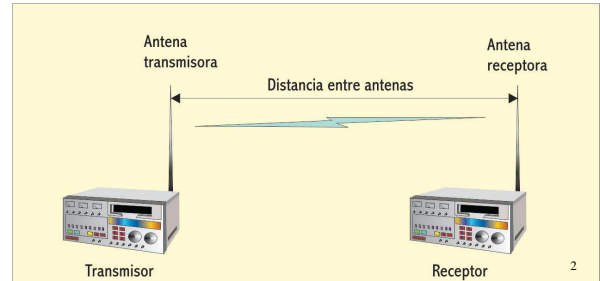


## Comunicaciones Clase 8 Medios inalámbricos

1

### COMUNICACIONES POR RADIO

Se intercambia información mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas que utilizan el aire o el vacío como medio.



2

### Espectro de frecuencias de radio

Nombre	Abreviatura ITU	Intervalo de frecuencias	Longitud de Onda	Servicios
Baja frecuencia Low Frequency	LF	30 - 30 kHz	10 - 1 km	Móvil marítimo - Radionavegación Radio faros
Media frecuencia Medium Frequency	MF	300 - 3000 kHz	1 km - 100 m	Radiodifusión
Alta frecuencia High Frequency	HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m	Radioaficionados Comunicaciones Onda corta
Muy alta frecuencia Very high Frequency	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m	TV - Radio FM Radio llamadas Radioaficionados
Ultra alta frecuencia Ultra high Frequency	UHF	300 - 3000 MHz	1 m - 100 mm	Microondas - Comu- nicaciones móviles TV
Súper alta frecuencia Super high Frequency	SHF	3 - 30 GHz	100 - 10 mm	Microondas Satélites
Extra alta frecuencia Extremely high Frequency	EHF	30 - 300 GHz	10 - 1 mm	Satélites - Radionavegación Radionavegación Satelital

3

### CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

Cuando se aplica una señal a una antena:

- aparece una tensión en bornes que genera un campo eléctrico
- circula una corriente eléctrica que produce un campo magnético

Los campos eléctricos y magnéticos resultantes se modifican siguiendo las variaciones de la señal, generando una onda electromagnética que se propaga en el aire y en el vacío a una velocidad de  $300.000 \text{ km/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

4

### PROPAGACION

Son fenómenos por el cual las ondas electromagnéticas enlazan puntos geográficos distantes a través de medios no conductores.

Las ondas de radio se propagan según su frecuencia de emisión de acuerdo a los siguientes modos:

- Propagación por onda terrestre
- Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica
- Propagación por onda directa

5

### PROPAGACION POR ONDA TERRESTRE

Es una combinación de la propagación por **onda de superficie** y por **onda espacial**.

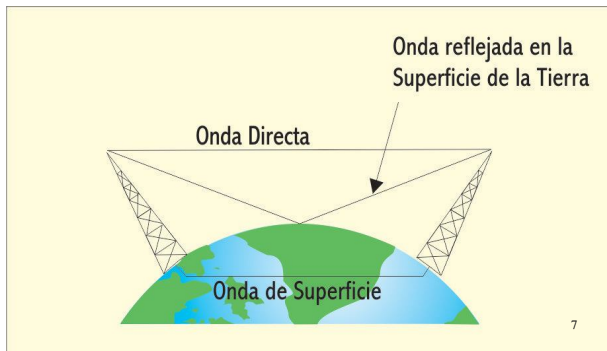
La **onda espacial** tiene dos componentes:

- **onda directa** (o transmisión por línea de vista)
- **onda reflejada en la superficie de la Tierra**.

Ambas parten en forma simultánea de la antena transmisora.

6

El rayo que se refleja en la tierra llega a la antena receptora con retraso y según sea la diferencia de distancias, su fase se puede sumar o restar al rayo directo (interferencia de ondas).



### Antenas para onda terrestre

Esta propagación se usa en bajas frecuencias hasta 2 MHz. Usada para la banda de onda media (radios de AM entre 550 y 1650 kHz) que pueden alcanzar unos 300 km.

Las antenas son del tipo monopolo vertical de cuarto de onda ( $\lambda/4$ ) alimentado por la base.

Para calcular la longitud de onda:

$$\lambda \text{ (m)} = 300/f \text{ (MHz)}$$

En 2 MHz son 37,5 m

8

### PROPAGACION POR ONDA REFLEJADA

La ionósfera es la zona alta de la atmósfera causada por las ondas electromagnéticas provenientes del Sol.

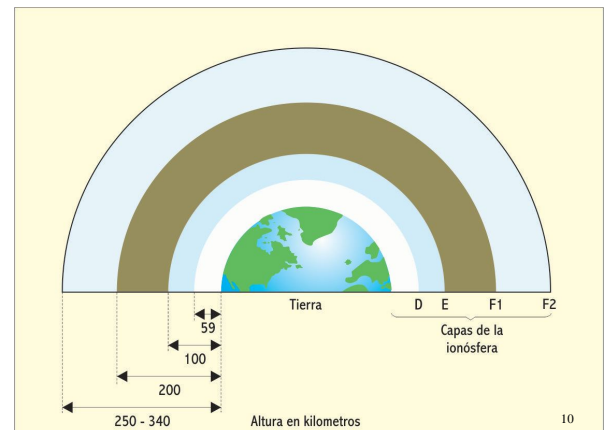
Cuando una onda ultravioleta choca contra los átomos de los gases existentes en la atmósfera, algunos electrones saltan a una órbita exterior absorbiendo energía.

Si se desprende el electrón de su átomo, el núcleo queda cargado (**ion positivo**).

La densidad de iones depende de la radiación solar y de la densidad de la atmósfera.

Las capas ionizadas de la atmósfera (**ionósfera**) forman un casquete esférico alrededor de la superficie terrestre que reflejan las señales de radio.

9



Las antenas emiten radiación electromagnética que se dirige a la ionosfera con un **ángulo incidente** ( $\alpha$ ).

Cada antena tiene un diagrama de radiación con direcciones de mayor intensidad.

La propagación depende de la frecuencia, el ángulo de emisión, y la altura y densidad de la ionosfera.

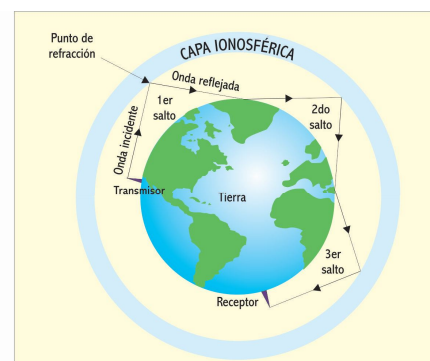
Durante el recorrido por el interior de la ionósfera hay refracción aumentando el ángulo de emisión  $\alpha$  según la ley de Snell.

La propagación ionosférica varía a lo largo del día y del año.

11

La propagación ionosférica depende de la frecuencia.

Hay una frecuencia crítica superada la cual el haz no rebota.



### Antenas para onda reflejada

Esta propagación se usa en frecuencias de 2 a 20 MHz.  
Usada para radios de onda corta en varias bandas que pueden dar la vuelta al mundo.

Las antenas son del tipo dipolo horizontal de media onda ( $\lambda/2$ ) alimentado por el centro.

Para calcular la longitud de onda:

$$\lambda \text{ (m)} = 300/f \text{ (MHz)}$$

Para 20 MHz son 7,5 m

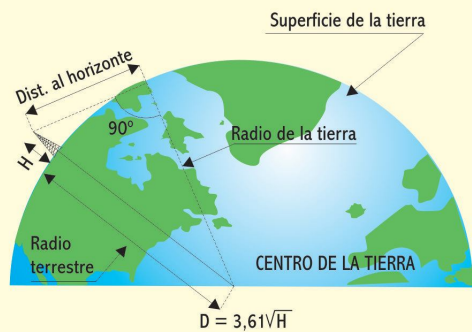
13

### PROPAGACION POR ONDA DIRECTA

La onda viaja por la atmósfera sin tocar el terreno.

- **Distancia al horizonte:** Es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta hasta rozar tangencialmente la superficie de la Tierra.
- **Distancia de alcance visual:** Es la máxima distancia a la cual pueden instalarse dos antenas, de alturas determinadas sobre la superficie de la Tierra, si se desea que se establezca entre ambas una comunicación en línea recta.

14



(Por efecto de la difracción atmosférica el factor pasa a 4,14)

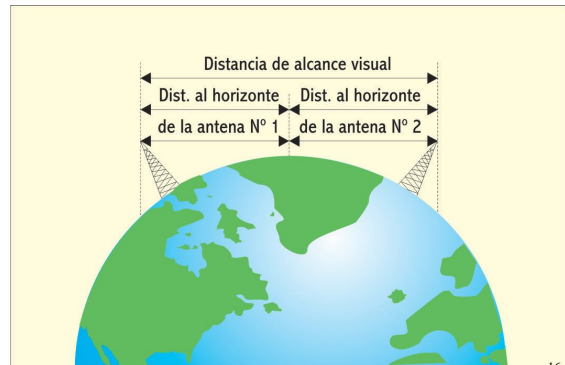
Donde:

D: Distancia al horizonte en kilómetros

H: Altura de la antena en metros

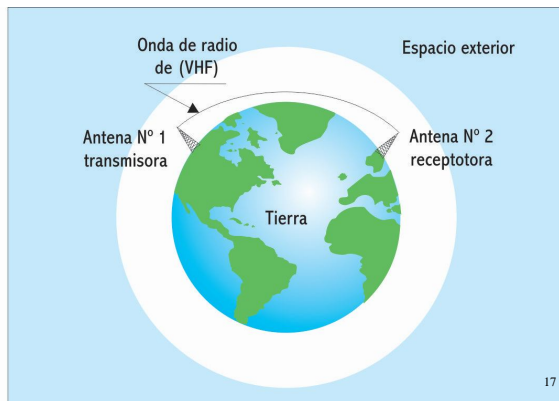
15

La máxima distancia del enlace es la suma de las distancias al horizonte de cada estación.



16

Se pueden producir conductos transitorios que permiten mayor alcance.



17

### Antenas para onda directa

Esta propagación se usa en frecuencias de 20 a 800 MHz.  
El alcance es de unos 60 km.

Se usa para:

- Radio de frecuencia modulada (FM): de 88 a 108 MHz
- TV analógica (54 a 216 MHz)
- TV digital (470 a 862 MHz)

Las antenas son del tipo monopolo vertical o dipolo horizontal.

18

## MICROONDAS

Trabajan en la banda de UHF, SHF y EHF (300 MHz a 50 GHz). Usan un haz radioeléctrico como si fuera un rayo de luz para establecer un enlace punto a punto con visión directa entre dos estaciones.

Si no están en la misma visual deben utilizar estaciones repetidoras intermedias. Se pueden armar circuitos de varios miles de kilómetros.

La curvatura de la Tierra o la topografía del lugar limita el alcance del haz directo. La Tierra difracta las señales y pueden alcanzar distancias más allá del horizonte.

La capacidad es elevada y multiplexando el ancho de banda se pueden transmitir señales a velocidades muy elevadas.

19

Como el espectro radioeléctrico es un bien escaso, el uso de las frecuencia está regulado por las administraciones nacionales siguiendo las normas internacionales del UIT-R.

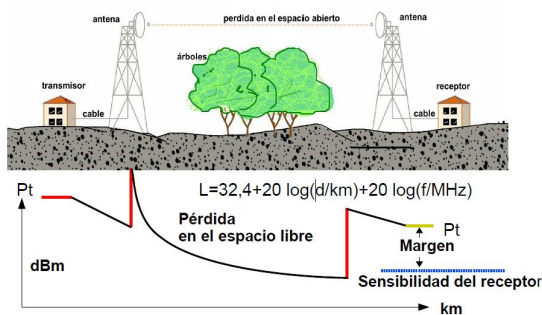
Las frecuencias en nuestro país las asigna el ENACOM en función de la distancia del enlace.

<u>Distancia de enlace</u>	<u>Banda de frecuencias</u>
menos de 5 km	23 GHz
entre 5 y 7 km	18 GHz
entre 7 y 12 km	15 GHz
más de 12 km	7/8 GHz

20

## Propagación

La atenuación depende de la frecuencia y la distancia.



21

## Ecuación del enlace

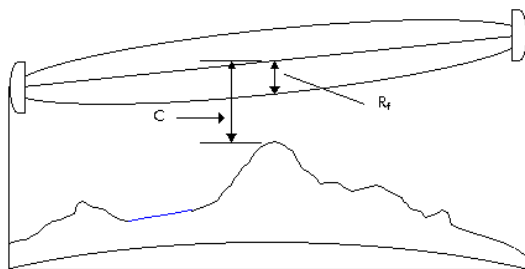
Potencia del Tx [dBm]  
 – Pérdidas del cable Tx [dB]  
 + Ganancia antena Tx [dB]  
 – Pérdidas en espacio libre [dB]  
 + Ganancia antena Rx [dB]  
 – Pérdidas del cable Rx [dB]  
 - Factor de diseño [dB]  
 = Señal de Rx [dBm]

El proyecto incluye:

- calcular la altura de las antenas para evitar obstáculos
- calcular el diámetro de las antenas para compensar las pérdidas

22

En el cálculo de la altura de las antenas se tiene en cuenta los obstáculos y el despejamiento necesario para permitir las variaciones del haz cuando cambia el índice de refracción de la atmósfera.



## REPETIDORAS

- Repetidoras pasivas: dos antenas parabólicas conectadas entre sí por un trozo de guía de onda. No se amplifica la señal recibida, no necesita alimentación. Reflectores pasivos: son de mayor rendimiento y están constituidas por una lamina de aluminio de varios  $\text{m}^2$ .
- Repetidoras activas: están constituidas por dos antenas y equipos que amplifican la señal recibida antes de retransmitirla a la estación siguiente.

24

## MODULACION

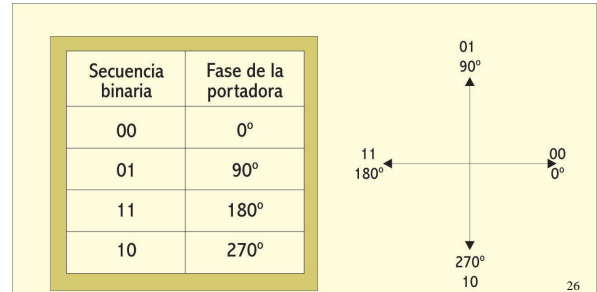
Antes había microondas analógicas, pero ahora son digitales.  
Los métodos de modulación son los siguientes:

- 2 PSK, 4 PSK y 8 PSK
- 16 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM y 512 QAM.

25

**PSK (Phase Shift Keying)** es modulación por desplazamiento de fase.

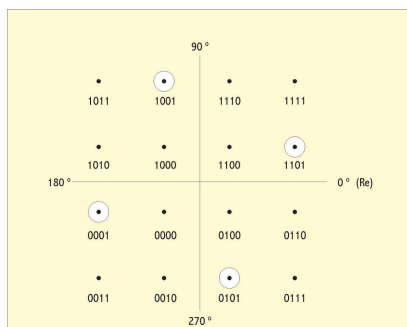
Ejemplo: 4 PSK con cuatro opciones permite transmitir dos bits con cada variación de la fase de la portadora.



26

**QAM** es modulación en cuadratura, combina el desplazamiento de fase y amplitud.

Ejemplo: sistema 16QAM con 16 opciones, cada una transmite cuatro bits con una sola transición.



27

Sistema de modulación	Ancho de banda necesario (MHz)			
	34 Mbps	68 Mbps 34 Mbps x2	100 Mbps 34 Mbps x3	140 Mbps 34 Mbps x 4
2 PSK	34,4	68,8	103,2	139,3
4 PSK	17,2	34,4	51,6	69,7
8 PSK	11,5	22,9	34,4	46,4
16 QAM	8,6	17,2	25,8	34,8
64 QAM	5,7	11,5	17,2	23,2

28

Método de modulación	Número de bits por baudio	Ancho de banda necesario
2 PSK	1	140 MHz
4 PSK	2	70 MHz
8 PSK	3	47 MHz
16 QAM	4	35 MHz
32 QAM	5	28 MHz
64 QAM	6	23 MHz
128 QAM	7	20 MHz
256 QAM	8	14 MHz
512 QAM	9	10 MHz

29

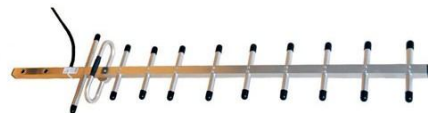
## ANTENAS DE MICROONDAS

**Omnidireccionales:** irradian energía en todos los sentidos con igual intensidad

Se emplean en estaciones centrales que deben transmitir en distintas direcciones.

**Direccionales:** la energía es concentrada en un delgado haz. Permiten transmitir con muy baja potencia.

Las antenas Yagui tienen varios dipolos en paralelo para aumentar la ganancia y el ancho de banda.



30

### Antenas parabólicas

Proporcionan una ganancia y una directividad muy alta. Mayores dimensiones aumentan la ganancia y el costo.

Están compuestas por:

- el alimentador o elemento activo, que recibe la señal del transmisor por la guía de onda
- el reflector tiene la forma de un plato con curvatura de segundo grado (reflector parabólico).

La ganancia de las antenas parabólicas depende de la relación entre su diámetro y la longitud de onda:

$$G_a [\text{dB}] = 10 \log ( 0,6 \pi^2 D^2 / \lambda^2 )$$

31



32

### MASTILES Y TORRES

Las antenas son los elementos irradiantes y deben estar a una determinada altura, soportadas por estructuras.

Hay dos tipos de estructuras:

- mástiles con riendas
- torres autosoportadas.

Las grandes parábolas deben instalarse en torres muy resistentes, porque además del peso de la parábola deben soportar la carga debida a la presión del viento.

33

### CONFIGURACIONES

Hay instalaciones simples, sin redundancia de equipos.

Se instalan equipos de reserva para aumentar la confiabilidad.

Sistemas **1 + 1**: un equipo operando y otro en reserva.

En caso de falla del equipo principal, el secundario toma la transmisión (hot stand by).

Para reducir los cortes por problemas de propagación se usa:

- Diversidad de frecuencia (dos enlaces en paralelo en frecuencias separadas)
- Diversidad de espacio (dos antenas en la misma estructura separadas en altura)

34

### GUIAS DE ONDA

Conduce señales de longitudes de onda micrométrica en distancias cortas.

Conecta la antena y los equipos transmisores.

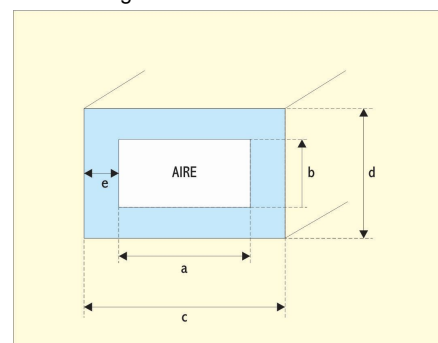
Las frecuencias del orden de varios GHz tienen altas pérdidas en cables de cobre ya que:

- los cables irradian energía
- la corriente tiende a circular solamente por la superficie (efecto pelicular).

35

### Características

Son tubos huecos, de una longitud de 5 a 15 m de largo y de secciones tales que permitan la propagación de las ondas electromagnéticas en su interior.



36

### Propagación

La transmisión de la energía no es por las paredes de la guía sino por su dieléctrico, normalmente aire.

La energía se propaga por ondas electromagnéticas que se van reflejando en las paredes de la guía en zigzag.

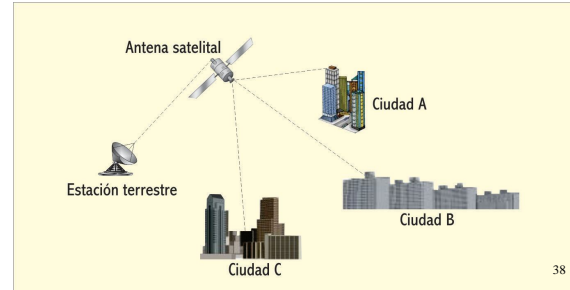
Las leyes de propagación son las de los campos eléctrico y magnético (Leyes de Maxwell).

Para evitar que la humedad se acumule en el interior, las guías son presurizadas con aire seco.

37

### SATELITES

Son estaciones que orbitan alrededor de la tierra a gran altura y son usados como repetidora para llegar a un punto distante sin alcance visual.



38

### Orbitas

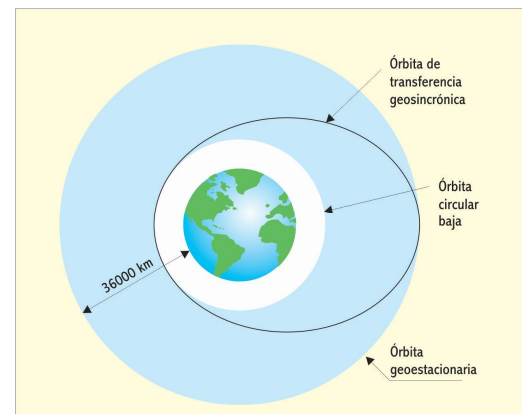
El satélite está en órbita cuando la velocidad de rotación genera una fuerza centrífuga igual a la fuerza de atracción hacia la Tierra causada por la gravedad.

Los satélites orbitan alrededor de la Tierra en órbitas ecuatoriales y polares a diferentes alturas.

Hay satélites geoestacionarios, de órbita media y de órbita baja.

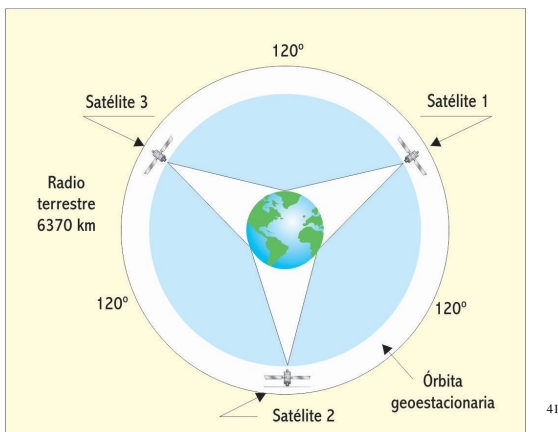
Cuando la órbita es ecuatorial y se cumple en 24 hs en el sentido de rotación de la Tierra, el satélite aparece como suspendido en el espacio (órbita geoestacionaria).

39



40

Con tres satélites geoestacionarios se cubre la Tierra.



41

### Satélites geoestacionarios

- Orbitan a 36.000 km de altura
- Usan antenas omnidireccionales.
- Aptos para las comunicaciones personales móviles.
- La cantidad de satélites que pueden operar en la órbita geoestacionaria está limitada por las interferencias de los satélites ubicados a ambos lados.
- Los lanzamientos tienen costos muy elevados.
- Retardo muy alto (unos 300 ms) lo que genera ecos indeseados en telefonía y obliga a usar canceladores de eco.
- Según su ubicación potencia y directividad de las antenas la cobertura llega a un área determinada de la Tierra, denominada "huella".

42

### Satélites de órbita media

- Orbitan a más de 2.000 km de altura y necesitan seis a ocho horas para dar la vuelta, por lo que cada punto permanece visible entre una y dos horas.
- Para un servicio continuo de cobertura mundial son necesarios diez satélites en dos planos a 45° respecto del Ecuador.
- Lanzamientos de costos menores que los satélites geoestacionarios, pero mayores a los de orbitas bajas.
- El retardo está en el orden de los 70 ms.

43

### Satélites de órbita baja (LEOS)

- Orbitan a unos 800 km de altura y necesitan 90 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra.  
Para una estación terrestre permanece solo unos pocos minutos visible, y es necesario contar con muchos satélites .
- Requieren bajas potencias de transmisión y antenas omnidireccionales, por lo que son aptos para móviles.
- Por la baja altura hay poco retardo (10 ms) lo que favorece las comunicaciones de datos.

44

### Frecuencias usadas en satélites

Son frecuencias de microondas que comparten el espectro con las estaciones terrestres en bandas asignadas.

<u>Banda</u>	<u>Frecuencias (GHz)</u>
C	3,4 a 8,4
Ku	12,4 a 18
K	18 a 26,5
Ka	26,5 a 40

45

### Organización

Los servicios satelitales están operados por varios consorcios internacionales:

- Intelsat (desde 1965)
- Intersputnik (desde 1971) del bloque socialista
- Arabsat (desde 1976)
- Inmarsat (desde 1979) para ayuda a la navegación
- Eutelsat (desde 1977)
- Asiasat (desde 1998)

Esos consorcios venden paquetes que son comercializados por empresas de comunicaciones como complemento a las redes terrestres.

46

### COMPONENTES DEL SISTEMA SATELITAL

#### Satélite

- Transmisores y receptores de comunicaciones
- Paneles solares y baterías
- Motores y combustible para estabilizar la posición (la vida útil del satélite depende de la cantidad de combustible)

#### Estación terrena

- Antena parabólica y transmisor para cada usuario.

#### Telepuerto

- Controla la posición del satélite en su órbita y envía comandos al motor de estabilización
- Recibe las comunicaciones de los usuarios y las distribuye por redes terrestres.

47

### SERVICIOS SATELITALES

**Servicios fijos:** para enlaces punto a punto, o punto multipunto

**Servicios de difusión:** para distribución de emisoras de radio o TV a usuarios finales o a empresas de cable

**Servicios móviles:** un móvil accede por satélite a la red fija (red Iridium)

48



### FORMAS DE ACCESO

Hay limitaciones por la capacidad y cantidad de satélites.

Cada satélite tiene canales (trasponders) de 36 MHz que deben distribuirse entre los servicios de los usuarios.

Single Channel Per Carrier (SCPC): una sola señal de voz, radio, datos o video modula una portadora satelital.

Multi Channel Per Carrier (MCPC): varias señales de voz y datos son multiplexados por división de frecuencia en la estación terrena, para modular una portadora satelital.

Companded Frequency Division Multiplex (CFDM): los canales de voz son comprimidos en amplitud y modulados, lo que permite ampliar la capacidad hasta casi el doble.

Time Division Multiplexer Asynchronous (TDMA): cada portadora satelital es compartida en el tiempo por varias estaciones terrenas.

49

### LASER

Hay equipos ópticos e inalámbricos con emisores de un haz de luz coherente que permite transmitir señales.

Son enlaces ópticos sin cables punto a punto dentro de ciudades.

Está limitado por la distancia máxima de propagación del haz de luz en la atmósfera (pocos kilómetros).

Permite gran capacidad de transmisión.

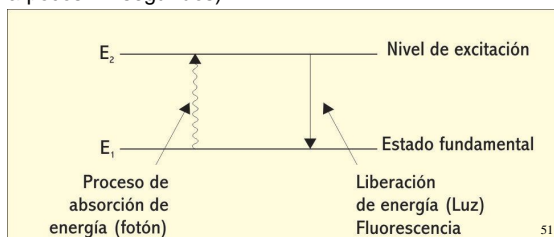
50

### Principio de funcionamiento del láser

Un átomo en reposo tiene una energía  $E_1$ .

Recibe una cantidad de energía  $\Delta E$  por el bombardeo con un fotón y salta a un nivel  $E_2$  (nivel de excitación).

En ese nivel es inestable y regresa al estado inicial  $E_1$ , emitiendo un quantum de energía de luz (fluorescencia que dura pocos milisegundos).



51

Si un átomo está en el nivel de excitación  $E_2$  y otro fotón lo bombardea, ocurre un proceso denominado emisión estimulada (hay emisión de un fotón sin esperar el retorno al nivel  $E_1$  de reposo).

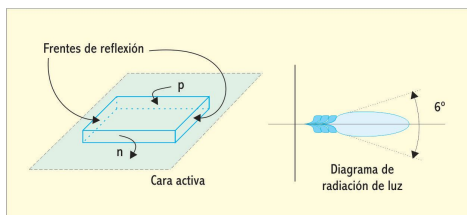
Características:

Frecuencia (MHz)	Longitud de onda (cm)	Dimensiones exteriores (cm)	Atenuación (dB/m)
26500 - 40000	0,9	0,71 x 0,355	0,51 - 0,58
8200 - 12400	3,2	2,28 x 1,03	0,10 - 0,15
2600 - 3950	10,0	7,22 x 3,49	0,02 - 0,05
1120 - 1700	25,0	16,50 x 8,25	0,01 - 0,07

52

### Tipos de láser

- Láser gaseoso: mezclas de helio ( $\text{He}/2$ ) y neón ( $\text{Ne}/10$ ) en tubos de vidrio y excitados por descargas eléctricas.
- Láser líquido: fluidos orgánicos estimulados por luz de alta potencia.
- Láser sólido: cristales como el rubí excitado por lámparas de tungsteno ( $\text{W}/74$ ).
- Láser semiconductor: junturas p-n excitadas por corriente eléctrica.



### Equipos de comunicaciones láser

- Los enlaces de comunicación óptica en el espacio libre (FSO) son fáciles de instalar y usan frecuencias no reguladas, en longitudes de onda entre los 780 y 1550 nm.

- Los equipos de uso comercial alcanzan 5 km, los militares superan los 10 km.

- Son inmunes a las interferencias radioeléctricas, aunque son afectados por la niebla, lluvia o nieve.

