda. Si dicha zona se encuentra libre, el nivel de recepción será equivalente al obtenido en espacio libre.

- Cálculo de la primera zona de Fresnel

El radio F_1 en cualquier punto del elipsoide de la primera zona de Fresnel se calcula en función de la ubicación del obstáculo y la frecuencia de operación.

$$F_1(m) = 17,32 * \frac{\sqrt{r_1(km)*r_2(km)}}{\sqrt{r(km)*f(GHz)}}$$

F_1 = radio de la primera zona de Fresnel. En m.
 r_1, r_2 = distancia de la antena al obstáculo. En km.
 r = distancia entre antenas. En km.
 f = frecuencia de operación del sistema. En GHz.

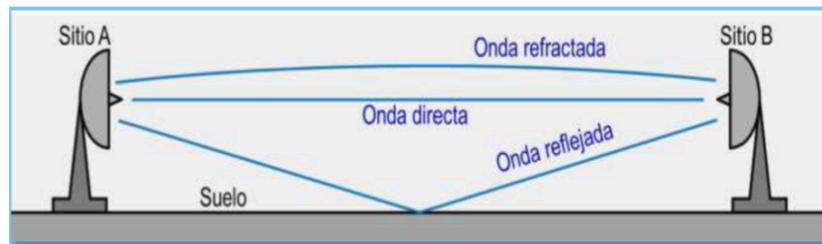


Multitrayectoria

Se produce ya que en un **radio enlace una LOS se planifica con un línea de vista libre** de obstáculos, **pero debido a la refracción y a la reflexión se reciben múltiples copias de la onda con diferentes retardos.**

La refracción es causada por la atmósfera, dobla a tierra la trayectoria de la onda que se expande, mientras que la reflexión es causada por la superficie del suelo o el agua.

La onda resultante será mayor o menor que la directa, dependiendo de la diferencia en la longitud de los trayectos de la onda directa y de las refractadas y reflejadas, es decir, se produce una amplificación o anulación parcial de la onda.



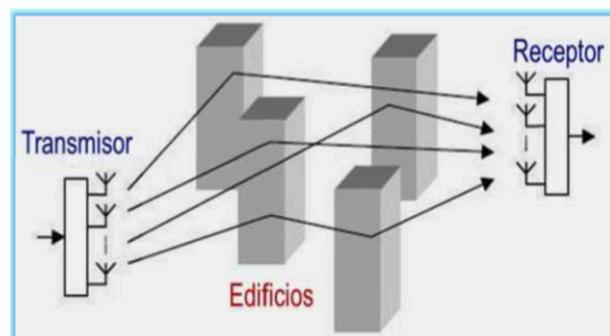
Para controlar el desvanecimiento de la onda, existen dos métodos básicos para tratarlo:

1. **Sobre construir el sistema:** Se incrementa la potencia del transmisor, la ganancia de las antenas o la sensibilidad del receptor para tener un margen de desvanecimiento de por lo menos 20 dB.
2. **Técnicas de diversidad:** La primera corresponde a la diversidad de frecuencias; la segunda la diversidad de espacio, es decir, utiliza dos antenas montadas una sobre otra en la misma torre (antenas deben estar separadas por 2λ o más). Estas técnicas no se usan cuando la superficie reflectora es agua.

Multitrayectoria en comunicaciones móviles

En comunicaciones móviles la multitrayectoria es fundamental, ya que las superficies reflectoras las proporcionan los rasgos estructurales y topográficos del ambiente, los efectos son controlados por sistemas de antenas inteligentes (estas controlan la amplitud y la fase de las ondas recibidas hasta obtener una óptima recepción y superar los límites de la línea de vista cuando se dispone de suficiente potencia.

- **MIMO (Multiple Input Multiple Output):** tecnología de antenas inteligentes que utiliza varias antenas en el transmisor y en el receptor. Capitaliza los beneficios de la multitrayectoria y de la diversidad de espacio para conseguir un mejor alcance del que se consigue con sistemas tradicionales. Se utiliza hoy en redes WiFi(-4, 5 y 6) y en tecnologías 4G y 5G. Un enlace sin línea de vista es posible.



2.4 Clasificación de los sistemas de telecomunicaciones

- **Medio físico de transporte de señales**, los sistemas pueden clasificarse principalmente en cable, fibra óptica o radioeléctricos.
- **Tipo de usuarios**, sistema punto a punto o punto multipunto.
- **Tipo de comunicación**, unidireccionales o bidireccionales.
- **Banda de frecuencia en sistema** de banda estrecha o banda ancha.

En base a los sistemas de cable o fibra óptica, utilizan como medio físico de transporte de las señales algunos de las siguientes:

- **Línea abierta:** formada por uno o más hilos conductores. Si son dos hilos se designan como línea de pares, si está formada por cuatro hilos, se conoce como cuadrete. Se utiliza principalmente en telefonía, telegrafía y transmisión de datos a baja velocidad.
- **Cable telefónico de pares múltiples:** Consiste de un cable protegido contra la intemperie y usualmente apantallado o blindado eléctricamente, en cuyo interior se confinan muchos pares de hilos.
- **Cable coaxial:** formado por un conductor rodeado por una funda metálica y aislado de ella, que actúa como pantalla electromagnética contra señales externas. Se utiliza en sistemas de banda ancha, como telefonía multicanal, televisión y transmisión de datos a elevada velocidad.
- **Fibra óptica:** funcionamiento diferente al de los cables anteriores pero el tipo de servicio es semejante y puede considerarse como un medio de transmisión por cable. Se emplea en sistemas de banda ancha y sus prestaciones son, en general, muy superiores a la de los cables metálicos.
- **Sistemas radioeléctricos:** Por radio se entiende la transmisión de señales a través del espacio, mediante ondas electromagnéticas, sin que haya conexión física entre transmisor y receptor. El medio de propagación de las ondas electromagnéticas es, en este caso, el aire o el vacío. Los sistemas de telecomunicación utilizan el espectro radioeléctrico, que comprende las bandas de frecuencias útiles para los servicios de radiocomunicación y abarca, desde frecuencias inferiores a 1 KHz hasta alrededor de 300 GHz.

Según la ITU los tipos de servicios de radiocomunicación que se asignan en las diferentes bandas se definen como sigue:

- **Servicios fijos:** son servicios de radiocomunicación entre puntos fijos específicos.
- **Servicios móviles:** servicios de radiocomunicación entre estaciones que pueden utilizarse cuando están en movimiento, paradas en lugares no especificados, o bien entre estaciones móviles y estaciones fijas.
- **Servicio móvil aeronáutico:** servicios de radiocomunicación entre estaciones terrestres y aeronaves o entre aeronaves.
- **Servicio móvil marítimo:** servicios de radiocomunicación entre estaciones costeras y barcos o entre barcos navegando.
- **Servicio móvil terrestre:** servicios de radiocomunicación entre una estación base y una estación terrestre móvil, o entre estaciones móviles terrestres.

Tipos de servicio

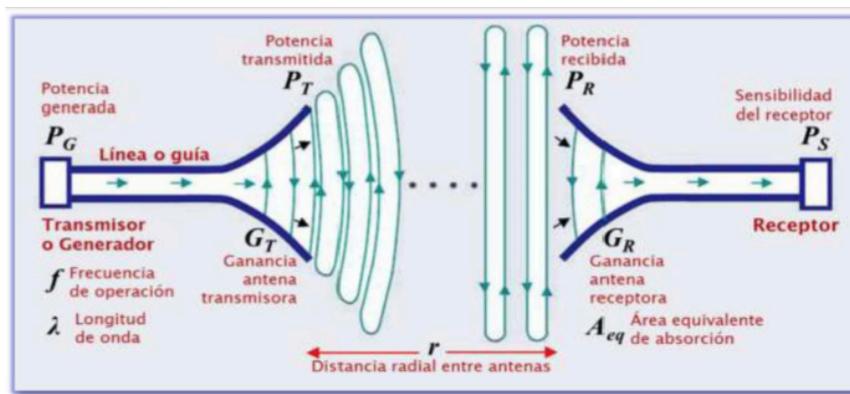
- **Radionavegación:** servicios para determinar la posición de naves mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

- **Radionavegación aérea:** servicios de radionavegación para la navegación aérea, por ejemplo: radio-altímetros, radares de indicación de obstrucciones, etc.
- **Radionavegación marítima:** servicios de radionavegación para la navegación marítima, por ejemplo: radiofaros costeros.
- **Radiolocalización:** servicios para determinación de la posición de naves con propósitos diferentes a los de navegación, por ejemplo: radares terrestres.
- **Radiodifusión:** servicios de radiocomunicación cuyo propósito es la recepción directa por el público en general. Como ejemplos ondas medias (AM), frecuencia modulada (FM) y Televisión.
- **Radioficionados:** servicios de radiocomunicación llevados a cabo por personas interesadas en las técnicas radioeléctricas, únicamente por interés personal y sin interés comercial alguno.
- **Espaciales:** servicios de radiocomunicación entre estaciones o vehículos espaciales.
- **Tierra-espacio:** servicios de radiocomunicación entre estaciones terrestres y estaciones o vehículos espaciales, por ejemplo, la comunicación entre una estación terrestre y un satélite.
- **Radioastronomía:** astronomía basada en la recepción de ondas radioeléctricas de origen cósmico.
- **Estándares de frecuencia:** transmisiones de radio de frecuencias específicas y alta precisión, cuyo propósito es la recepción con fines científicos, técnicos o de otra índole.

2.5 Parámetros de antenas y Cálculo de radioenlace terrestre

Elementos principales de un sistema de transmisión por radio:

- **Transmisor:** genera una potencia que se entrega a la antena a través de una línea.
- **Línea de Transmisión:** guía la potencia generada por la hacia la antena en forma de onda plana.
- **Antena Transmisora:** Radia la potencia que le llega al transmisor, eficiencia depende de sus características.
- **Onda en el espacio:** La onda esférica radiada se visualiza como plana cuando llega a la antena receptora que se encuentra en campo lejano.
- **Antena receptora:** Absorbe potencia del frente de onda que le llega.
- **Receptor:** Recibe a través de la línea, la potencia que absorbe la antena receptora.



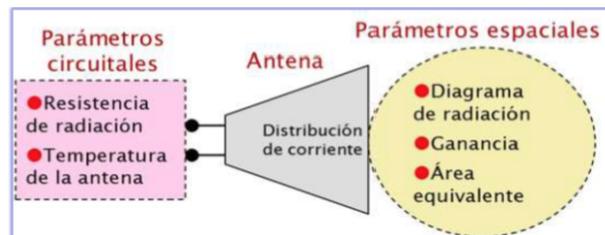
Parámetros básicos de una antena:

1. Circuitales

- **Resistencia de radiación**, la antena se presenta a la línea como una resistencia del espacio virtual acoplada a sus terminales.
- **Temperatura de la antena**, relacionada con la radiación pasiva de objetos distantes que la antena está mirando.

2. Espaciales

- **Diagrama de radiación**, cantidades tridimensionales que involucran variación del campo E o de la potencia como función de coordenadas esféricas.
- **Ganancia o directividad**, indicación de la capacidad de la antena para conducir la potencia radiada en una determinada dirección.
- **Área equivalente**, área de la cual la antena extrae la potencia del frente de onda que pasa para entregarla al receptor.



Modelo circular de la antena en transmisión:

Elementos

- **Impedancia de la antena:** Z_A al conectar el transmisor a la antena, la relación de V e I en los terminales de la antena permite modelar como una impedancia compleja (Z_A) que varía en frecuencia.
- **Resistencia de radiación:** Representa la capacidad de disipación de potencia mediana radiación al espacio y que puede ser equiparada a una resistencia óhmica disipadora de potencia, es decir, la antena se presenta a la línea como una resistencia del espacio acoplada a sus terminales.
- **Resistencia de pérdidas:** Representa la potencia disipada en la superficie de los conductores de la antena, se utilizan antenas de baja pérdida.
- **Reactancia de la antena:** Representan la inductancia de los conductores de la antena y su capacitancia respecto a tierra.

Impedancia de la antena.

$$Z_A = \frac{V}{I} = R_r + R_\Omega + jX_A$$

Z_A = impedancia de la antena, en Ω .

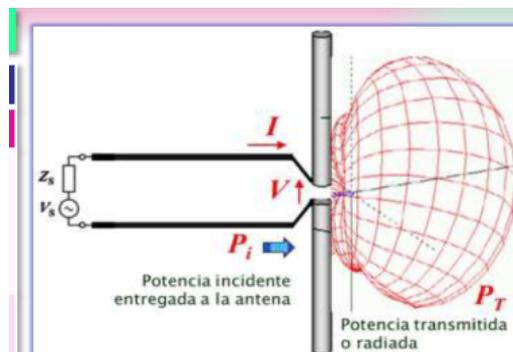
V = voltaje, en V.

I = corriente, en A.

R_r = resistencia de radiación, en Ω

R_Ω = resistencia de pérdidas, en Ω

X_A = reactancia de la antena, en Ω



Antenas según su radiación:

Una antena se diseña de modo que nadie más potencia en una dirección que en otras. La radiación se concentra en un patrón con forma geométrica reconocible que se conoce como diagrama de radiación o de campo.

Se habla de antenas omnidireccionales (ej. antena dipolo, su radiación tiene forma similar a un donut sin agujero, donde las puntas de los brazos son puntos sordos hacia donde no irradia) y directivas (antena Yagi, tiene un patrón de radiación similar al cono de luz de un proyector).

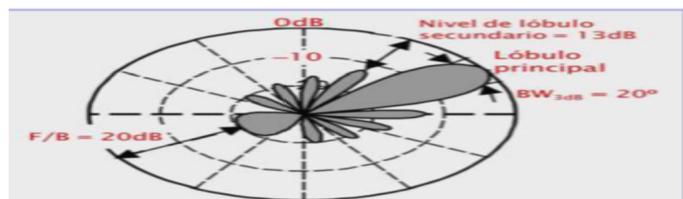
La radiación se grafica en 3D, en función de las coordenadas esféricas r, θ y ϕ a una distancia fija.

En campo lejano la densidad de potencia es proporcional al campo E, lo que hace que un diagrama de radiación de campo contenga la misma información que un diagrama de potencia.

Antenas directivas

En el diagrama se definen parámetros que describen el comportamiento de la antena y permiten especificar su funcionamiento. Son cantidades escalares necesarias para diseñar antenas directivas.

El campo E representa de forma relativa y en escala logarítmica, un diagrama relativo logarítmico tiene el máximo en 0 dB y el resto de direcciones del espacio con dB negativos. Cuando la escala es logarítmica, los diagramas de campo y de potencia son idénticos.



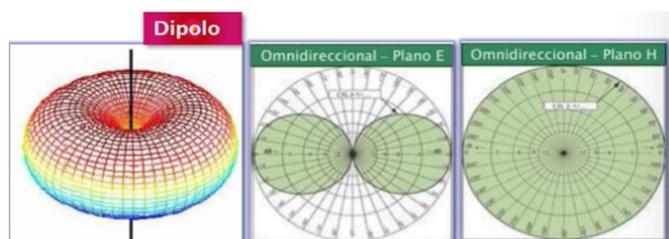
Ejemplos Diagramas de radiación

Ejemplo I: Parámetros del diagrama directivo típico

- **Lóbulo principal:** zona en la que la radiación es máxima
- **Ancho de haz:** ancho del lóbulo principal entre puntos de potencia media, $-3\text{dB}=20^\circ$
- **Nivel de lóbulo secundario:** es el mayor de los máximos secundarios medidos respecto al máximo principal: 13dB.
- **Relación frente/atras:** relación en dB de la radiación principal a la obtenida en la dirección opuesta.

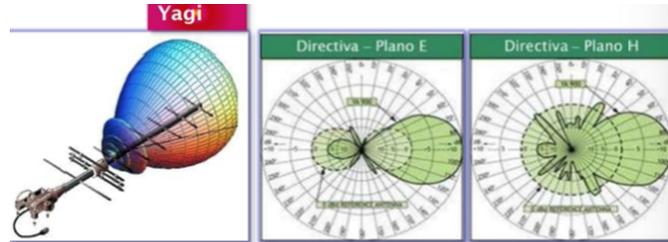
Ejemplo II: Diagrama de antena dipolo

- En el plano y-z se muestra el diagrama de campo E que es bidireccional.
- En el plano y-x perpendicular al y-z se muestra el diagrama de campo H que es omnidireccional.



Ejemplo III: Diagrama de antena Yagi

- En el plano y-z se muestra el diagrama de campo H que es omnidireccional.
- En el plano y-x perpendicular al y-z, se muestra el diagrama de campo H que es directivo.



Ganancia de una antena transmisora

Ejemplo para la antena dipolo

Ganancia de la antena dipolo

- Se calcula comparando la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación, a una distancia dada, con la que radiaría a esta misma distancia un radiador isotrópico que radiase la misma potencia.
- La radiación isotrópica se utiliza como referencia. Una antena con una ganancia superior a la isotrópica radiará más potencia en una dirección dada, en detrimento de otras, donde radiara menos.
- La antena dipolo radia 1,64 veces con mayor intensidad en la dirección de máxima radiación que un radiador isotrópico por tanto su ganancia es $10 \log 1,64 = 2,15$ dBi.

$$G_T = \frac{S}{S_i} = 4\pi r^2 \frac{S}{P_T}$$

G_T = ganancia de la antena transmisora.
 S = densidad de potencia transmisora, en W/m^2 .
 S_i = densidad de potencia isotrópica, en W/m^2 .
 P_T = potencias radiada o transmitida, en W .
 r = distancia radial desde la transmisora, en m .

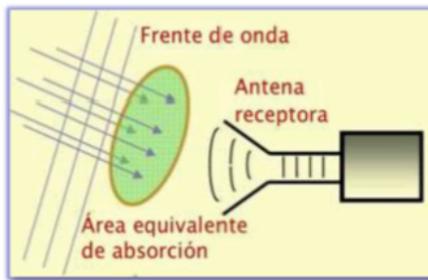
Se expresa en dBi

$$G_T(\text{dBi}) = 10 \log GT$$

Directividad es distinto que ganancia. La ganancia pone de manifiesto el hecho de que una antena real no radia toda la potencia que se le suministra, si no que parte de esta se disipa en forma de calor. La ganancia es la directiva multiplicada por la eficiencia de la antena.

2.6 Área equivalente de absorción

Es el área del cual la antena receptora absorbe potencia del frente de onda que pasa por ella, para entregarla al receptor. La antena es más eficiente para absorber potencia desde una dirección que desde otra, quiere decir que la antena receptora tiene ganancia y la potencia que absorbe depende de su tamaño física y su ganancia. Con base a la teoría electromagnética se demuestra que el área equivalente depende de la ganancia de la antena y de la longitud de onda.



Área equivalente de absorción.

$$A_{eq} = \frac{P_R}{S}$$

A_{eq} = área equivalente de absorción, en m^2 .
 P_R = potencia absorbida o recibida, en W .
 S = densidad de potencia transmisora, en W/m^2 .

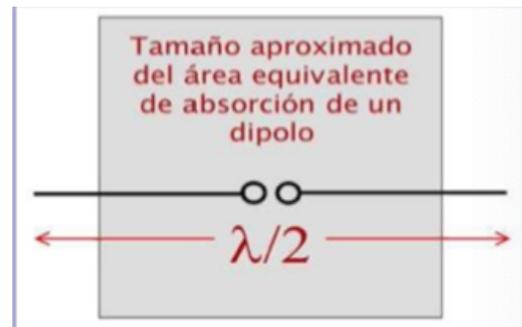
$$A_{eq} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$

A_{eq} = área equivalente de absorción, en m^2 .
 λ = longitud de onda de la onda, en m .
 G_R = ganancia de la antena receptora.

La ganancia es la misma si la antena se utiliza para transmitir o recibir.

EJ: áreas de equivalencia

- El área equivalente de una antena dipolo es proporcional al área de un cuadrado cuyo lado es casi igual a la longitud de la antena. Para el caso de la antena dipolo, los lados del cuadrado son casi iguales a media longitud de onda.
- El área equivalente de las antenas de las antenas parabólicas usadas en microondas es proporcional al diámetro del plano reflector, el cual enfoca la radiación hacia la apertura.



2.7 Pérdida en espacio libre

La utilidad del concepto de área equivalente se demuestra al usarla para desarrollar la ecuación de transmisión de Friis, esta ecuación establece la pérdida en el espacio libre, es decir, la razón entre la potencia recibida y la potencia transmitida. Se obtiene al combinar las ecuaciones de la ganancia de la antena transmisora y del área equivalente de absorción de la antena receptora.

Al alejarse de la transmisora, la onda se esparce sobre una mayor región en el espacio libre, se atenúa.

Ecuación de transmisión de Friis.

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T G_R \lambda^2}{16\pi^2 r^2}$$

P_R = potencia recibida, en W .
 P_T = potencia transmitida, en W .
 G_T = ganancia de la antena transmisora.
 G_R = ganancia de la antena receptora.
 λ = longitud de onda de la onda, en m .
 r = distancia radial entre antenas, en m .

Es común expresar la ecuación de transmisión de Friis en términos de pérdidas en el espacio libre en dB con el signo cambiado. Por supuesto, la potencia recibida es más débil que la transmitida, por lo que la pérdida en dB es negativa. Las antenas crean un efecto de amplificación que compensan parte de las pérdidas.

Pérdida con el signo cambiado.

$$L_{fs}(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_T(\text{W})}{P_R(\text{W})}$$

L_{fs} = pérdida en el espacio libre, en dB.
 r = distancia radial entre antenas, en km.
 f = frecuencia de operación, en GHz.
 G_T = ganancia de la transmisora, en dBi.
 G_R = ganancia de la receptora, en dBi..

G_R = ganancia de la receptora

$$L_{fs}(\text{dB}) = 92,44 + 20 \log r(\text{km}) + 20 \log f(\text{GHz}) - G_T(\text{dBi}) - G_R(\text{dBi})$$

2.8 Cálculos del presupuesto de potencia

Proceso mediante el cual se evalúa si el enlace es viable, y para ello se deben calcular las pérdidas en el trayecto y conocer las características del equipamiento y de las antenas.

- **Características del equipamiento:** Se tiene la potencia de transmisión específica del fabricante del transmisor, más de 30 mW. Y se tiene la sensibilidad del receptor, la cual es específica del receptor y es el nivel mínimo de potencia que debe recibir para una determinada calidad, rangos desde -75 a -95 dBm.
- **Características de las antenas:** Se tiene la ganancia de la antena, los cuales corresponden a dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física, tienen las mismas características al transmitir y recibir. Las omnidireccionales tienen ganancia 2 a 12 dBi, las sectoriales 12-15 dBi y parabólicas 19-24 dBi.
- **Pérdida en el trayecto:** Existe la pérdida en espacio libre, en donde la onda pierde potencia por que se esparce en el espacio, la pérdida aumenta con la distancia y la frecuencia pero disminuye con la ganancia de las antenas y se calcula con la fórmula de la transmisión de Friis. Y se tiene la pérdida por el medio ambiente, la onda pierde potencia por absorción, cuando pasa a través de árboles, paredes, ventanas, edificios pero también por desvanecimiento debido a interferencias por multitrayecto. Para contrarrestar esta pérdida se dispone de un margen de tolerancia de 20 dB.
- **Pérdida en la línea o guía:** Existe la pérdida en la línea, en donde parte de la potencia se pierde en la línea de transmisión o en la guía de ondas que conecta al transmisor con la antena, la pérdida para un coaxial corto con conectores es de 2 a 3 dB.

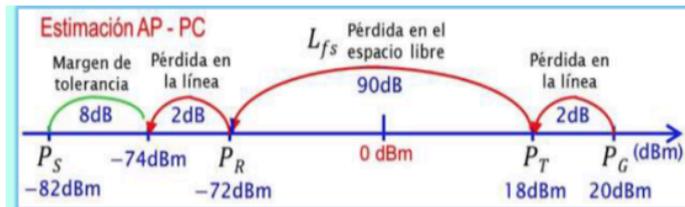
EJEMPLOS DE CALCULO DEL PRESUPUESTO DE POTENCIA.

Estimación viabilidad de enlace

Estime la viabilidad de un enlace de 5 km entre un punto de acceso WiFi (AP) y un PC de cliente.

Los datos en cada sitio son los siguientes:

- Sitio AP, potencia generada 100mW/20dBm, sensibilidad del receptor -89dBm, ganancia de la antena omnidireccional 10dBi, pérdida de cable 2dB.
- Sitio PC, potencia generada 30mW/15dBm, sensibilidad del receptor -82dBm, ganancia de la antena omnidireccional 14dBi, pérdida de cable 2dB.



- **Estimación AP - PC.** Hay un margen de 8 dB que permite trabajar con buen tiempo, pero probablemente no sea suficiente para enfrentar condiciones climáticas extremas.



- **Estimación PC - AP.** Hay un margen de 10 dB. El enlace funciona, pero si se utiliza un plato de 24 dBi en el lado del PC, se tendría una ganancia adicional de 10 dBi en ambas direcciones. Otra opción más cara es utilizar equipos de radio de mayor potencia en ambos extremos del enlace.

3. Codificación y Modulación Digital

Técnicas de codificación:

- Datos digitales, señales digitales:

Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión, en donde cada pulso es un elemento de la señal. Los datos binarios codificados en elementos de señal.

Esquemas de codificación:

- **NRZ-L:** Se tiene dos tensiones diferentes para los bits 0 y 1. La tensión es constante durante el intervalo de bit (no hay transición, no retorna a 0). Tensión constante positiva para el 1, ya que hay ausencia de tensión para 0, la más habitual tensión positiva para un valor y tensión negativa para otro valor.

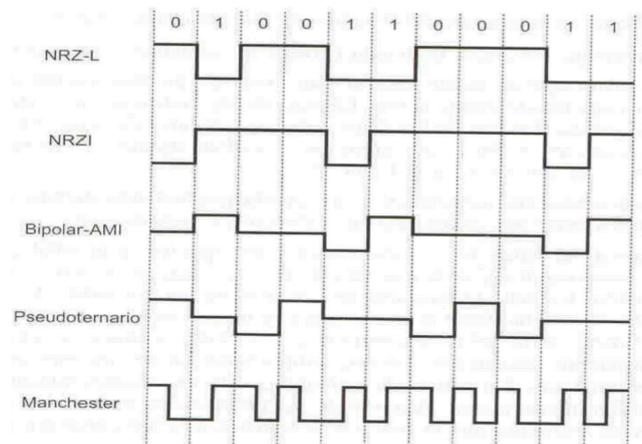
- **NRZI:** Sin retorno a cero invertido en 1. El dato se codifica por la presencia o ausencia de una transición al principio del tiempo del bit. Transición significa un 1, sin transición significa un 0.

- **Binario Multinivel:** Usa más de dos niveles, Bipolar-AMI: 0 representa la ausencia de la señal, 1 representado por pulsos de polaridad alternante. No hay pérdidas de sincronismo para una larga cadena de 1s.

- **Pseudoternario:** 1 representador por ausencia de señal, 0 representados por pulsos de polaridad alternante.

- **Manchester:** Transición en mitad del intervalo de duración de bit, la transición sirve como reloj y para transmitir el dato. Bajo a Alto representa un 1, Alto a Bajo representa un 0.

- **Manchester Diferencial:** Transición en mitad del intervalo usado solo para sincronizar, la transición al principio del intervalo del bit representa 0 y la ausencia de transición al principio del intervalo representa un 1.



- Datos digitales, señales analógicas (modem)

El Sistema de Telefonía pública usa modem (modulador-demodulador) y de 300Hz a 3400Hz. Desplazamiento por Amplitud (ASK), Desplazamiento de frecuencia (FSK), Desplazamiento de Fase (PSK).

Desplazamiento por Amplitud ASK): Valores se representan por diferentes amplitudes de portadora, se usa presencia y ausencia de portadora, es susceptible de repentinos cambios de ganancia, usa fibra óptica y es poco eficiente.

Desplazamiento de Frecuencia (FSK): Valores representados por diferentes frecuencias, menos sensible a errores que ASK, transmisión por radio en HF(3-30MHz), incluso en LAN en frecuencias superiores con cable coaxial.

Desplazamiento de Fase(PSK): La fase de la portadora se desplaza para representar los datos. PSK Diferencial el cambio de fase se refiere a la transmisión del bit anterior en lugar de una referencia absoluta.

PSK en Cuadratura(QPSK): Uso más eficaz del espectro si por cada elemento de señalización se presenta más de un bit, con saltos de fase de 90°, cada elemento representa dos bit, un módem estándar de 9600 bps usa 12 ángulos, cuatro de los cuales tienen dos amplitudes.

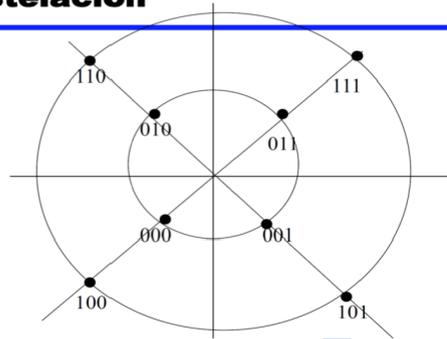
Codificación Amplitud - Fase

⌘ La información digital está contenida tanto en la fase como en la amplitud

Amp	1	1	1	1	2	2	2	2
Fase	-135	-45	+135	+45	-135	-45	+135	+45
MSB	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1
LSB	0	1	0	1	0	1	0	1

⌘ Puede haber 16 cuaternas con 4 bits

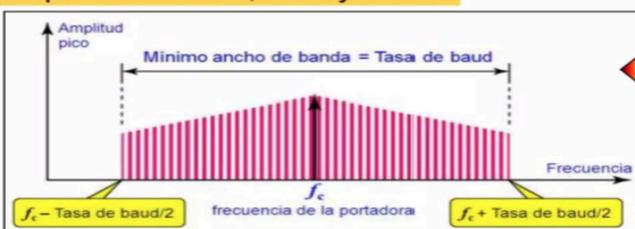
Constelación



Modulación en Amplitud en Cuadratura(QAM): Se pueden enviar dos señales diferentes simultáneamente sobre una misma portadora, se utilizan dos réplicas de la portadora, una de ellas desfasada 90 respecto a la otra en cuadratura. Cada una de las portadoras se modula usando ASK y las dos señales independientes se transmiten por el mismo medio.

Ancho de banda de modulaciones digitales

Espectro de ASK, PSK y QAM



La modulación **digital** crea un ancho de banda proporcional a la tasa de señal en baud, **centrado** alrededor de la frecuencia portadora.

Significa que si hay disponible un **canal** paso banda, se puede elegir la portadora de manera que la señal modulada ocupe el ancho de banda.

Espectro de FSK



El ancho de banda necesario para una transmisión QAM es el mismo que para ASK y PSK.

Se puede pensar en FSK como en dos señales ASK, cada una con su frecuencia portadora.

Ancho de Banda para ASK y PSK, está relacionado con la velocidad de transmisión R y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$B_T = (1 + r) * R$$

Para FSK depende del salto de frecuencia de las frecuencias con la portadora como de la velocidad binaria R y se calcula mediante la siguiente fórmula:

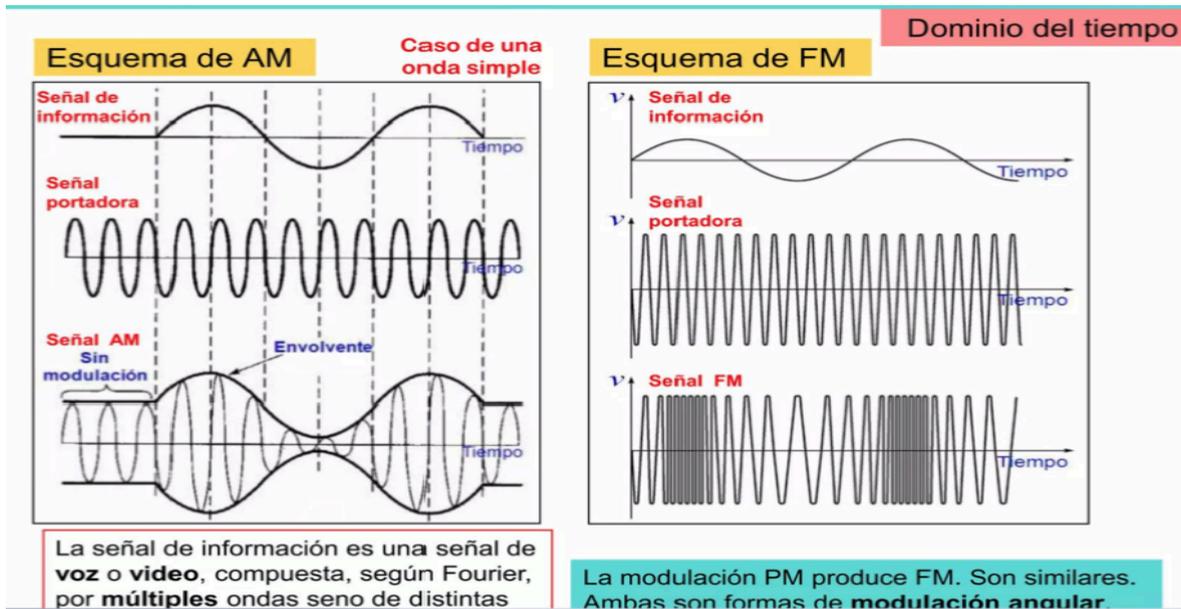
$$B_T = 2\Delta F + (1 + r) * R$$

- **Datos analogicos, señales digitales**

Digitalización: conversión de datos analógicos en datos digitales. Los datos digitales se pueden transmitir utilizando NRZ-L y se pueden convertir en señales analógicas (ASK, FSK, PSK). La conversión analógica a digital y viceversa se realiza usando un codec (PCM, DM(Modulación Delta)).

Modulación por codificación de pulsos: un sistema de 4 bits proporciona 16 niveles. La cuantificación tiene un error de cuantificación o ruido y las aproximaciones suponen que es imposible recuperar exactamente la señal original. Calidad comparable a la transmisión analógica. 8000 muestras por segundo de 8 bits cada una suponen 64 kbps. La relación señal/ruido PCM se mejora aprox 6 dB cada vez que se aumenta un bit.
 $SNR(dB) = 6.02n + 1.76$.

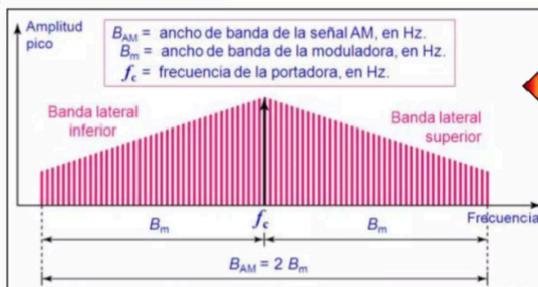
- **Datos analogicos, señales analogicas**



Ancho de banda de AM

Espectro de AM

Dominio de la frecuencia



La modulación **AM** crea un ancho de banda igual al **doblo** que el ancho de banda de la señal moduladora, **centrado** alrededor de la frecuencia portadora.

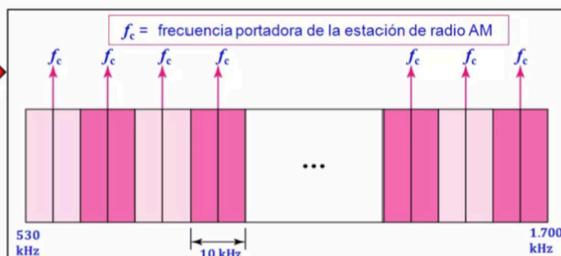
Ambas **bandas laterales** llevan a misma información. Por esta razón, en algunas aplicaciones se descarta una banda, reduciendo el ancho de banda a la mitad.

Radiodifusión comercial

Una banda entre 530 y 1.700 kHz se asigna a la radio AM.

Cada estación necesita 10 kHz de B_{AM} .

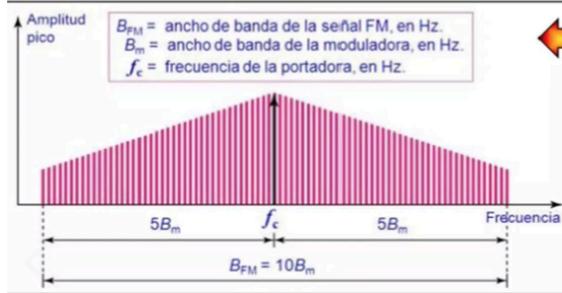
Cada radio AM utiliza una portadora diferente.



Ancho de banda de FM

Espectro de FM

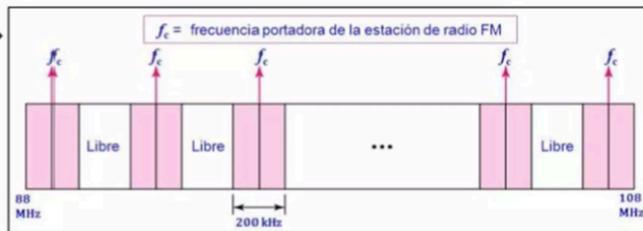
Dominio de la frecuencia



La modulación **FM** crea un ancho de banda difícil de determinar, pero se puede demostrar empíricamente que es varias veces la de la moduladora, dependiendo de los parámetros de modulación. **10** es un valor frecuente.

Radiodifusión comercial

- FM tiene una banda entre **88 y 108 MHz**.
- A cada estación se asignan **200 kHz** de B_{FM} .
- Cada radio FM utiliza una portadora diferente.



Bandas de frecuencias

