



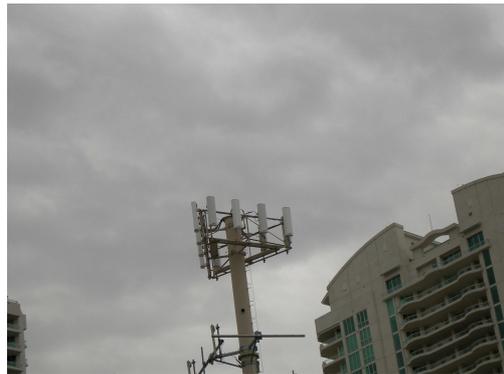
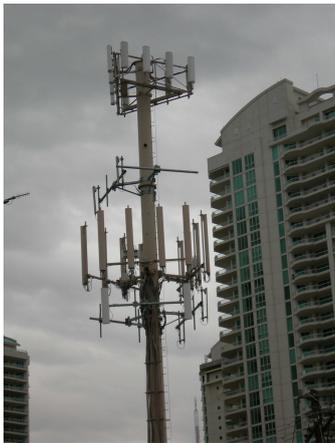
## Antenas para telefonía móvil (Cellular Antennas)

### Capítulo 11

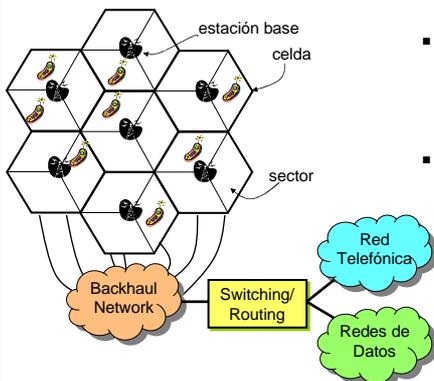
UNI – FIEE  
Lima – PERÚ

Ing. Marcial Antonio López Tafur  
mlopez@uni.edu.pe

## Torre Celular



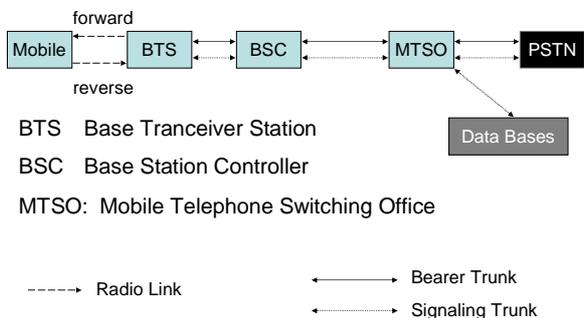
## Tecnología Celular



- Las redes celulares dividen su área de cobertura en múltiples "celdas"
  - Cada una tiene su propia infraestructura de radio y usuarios
- Básico para muchos servicios inalámbricos de dos vías (two-way).
  - Teléfonos celulares (1G, 2G, , 2.5G, 3G, ...)
  - MMDS broadband data Wireless LANs 2.5-2.7 GHz
  - LMDS broadband data 26/28 GHz

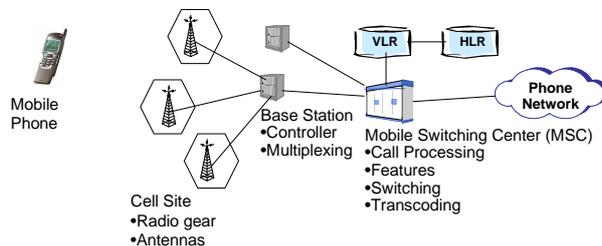
- El diseño de los sistemas celulares implica un compromiso en los requerimientos de:
  - definición del servicio
  - calidad del servicio
  - capacidad
  - costos de capital y de operación
  - requerimientos de recursos incluidos el espectro
  - precio/asequibilidad del usuario final
  - coexistencia con otras tecnologías de radio.
- La tecnología de las antenas adaptivas cambia fundamentalmente la naturaleza de estos compromisos.

### Diagrama de Bloques del Sistema Celular/PCS



BTS Base Transceiver Station  
 BSC Base Station Controller  
 MTSO: Mobile Telephone Switching Office

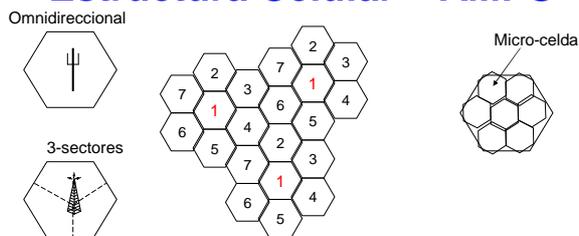
### Componentes Telefonía Celular



### Estructura Celular

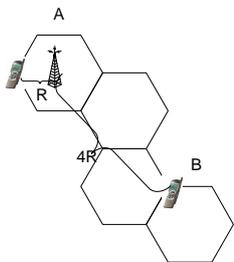
- El área del servicio inalámbrico se divide en áreas pequeñas conocidas como celdas y son servidas por antenas
  - La división es a veces arbitraria pero basada en la densidad de teléfonos y obstáculos.
  - Las Celdas pueden ser grandes (cientos de Km<sup>2</sup>) o muy pequeñas (menos que .01 Km<sup>2</sup>)
- Los teléfonos se comunican a través de la antena en una celda
  - Las frecuencias pueden ser re-usadas en otras celdas (más usuarios atendidos)
  - La potencia de la señal puede ser menor (mayor vida de la batería)
- La ubicación del teléfono puede ser seguida y la continuidad de la llamada mantenida, aún cuando el teléfono se mueva.
  - El teléfono puede "atendido" en cualquier celda.
  - El teléfono puede estar en movimiento durante la llamada

### Estructura Celular – AMPS



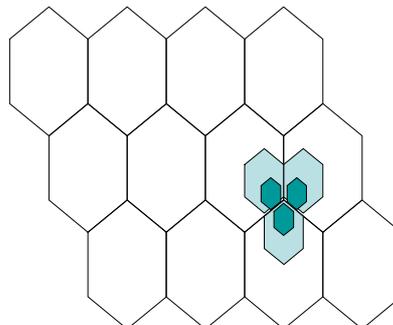
- Frecuencias pueden ser re-usadas en otra celdas
  - 7 grupos de frecuencias en D-AMPS, otros esquemas difieren
- Diferentes Geometrías de Celdas
  - Omnidireccional – una antena cubre una celda
  - Sectorizada – cada antena cubre una fracción (usualmente 1/3) de una celda
- Las Micro-celdas se usan en áreas de gran densidad poblacional

### Re-uso de Frecuencias



- Si las mismas frecuencia son usadas cada 7 celdas:
- El móvil más distante dentro de la misma celda está a una distancia R de la torre.
  - El móvil más cercano en otra celda usando las mismas frecuencias está 4R distante
  - Las señales de radio atenuadas por  $20\log_{10}(d)$
  - La señal interferente será  $20\log_{10}(4) = 12\text{dB}$  debajo de la señal.
  - El control de potencia reduce significativamente la interferencia promedio.

### Patrón de Reuso de Frecuencias



### Ejemplo: AMPS

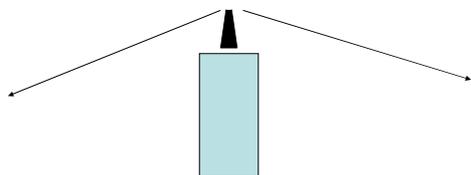
- 50MHz de espectro
- 30kHz por canal por dirección
- 832 canales para full-duplex total
- 4, 7, y 12 sectores de celdas (clusters) usados

### AMPS cont.

- 832 canales (2 frecuencias por canal)
  - Forward: 869-894 MHz
  - Reverse: 824-849MHz
  - Forward/Reverse Spacing: 45MHz
  - Espaciamiento del Canal Adyacente: 30kHz
  - 21 Canales de Control por grupo
- Cobertura de la celda: 2-20km

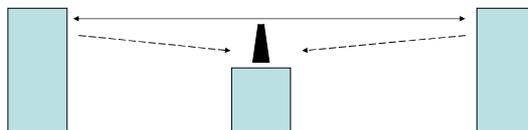
### Ubicación de la Antenna - Alta

- Buena cobertura
- Problemas de Interferencia Co-Canal



### Edificios como Fronteras

- Define los límites de la Celda
- Posible Interferencia de Canales Adyacentes



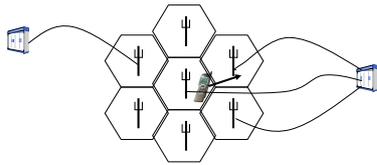
### Interferencia

- Interferencia Co-Canal
- Interferencia de Canal Adyacente
- Fuentes externas

### Transferencia – Handoff (handover)

- Si una llamada está en progreso mientras el teléfono se mueve:
  - La señal recibida variará como su mueva el teléfono
  - Las celdas adyacentes monitorean la intensidad de la señal y determinan cuando la llamada necesita moverse
- Handoff:
  - El teléfono es ubicado en una nueva frecuencia (y posiblemente los timeslots y codes) en una nueva celda.
  - La llamada es conmutada a una nueva antena y el teléfono es puesto en una nueva frecuencia.
  - Hard handoff – la conexión es conmutada, con una pérdida momentánea de continuidad (TDMA, GSM)
  - Soft Handoff – Ambas la nueva y vieja celdas monitorean el teléfono y ensamblan la señal de la combinación, sin pérdida de continuidad (CDMA)

## Handoff



- La intensidad de la señal es monitoreada por las celdas adyacentes
- ¿Cuándo se determina si otra celda está cerca?
  - El teléfono es colocado en un nuevo canal
  - La antena de la celda adyacente es ubicada
  - La conexión es conmutada a la nueva celda
- Complicaciones:
  - ¿Qué pasa si no hay canales disponibles? Congestión.
  - ¿Qué pasa si una celda adyacente está conectada a otro switch?
  - ¿Qué pasa si otros problemas causan que el celular pierda la comunicación?

## Call Handoff (Transferencia)

- La estación base monitorea la intensidad de la señal.
- Sí la intensidad cae más abajo del nivel de hand-off, todas las estaciones base buscan el móvil; la más fuerte se convierte en la nueva BS
- La MTSO instruye a la nueva estación base a activar el canal de voz para recibir la transferencia.

## Call Handoff cont...

- El MTSO de la estación base actual envía señales de comandos al móvil dándole la nueva asignación del nuevo canal.
- El móvil sintoniza el nuevo canal.
- La estación base previa se desconecta de la comunicación.

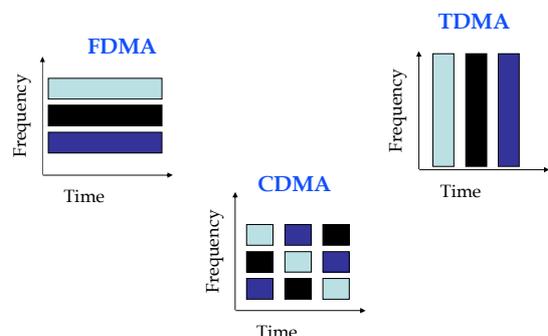
## Temas de Seguridad/Fraude

- Seguridad
  - Privacidad de las Conversaciones
  - Negación del Servicio
- Fraude
  - Obtención ilegal de los ESN/MIN
  - Roaming-related (“tumbling” ESNs)

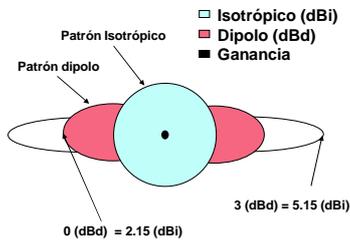
## Clases de Modulación

- Celular Analógico
  - FDMA - Frequency Division Multiple Access
- Celular Digital
  - TDMA – Time Division Multiple Access
  - CDMA – Code Division Multiple Access

## Métodos de Acceso

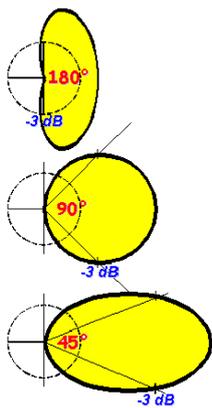


### Referencias (dBd y dBi)

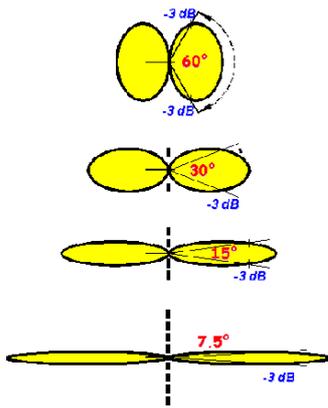


Apertura de Dipolos	Patrón Vertical	Patrón Horizontal
	 Dipolo simple	
	 4 Dipolos Verticalmente apilados	

### Apertura Horizontal



### Apertura Vertical



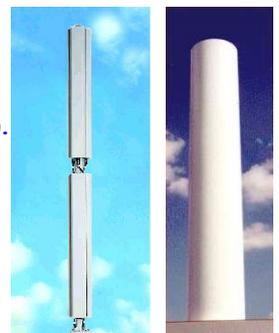
### Antenas para estaciones base

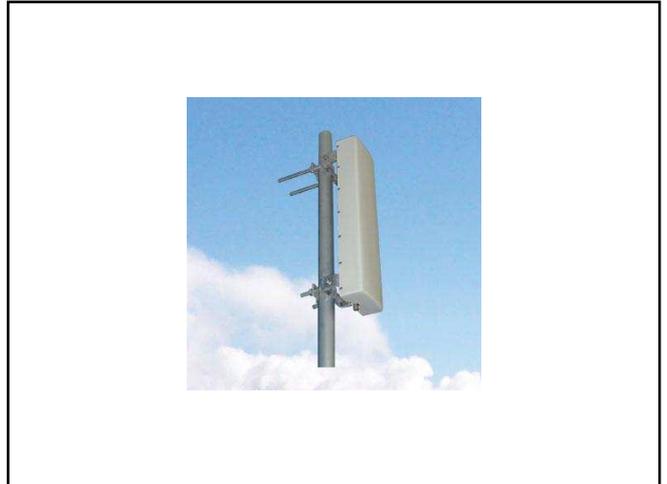


### Para 800 MHz



- ♦ Para uso con las antenas de dual polarización.
- ♦ Cobertor (Radome) externo opcional (puede ser pintado).
- ♦ Inclinación (Downtilt) – eléctrica (fija o variable) o mecánico (kit).
- ♦ Acero galvanizado para mayor resistencia.





**dB TripleTree™**  
Kit de montaje

- ◆ Para antenas 800/900 MHz a 1700-2700 MHz.
- ◆ Mástil telescópico.
- ◆ Reduce el costo y tempo de instalación.
- ◆ Gancho superior y terminal en la base, para facilitar a instalación.

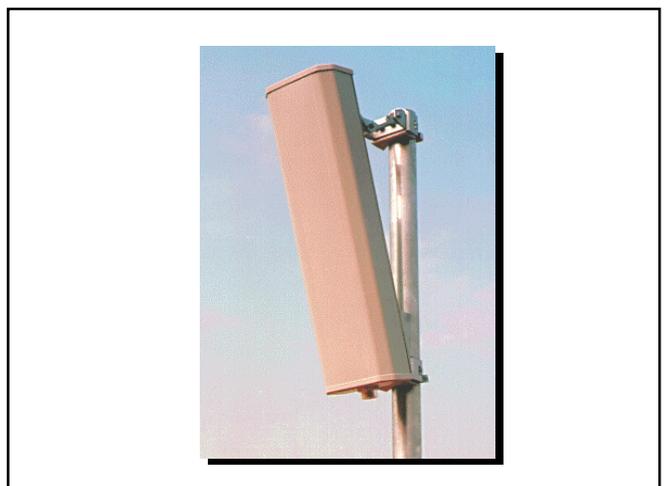


**Inclinación Eléctrica/Mecánica**



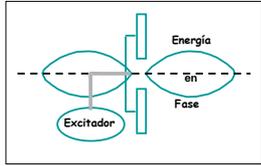
Mecánica                      Eléctrica

**Inclinación Mecánica**  
Kit de montaje

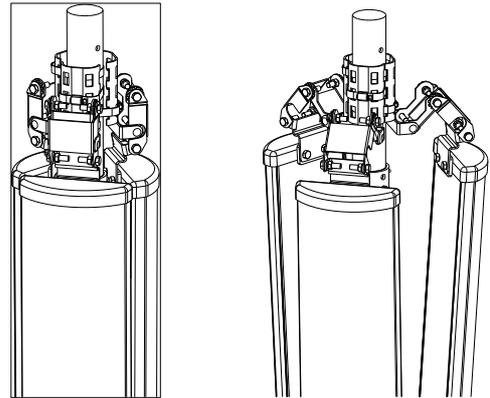
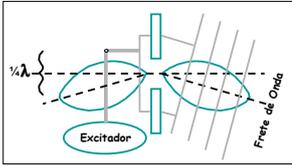



### Generando la inclinación del haz

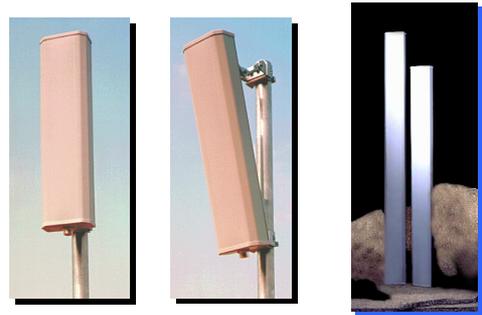
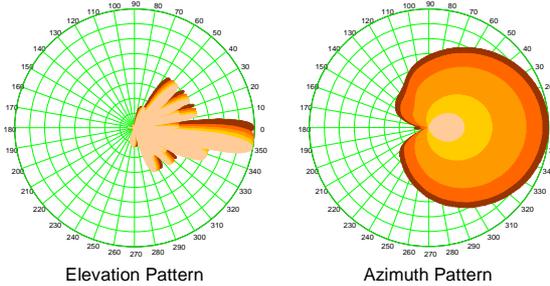
Dipolos alimentados "en fase"



Dipolos alimentados "Fuera de fase"

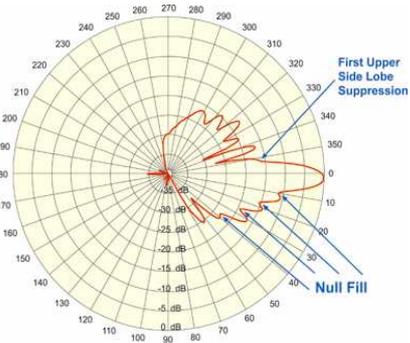


### Electrical Downtilt Coverage

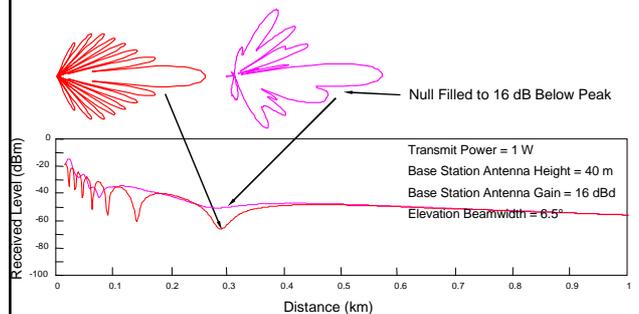


### Llenado de nulos

El llenado de nulos es una técnica de optimización que reduce los nulos entre los lóbulos menores en el plano de elevación.

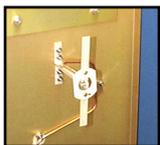


### Importante para antenas con anchos de haz estrechos.





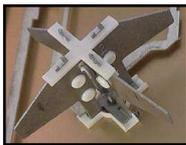
**Diseños de Elementos Irradiantes**



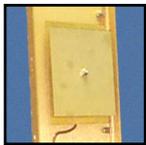
Dipole



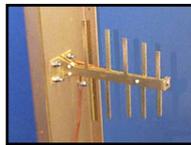
Short Log (H83)



Gen3XPol™



Patch



dB Director™ Log

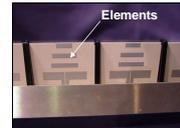


Discone (DC)

**Más diseños de radiadores**



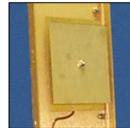
Dipolo



1800/1900/UMTS



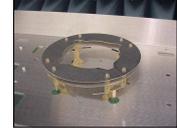
Diversidad (XPOL)



Patch



800/900 MHz



MAR - Micro strip Annular Ring

**Dipolos**



Dipolo Simple

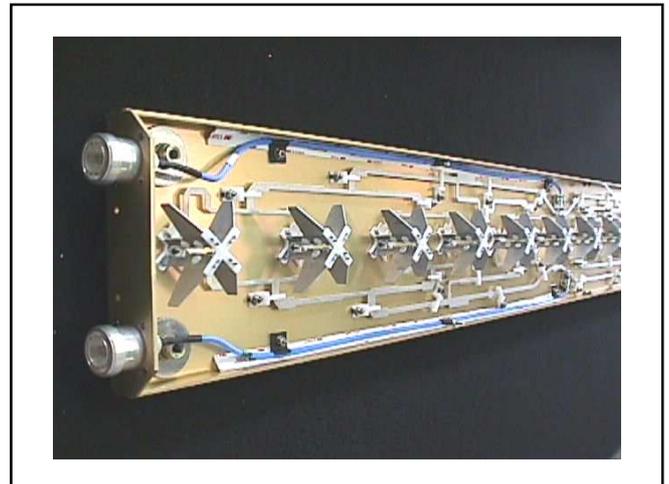
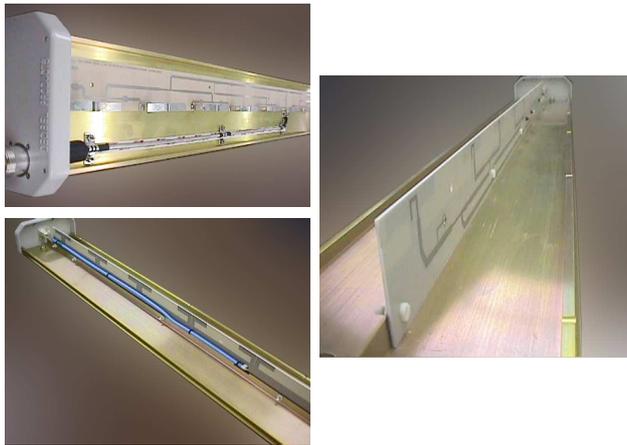
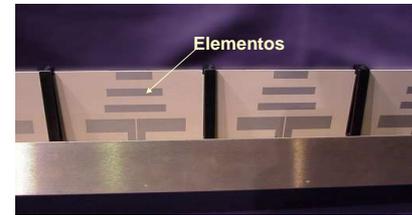
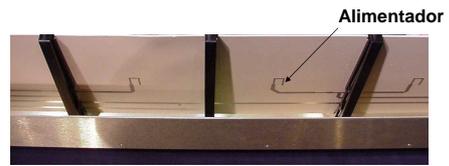


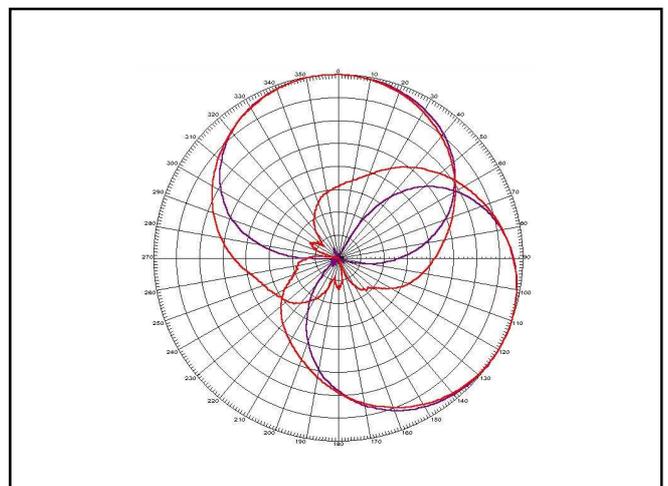
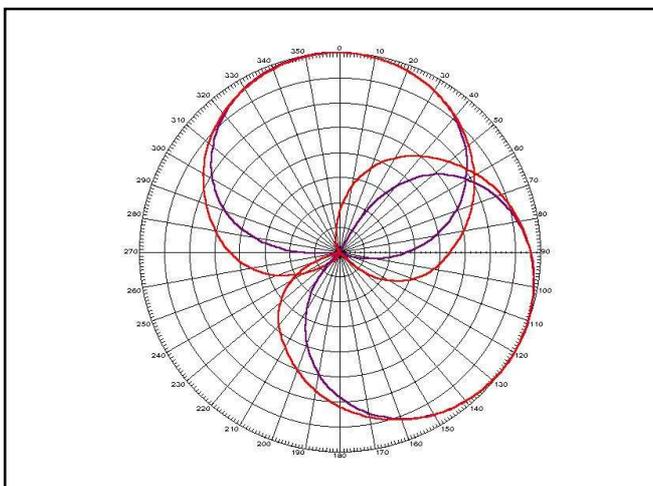
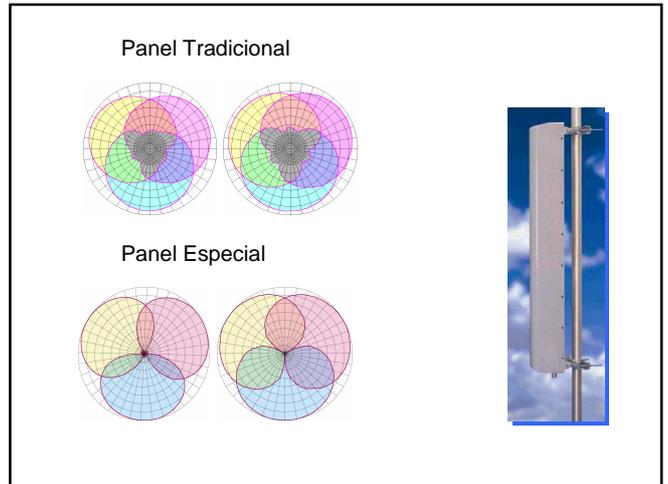
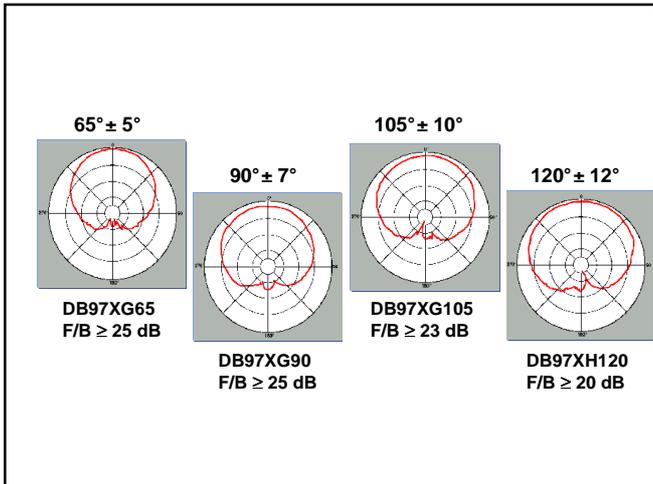
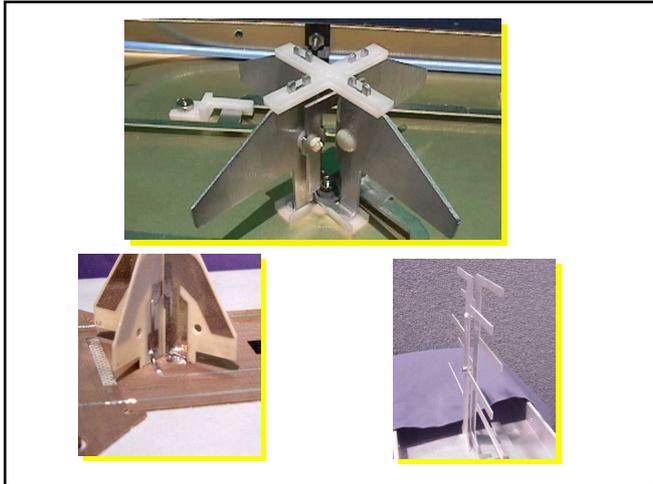
Crossed Dipole

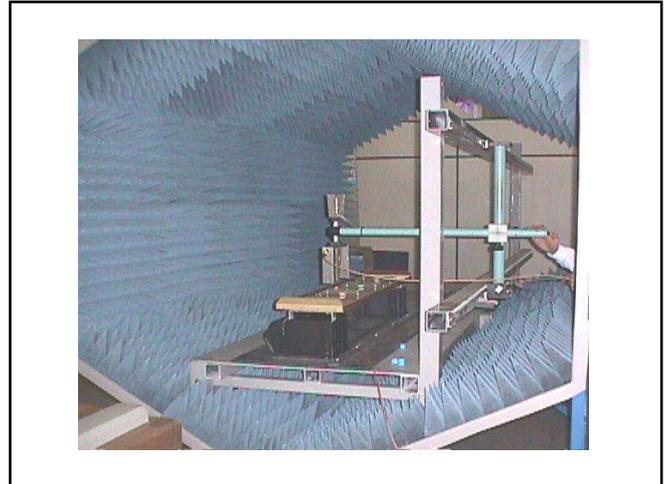
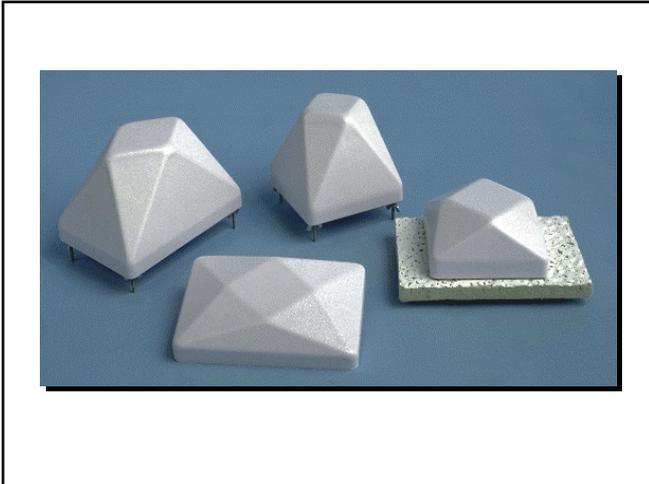


### Antenas Dieléctrico de Aire

- Polarización Vertical
- Apertura Horizontal de  $60^\circ$
- Relación F/B Inferior a la familia Log Periódica







### Torres para telefonía celular



- Una torre para telefonía celular es típicamente un mástil de acero o estructura auto-soportada (triangular o cuadrada) que se eleva decenas de metros sobre el nivel del piso.
- Esta torre es usada por tres diferentes compañías de telefonía celular.

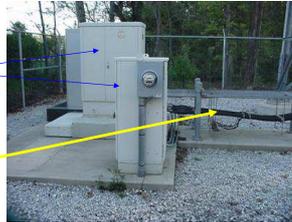
### Torres para celulares (Cont...)

- En la base de la torre se colocan los equipos.
- En los sistemas modernos se requieren equipos pequeños. Los más antiguos tienen pequeños edificios en su base.

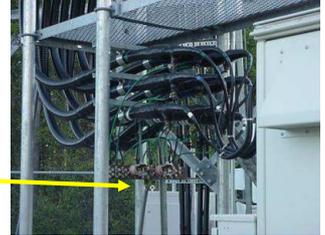


## Torres para celulares (Cont...)

- Aquí está el equipo de un operador celular.
- Las cajas que albergan los TX/RX.
- Los equipos se conectan a las antenas con cables coaxiales.



- Mirando detalladamente, se ve que la torre y todos los cables y el equipo en la base de la torre están firmemente puestos a **tierra**.
- Ejemplo, La plancha en esta imagen con los alambres de funda verde atornillados a esta plancha de cobre sólida.



- Una señal de que múltiples operadores comparten esta torre es que existen cinco candados en la puerta.



- Mucha gente ha expresado preocupación al tener una celda cerca a ellos, “no la quiero cerca a mi casa”.
- Esto es debido en parte a los temores y preocupaciones acerca de la salud, y de como lucen en el vecindario (sí son muy altas).
- Continúan los estudios al respecto pero no existe ninguna prueba en firme de que vivir cerca a una celda celular pueda ser peligroso para la salud.

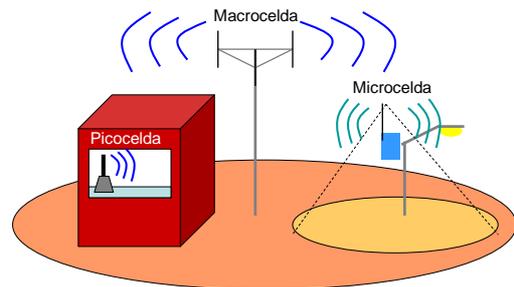


- A veces los operadores tiene que “embellecer” las torres celulares
- Buenos ejemplos son estaciones de baja potencia, las cuales pueden ser camufladas en las paredes de los edificios.



### Ejemplo de un Sistema Múltiple

- Macrocelda: radio de la celda de 1 Km. a 15 Km.
- Microcelda: radio de la celda de 0.1km a 1km
- Picocelda: radio de la celda de 10 cms a metros

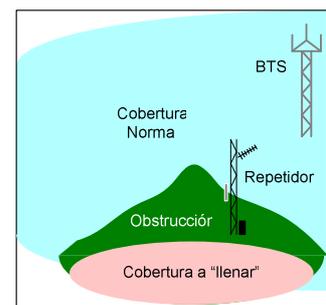


### Imagen de una Estación Base Microcelda (Toronto)



### Soluciones al problema de cobertura

- Las obstrucciones físicas crean “huecos”
- Causadas por:
  - Montañas
  - Edificios
  - Cañones



### ¿Cuándo es necesario un repetidor ?

Los Usuarios no pueden hacer o recibir llamadas debido a señal débil por falta de penetración de la RF en el local. Las llamadas se caen, o presentan ruido y distorsión.

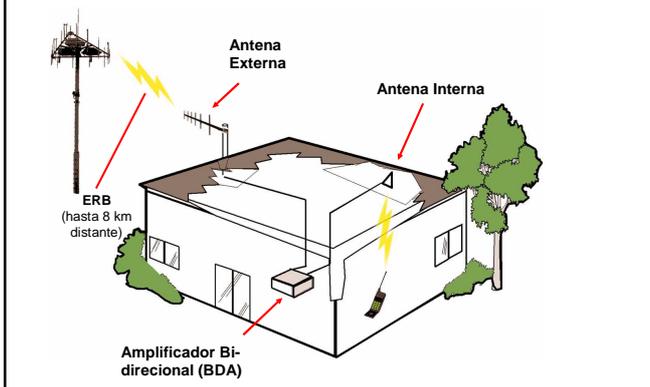
### ¿En qué tipos de estructuras puede operar un repetidor?

Edificios de oficinas o departamentos, estacionamientos, shopping centers y residencias.

### ¿Cómo funciona un sistema repetidor?

El sistema redirecciona, filtra y amplifica la señal disponible en la antena externa hacia adentro del área de cobertura despejada, a través de una antena interior. La mejoría de la señal permite a los usuarios mantener llamadas fuertes y claras.

### Configuración Típica



### ¿Por qué usar un Kit Repetidor?

- Optimiza la relación costo/beneficio para cobertura en áreas de 1,800 a 9,000 m<sup>2</sup>
- Instalación Sencilla.
- Soporta AMPS, TDMA, CDMA e iDEN
- Kit incluye todo el material, (cables coaxiales opcionales)
- Disponibles Antenas opcionales.

### Kit típico

- Modelos:
  - para 806-869 MHz - Trunking
  - para 824-894 MHz - Celular
- Amplificador Bi-Direccional
- Antena Externa
- Antena Omnidireccional Interna
- Cable de Alimentación
- Enchufe para CA



### Amplificador Bi-direccional (ABD)

- Alta potencia, ganancia media
- Alimentación 120/240 V CA
- 50 dB de ganancia mínima (53 dB típico)
- Pot. sal. (compuesta)
  - Uplink 20 dBm
  - Downlink 14 dBm (4 dBm CDMA)



### Antena Externa

- Instalación externa
- Orientada hacia la ERB
- Hermética a prueba de agua.
- Ganancia 8 dBd (10 dBi)
- Ancho de Banda 806-894 MHz

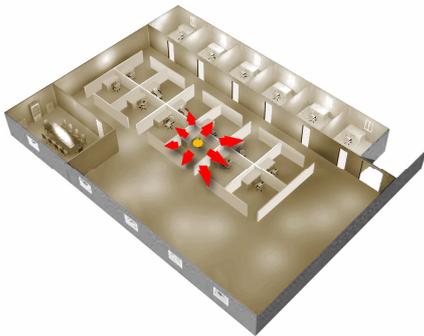


### Antena Omnidireccional Interior

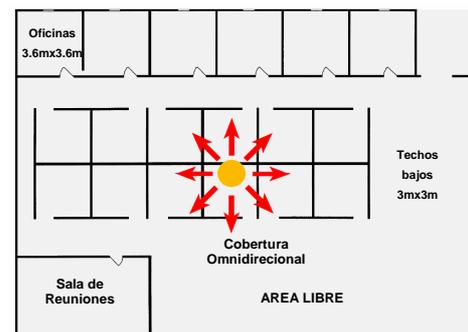
- Perfil bajo, montaje en techo.
- Permite cobertura en todas las direcciones, para abajo y fuera del punto de instalación.
- Puesta a Tierra de CC.
- Ganancia unitaria (2 dBi)
- Ancho de Banda: 806-960; 1710-3000 MHz



### Instalación Típica de la Antena Omnidireccional

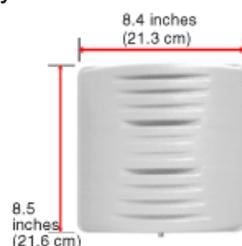


### Instalación Típica de la Antena Omnidireccional

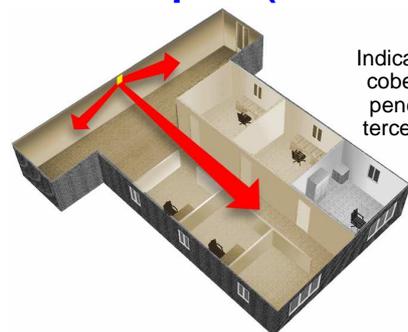


### Antenas Opcionales

- Montaje en paredes de corredores o escaleras (configuraciones que exijan ganancia mayor o cobertura direccional):
- 6 dBd (8 dBi)
- Plano Direccional
- Ancho del haz 80°

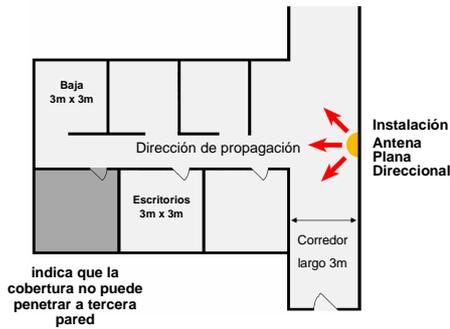


### Cobertura Direccional Típica (corredor)

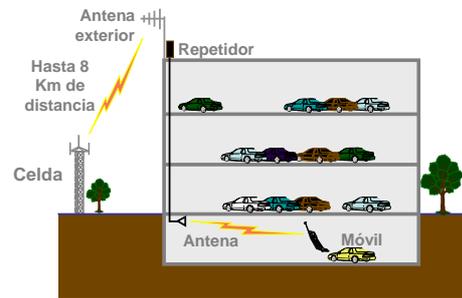


Indica que una cobertura no penetra una tercera pared

### Cobertura Direccional Típica (corredor)

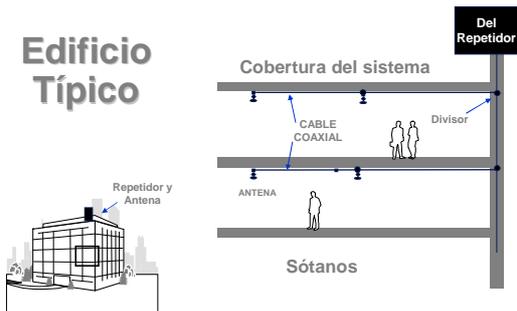


### Aplicación Repetidor Interior



### Aplicación Repetidor Interior

#### Edificio Típico



Adaptive antenna

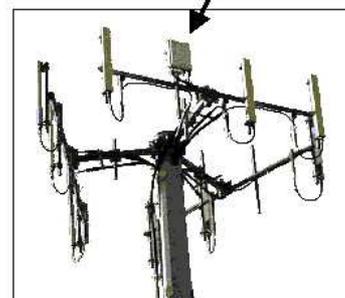


Figure 1. Adaptive antenna installation at an existing site.

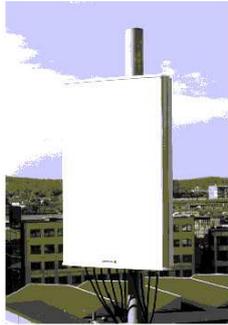
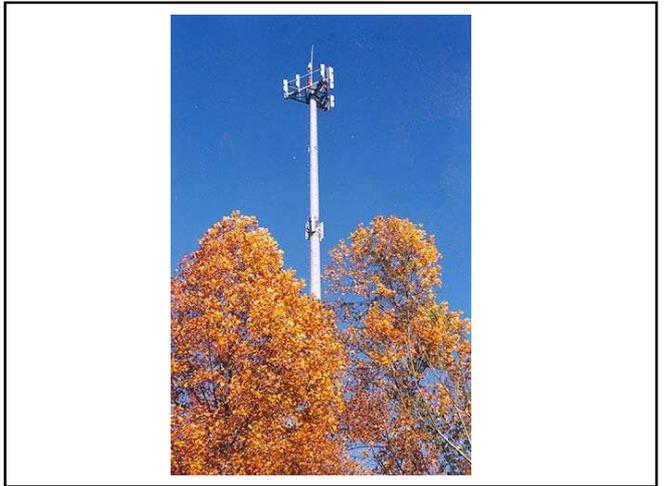
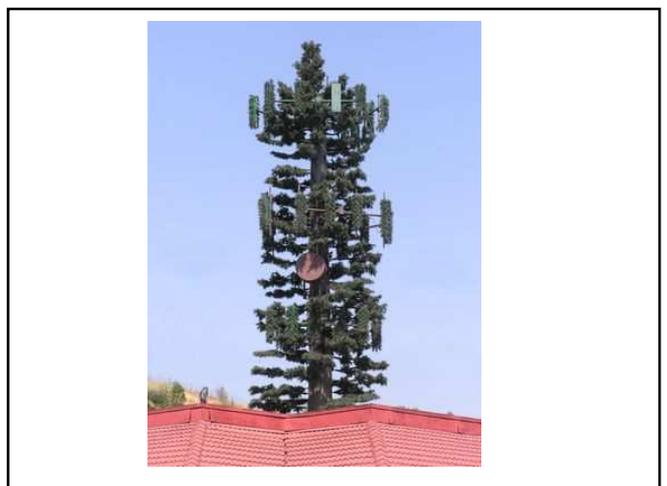


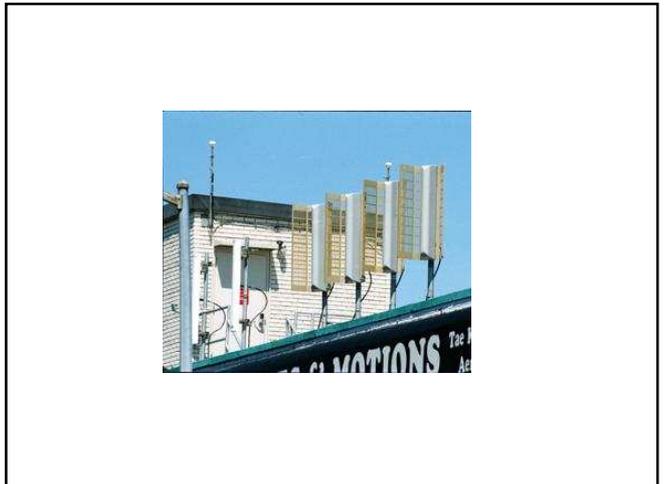
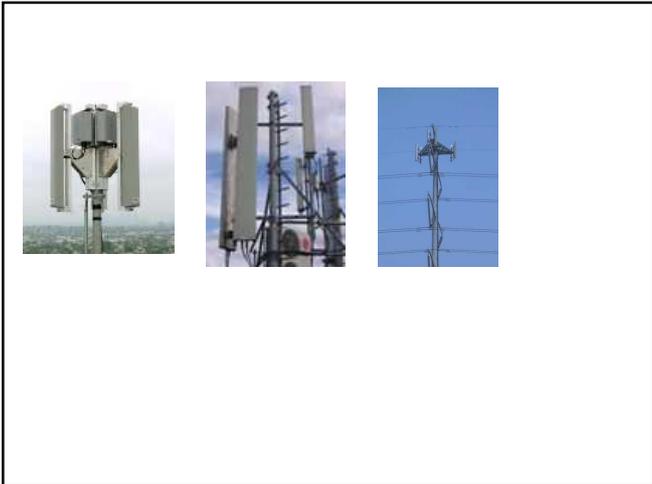
Figure 8. Adaptive antenna array

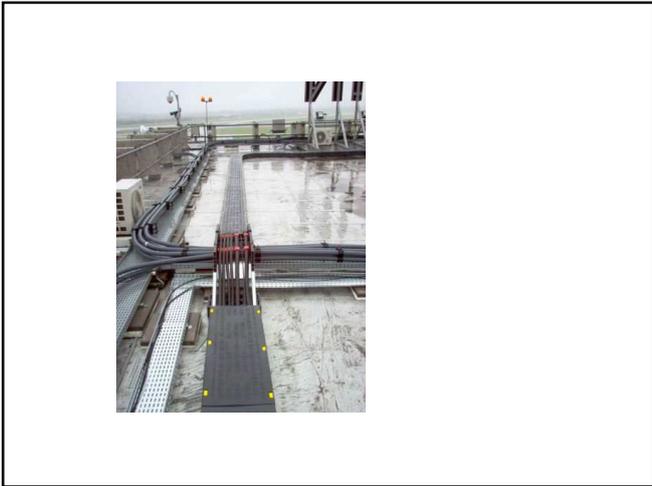


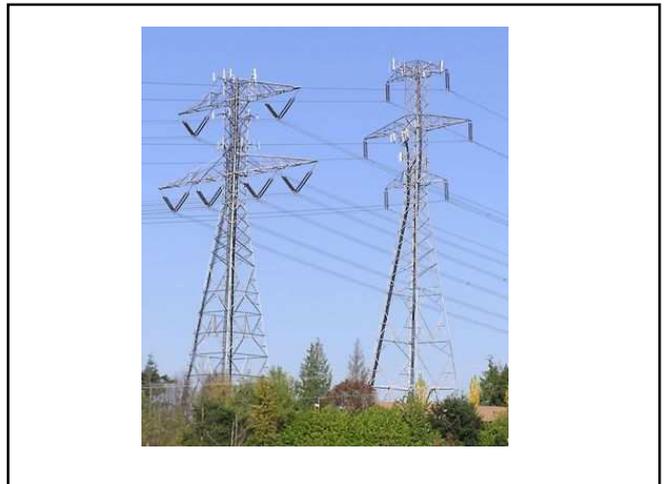


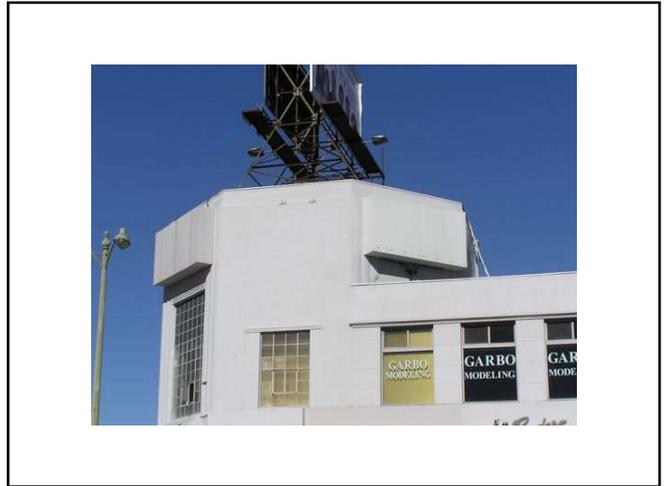


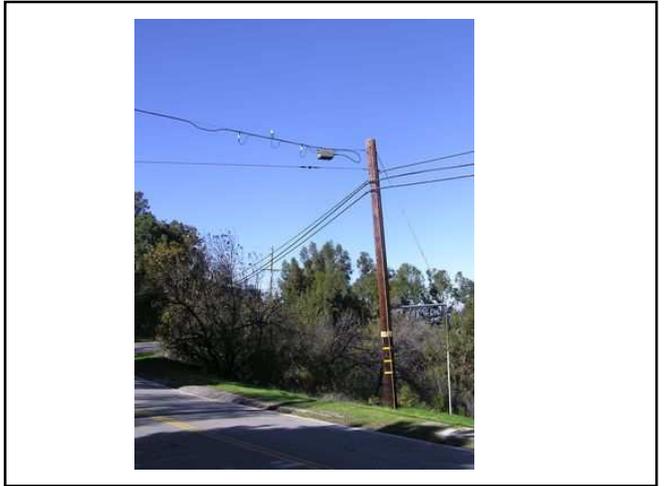
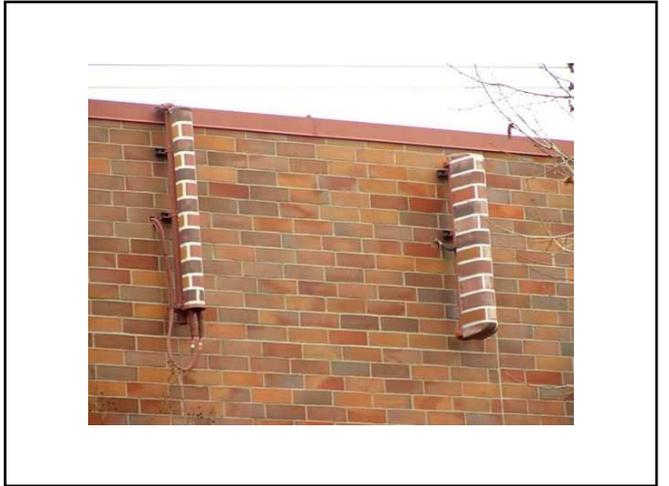














## Antenas Fractales

Con el avance de los sistemas de comunicaciones y el importante incremento de otras aplicaciones de los sistemas inalámbricos, las antenas de banda ancha y de bajo contorno están en gran demanda tanto para aplicaciones comerciales como militares. Antenas multibanda y banda ancha son las más aceptadas en los sistemas de comunicación personal (celulares, trunking, beepers, etc.), pequeñas terminales satelitales y otras aplicaciones inalámbricas. Algunas de estas aplicaciones también requieren que la antena esté embebida en la estructura exterior.

Actualmente se están aplicando extensivamente las antenas fractales obteniéndose muy buenos resultados en cuanto a eficiencia, espacio, ancho de banda y ganancia.

La aplicación de los fractales a las antenas permite la optimización en tamaño y ganancia para arreglos multibanda y banda estrecha. El hecho de que muchos fractales tengan complejidad infinita puede ser usado para reducir el tamaño de la antena y desarrollar antenas bajo contorno

## Características principales:

- Un gran ancho de banda, radian muy eficazmente para una gama amplia de frecuencias. El rango de frecuencia es especificada por el tamaño más pequeño y más grande presente en la antena.
- Tienen una ganancia considerable, por encima de un antena dipolo normal y depende muy poco de la frecuencia en un rango de frecuencias grande.
- Poseen una estructura espacial que se relaciona a la ganancia de la antena. Esta estructura espacial puede ser muy útil cuando se requiere direccionalidad.

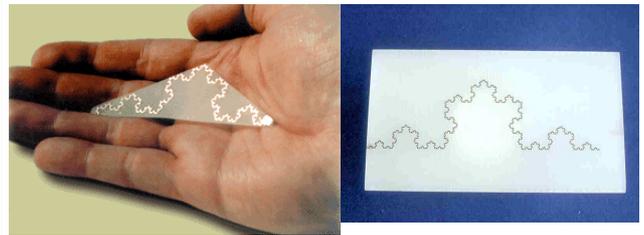
### Principales ventajas

- ▶ Área pequeña
- ▶ Impedancia de acople estable para un rango amplio de frecuencias.
- ▶ Resonancia múltiple
- ▶ Gran ganancia en algunos casos

### Principales desventajas

- ▶ Diseño y creación más dificultosa
- ▶ Baja ganancia en algunos casos

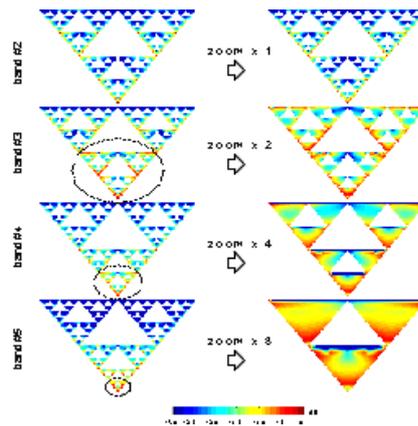
### Antena Dipolo de Koch



### Antena Sierpinski

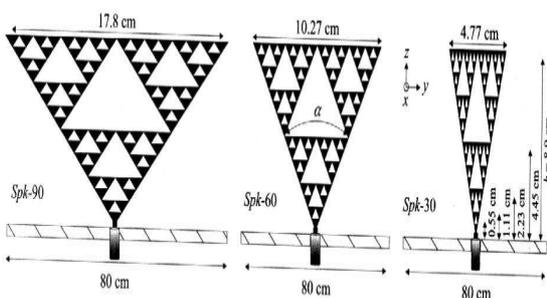


### Distribución de Corriente Antena Sierpinski



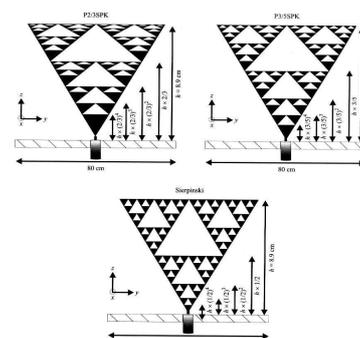
### Antena Sierpinski “Cargadas”

Variación de ángulo de apertura:



### Antena Sierpinski “Cargadas”

Variación de factor de autosimilaridad:



### Tecnología

Áreas de aplicación:

- **Sistemas Móviles Celulares:**  
Antenas en estaciones base, antenas en teléfonos receptores.
- **Dispositivos de Micro ondas:**  
Circuitos microcinta detectores de RF antenas micro cinta.
- **Otras:**  
Aeronáutica, sector automotor, comunicaciones marítimas, aplicaciones militares

### CONCLUSIONES

- Las Antenas fractales son una buena alternativa para los exigentes requerimientos en los nuevos sistemas de comunicación.
- El diseño de éstas implican interdisciplinariedad, ya que se requieren conocimientos de matemáticas fractales y teoría Electromagnética.
- Constituyen un nuevo campo de oportunidades.

### EE525M

Adicionales Antenas para Celulares

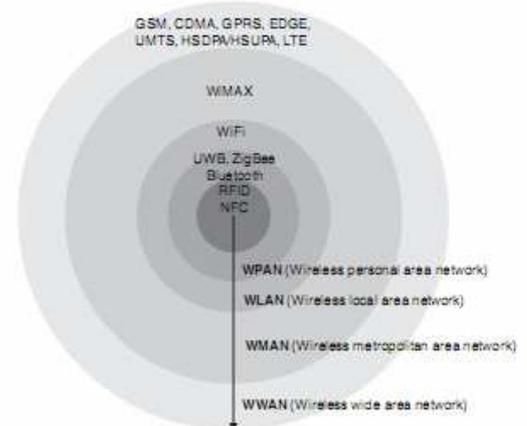


Figure 1 Coverage of modern personal wireless networks

TABLE 1 Features of Antennas in Personal Mobile Terminals and Base Stations

	Antennas in Mobile Terminals	Antennas/Arrays in Base Stations
<b>Size</b>	Very small	Compact
<b>Operating bands</b>	Multiple bands (up to six) for cell phones and laptops  Ultra-wideband	Multiple bands (up to four) for cell phones, WiFi, and Bluetooth  Universal UHF bands for RFID  Ultra-wideband Available if needed
<b>Diversity</b>	Available in laptop and UWB wireless USB dongles	Available if needed
<b>Polarization</b>	Circularly polarized in RFID handheld readers	Dual polarization for cell phones, WiFi, and bluetooth Circular polarization in RFID readers and location beacons
<b>Adaptive beamforming</b>	Not available	Available if needed
<b>MIMO</b>	Will be available	Available if needed

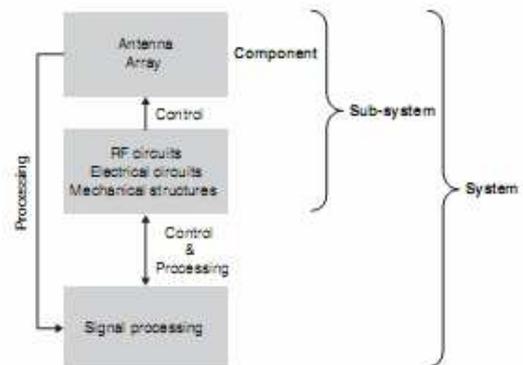
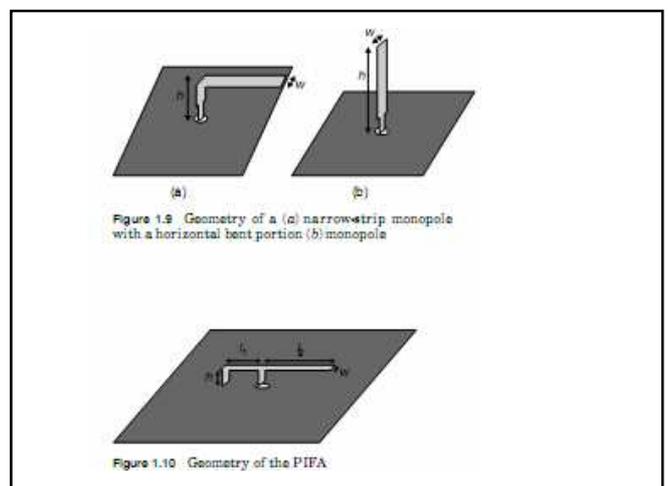
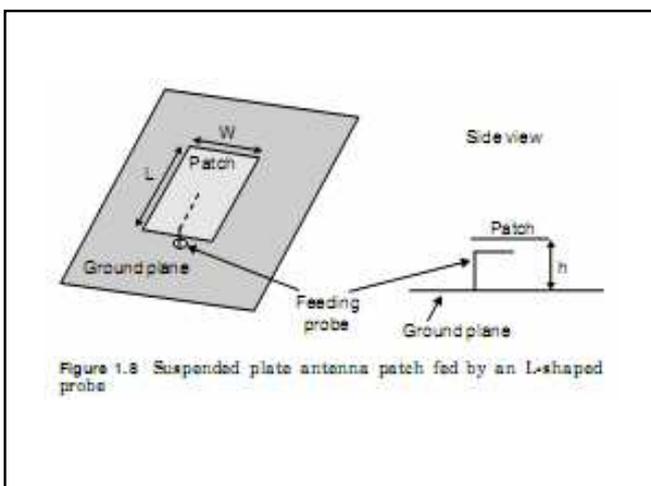
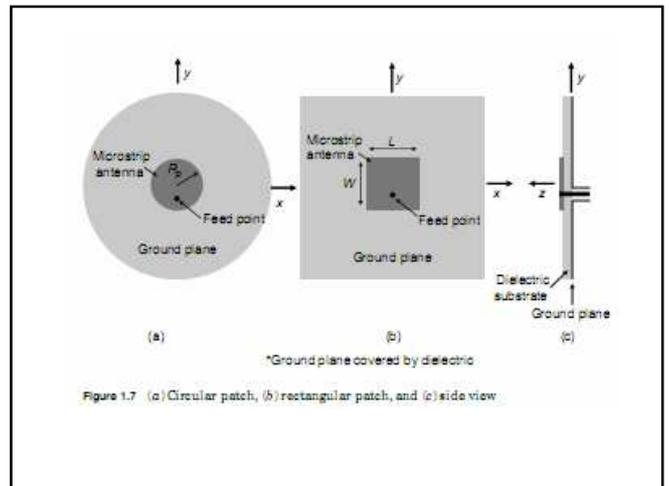
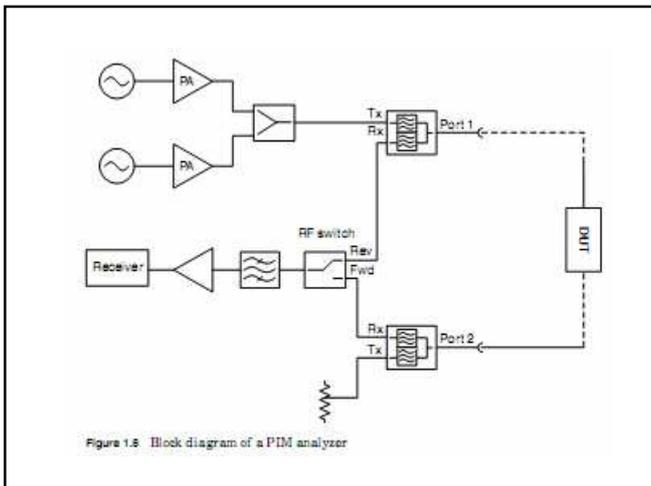
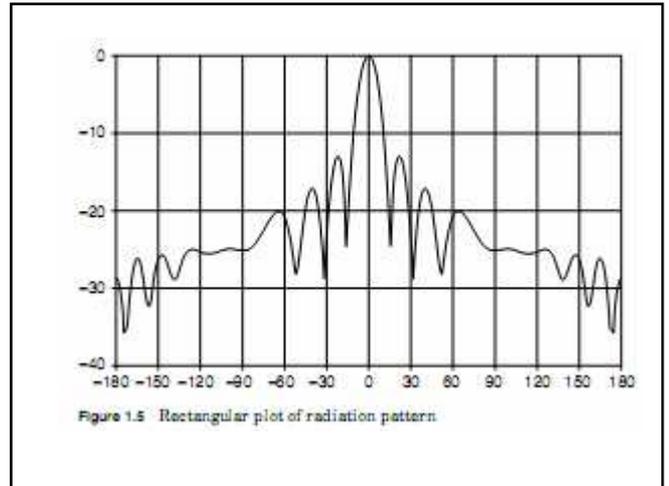
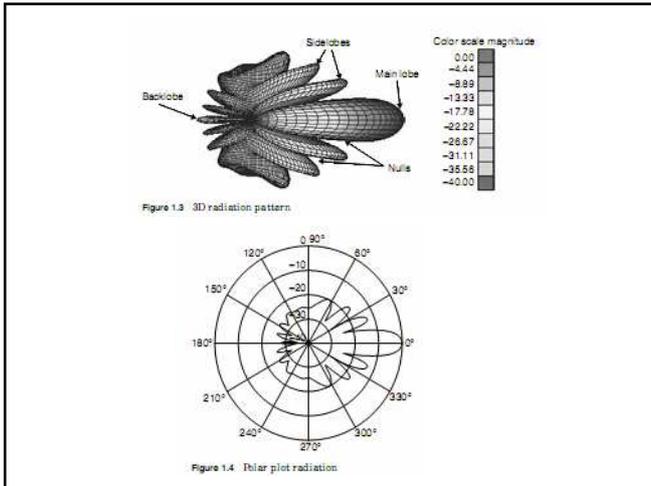


Figure 2 Antenna technology: RF radiator, controlling subsystem, and signal processing



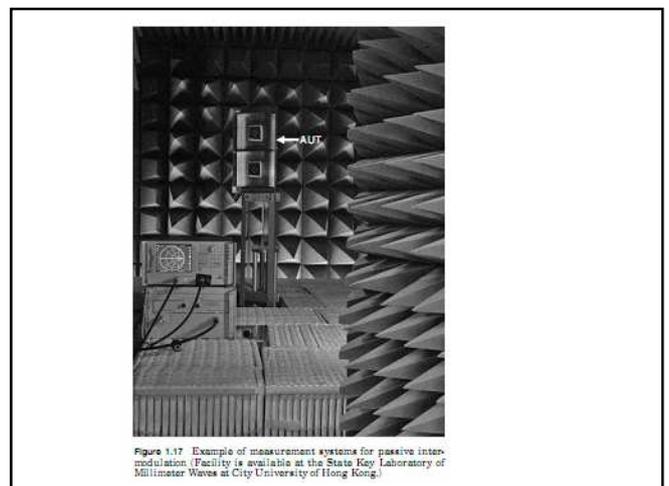
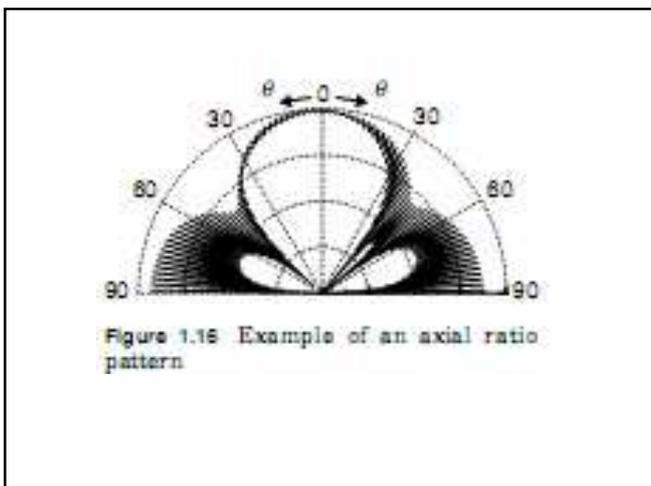
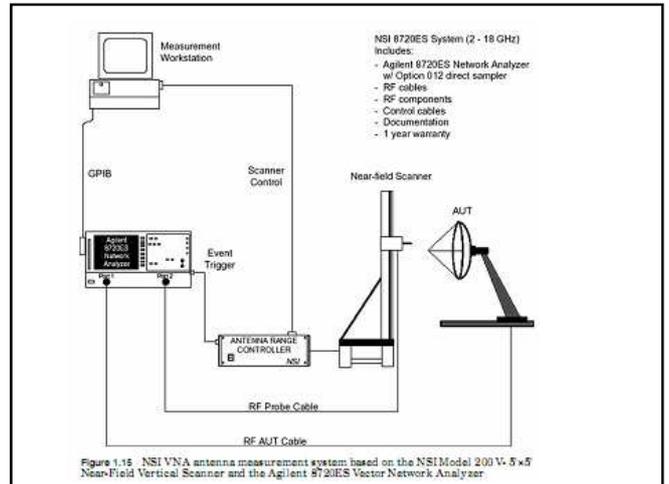
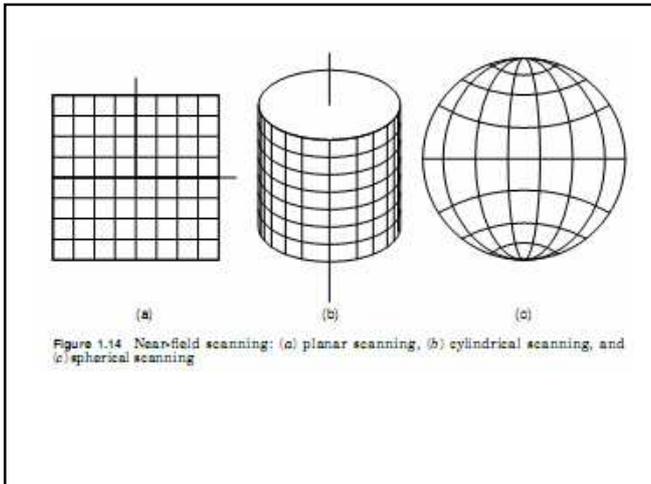
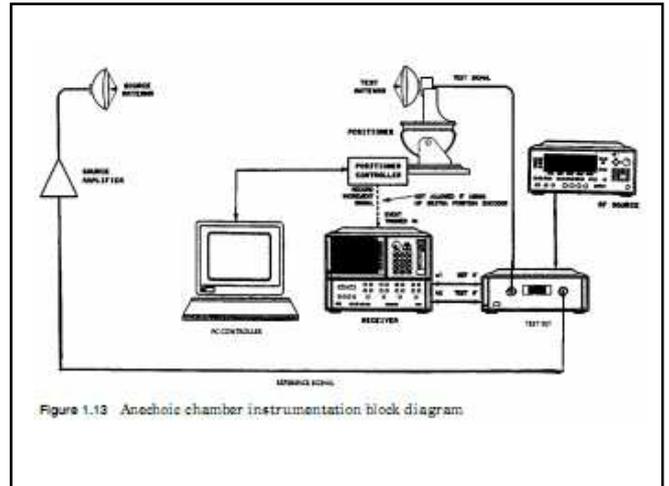
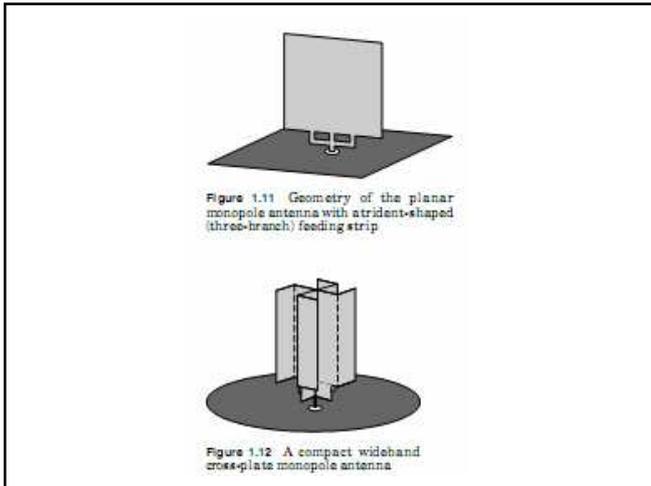


TABLE 2.1 Frequency Bands, Nomenclatures, and Uses

Frequency band	Short reference	Service
450–470 MHz	450 MHz	Phone + data
824–890 MHz	850 MHz	Phone + data
870 (880)–960 MHz	900 MHz	Phone + data
824–960 MHz (850 and 900 MHz)	Low bands	Phone + data
1710–1880 MHz	1800 MHz	Phone + data
1850–1990 MHz	1900 MHz	Phone + data
1900–2170 MHz	2100 MHz	Phone + data
1710–2170 MHz (1800, 1900, and 2100 MHz bands)	High bands	Phone + data

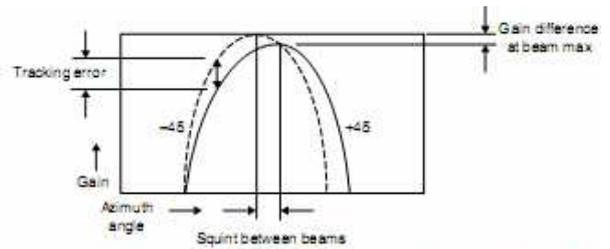


Figure 2.2 Tracking error is the combined result of differential beam squint, peak gain difference, and pattern shape differences. Some contribution to the peak gain difference may arise from a difference in the elevation beamtilt between polarizations.

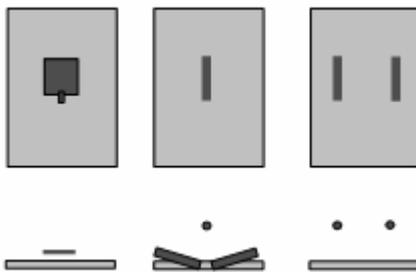


Figure 2.3 Typical designs for a vertically polarized radiating element. The reflecting plane behind the elements may be flat, curved, bent, or have up-standing flanges along its longitudinal edges. Optimization of the spacing of the element from the reflector, together with the reflector profile, is an important means by which the azimuth beamwidth may be controlled over extended frequency bands.

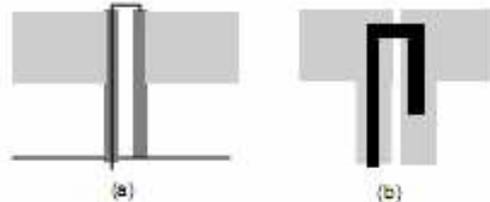


Figure 2.4 Pawsey stub (a) and Roberts (hairpin) balun (b)



Figure 2.5 Microstrip line configurations: (a) line etched on the same substrate as the ground plane, (b) fabricated air-spaced line, (c) conductor etched on thin suspended low-cost laminate, and (d) line layer separated from ground by low-loss foam.

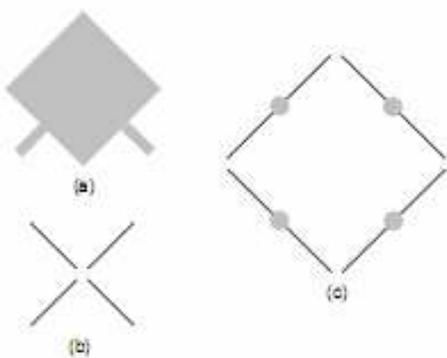


Figure 2.6 Dual-polar radiating elements: (a) patch, (b) crossed dipole, and (c) square dipole array

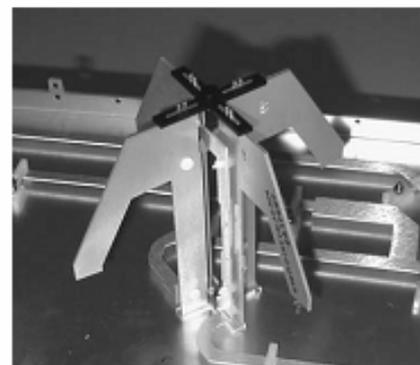


Figure 2.7 Crossed-dipole element pressed and bent from sheet metal with an air-spaced microstrip feed (Photo courtesy of Andrew Corporation)

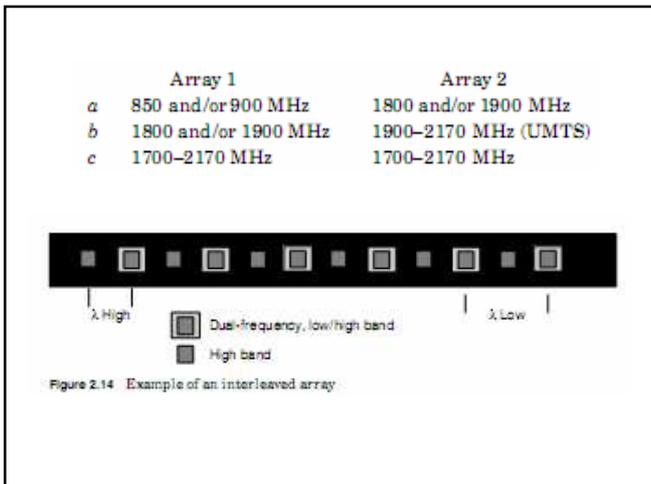
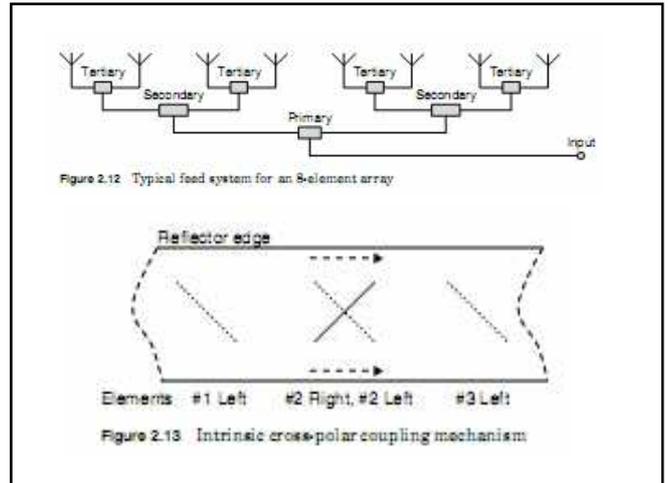
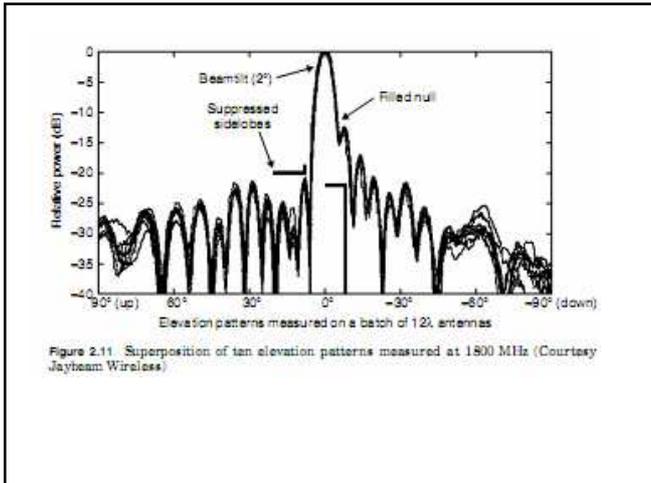
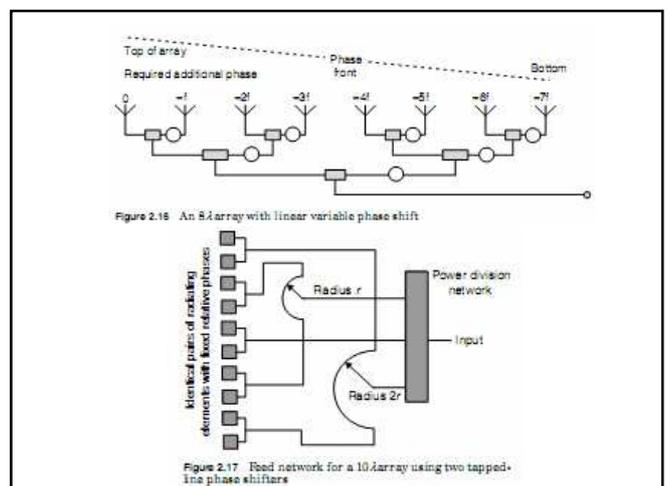
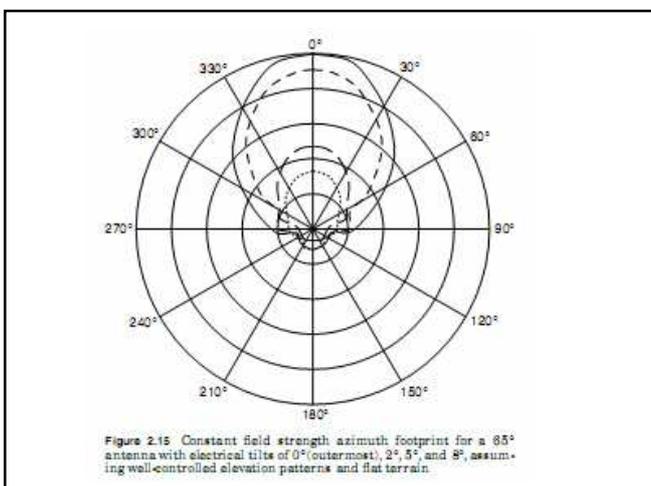
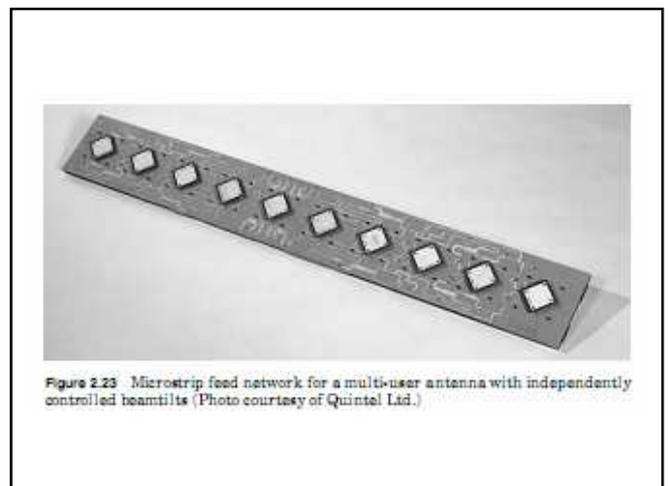
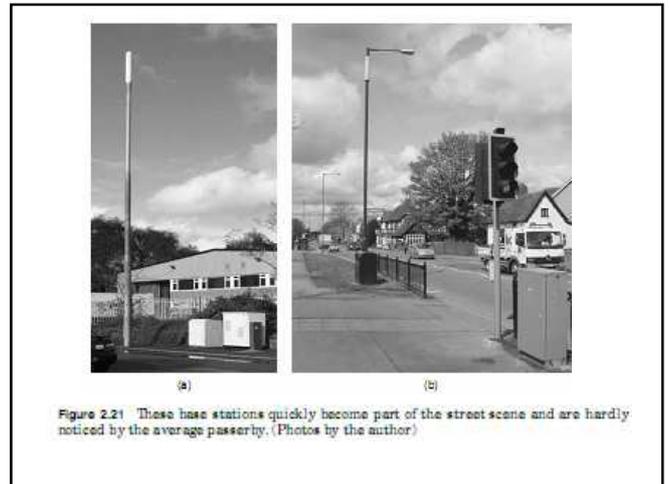
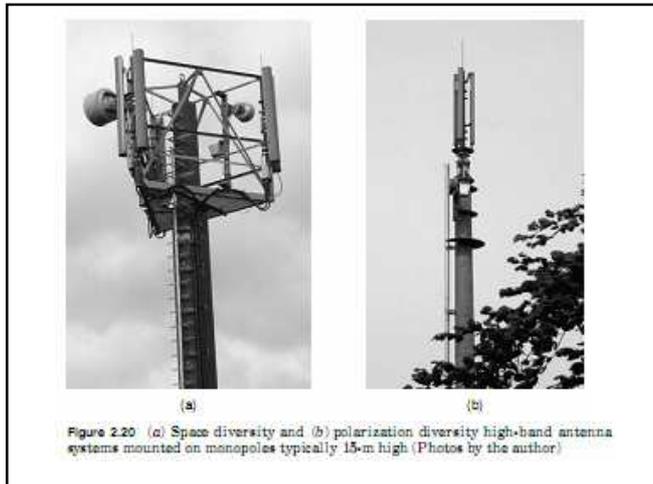
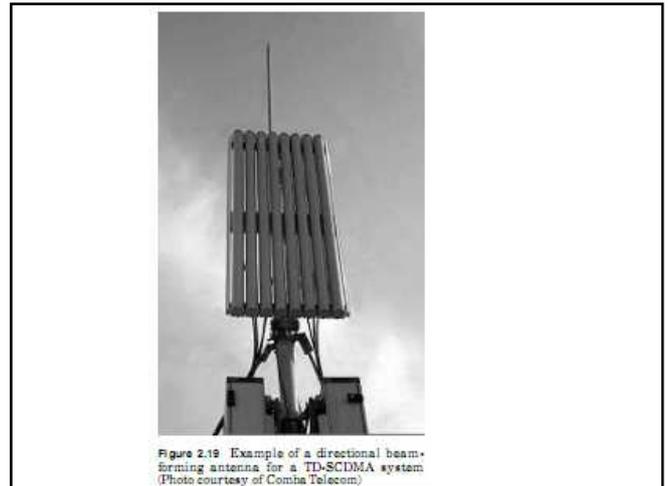
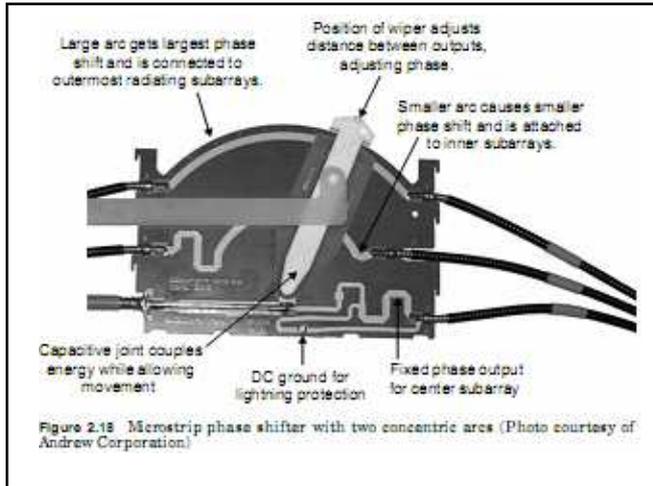


TABLE 2.3 Typical Mechanical Details Illustrating Good Design Principles

Detail	Practical Implications	Preferred Detail Examples
1	Two conductors joined to one another at ground. Connections at contact point are not defined. Loss, power rating, and PIV are uncertain. Impedance changes if contact point moves.	(A) (B)
2	Right angle connection between two conductors. Any sort of square or deflection of the joint. Also possible contact point loss. PIV, impedance 2.	How the flange is oriented the back or draw the flange to define the contact point.
3	Connection through a dielectric layer. Use thermoplastic material (used under pressure, some joint might be lost and heating occurs). Some materials may be fractured if joint is over-tightened.	Add a sleeve over the flange to remove stress from the dielectric and to form a stress current path.
4	Clamping through a dielectric layer. The problems with the same as those of the preceding examples, but this is worse because the pressure under the flange is higher for a given joint clamping force.	Add a sleeve and a washer to reduce pressure and observe production as in (3).
5	Current path takes on contact through flange. This is particularly to be avoided. It allows the problems of (3), and the current flow between the screw and the upper conductor is uncertain. Can't say on current flowing from a screw into the threaded component.	Directed current path.
6	Spring plug contact is smaller than hole. These examples are exceptions to avoid clearly that is the coating. Current path is uncertain; impedance uncertain and current density at top of contact point is high. Plug will deform.	Directed as all entries to hole is exact and less dependent on spring tension.







*Muchas gracias por su atención*



UNI -FIEE