

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
Dpto. de Electrónica y Comunicaciones
Laboratorio de Antenas y Radiación
<http://lant.ing.uc.edu.ve>

ANTENAS INTELIGENTES

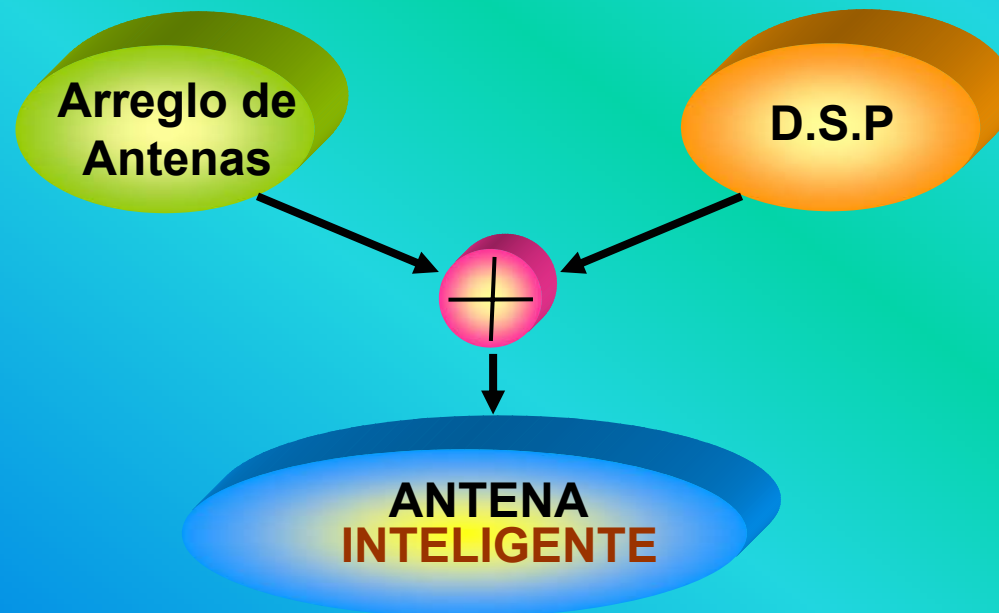
V ENCUENTRO NACIONAL DE RAMAS IEEE 2004

Realizado por
Ing. Rafael Albornoz
TSU Sohaila Mustafá

Valencia 26 de Noviembre de 2004

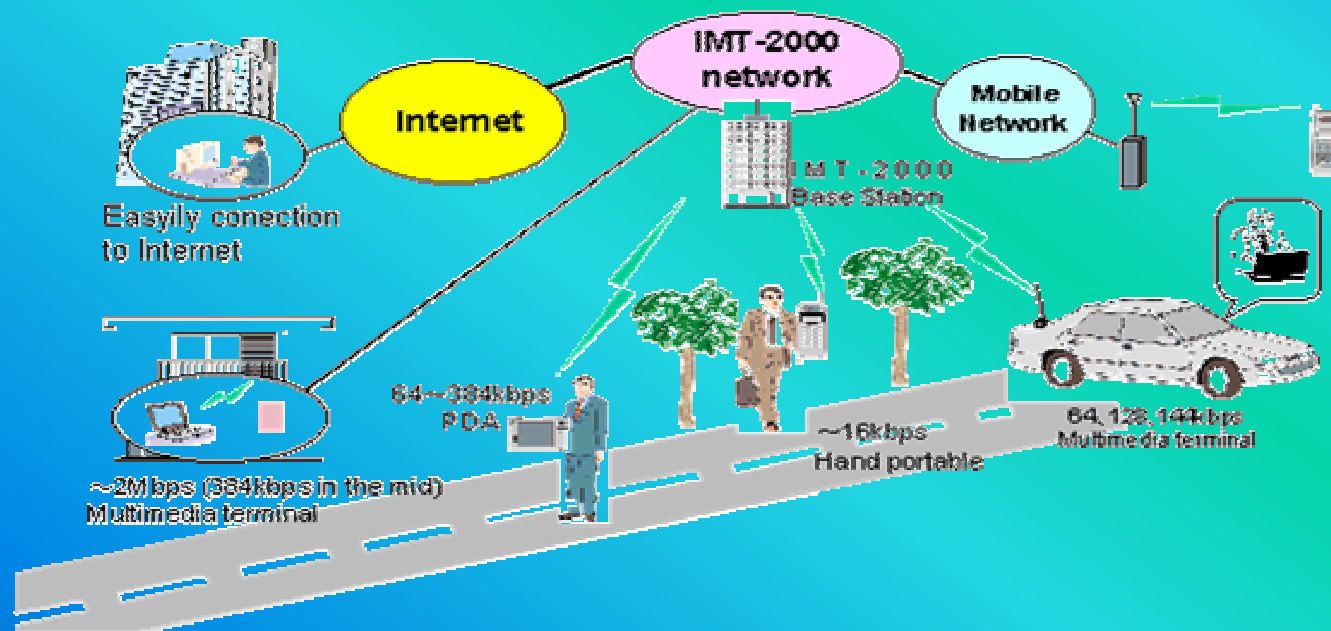
¿QUE SON LAS ANTENAS INTELIGENTES ?

Una antena inteligente es la combinación de un arreglo de antenas (arrays) con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno.



TECNOLOGIAS EMERGENTES DE MULTIACCESO

El crecimiento continuo del número de usuarios de sistemas de comunicaciones móviles y la implementación de nuevas plataformas de servicios móviles (3G) han provocado la necesidad de aumentar sus capacidades al más alto nivel posible



Antenas Inteligentes y Plataformas de Comunicaciones Móviles

Para los Nuevos servicios de 3G se plantea como solución el empleo de la novedosa tecnología de Antenas Inteligentes ya que aprovechando las características particulares de estos Sistemas, se consigue aumentar la capacidad de conexión a múltiples usuarios simultáneamente con las siguientes ventajas adicionales:

Ventajas de Sistemas
con
Antenas Inteligentes

Incremento de la Capacidad y Confiabilidad

Reducción de Potencia de Transmisión

Reducción de Propagación Multitrayecto

Reducción de Nivel de Interferencia

Incremento del Nivel de Seguridad

INCREMENTO DEL ALCANCE

CON UN ARREGLO DE ANTENAS LA GANANCIA ES MAYOR QUE EN EL CASO DE UNA ANTENA OMNIDIRECCIONAL O SECTORIZADA, ASI QUE TRANSMITIENDO A LA MISMA POTENCIA, SE PUEDE RECIBIR LA SEÑAL A UNA MAYOR DISTANCIA

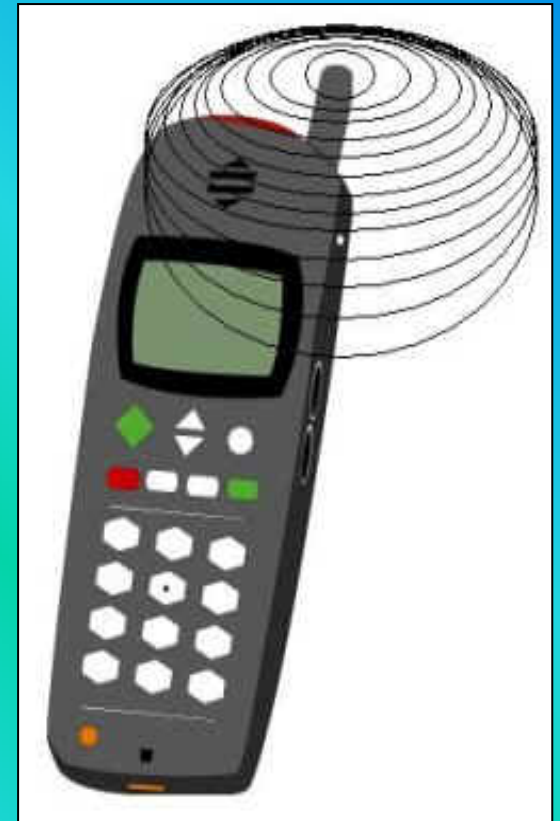


EN EL CASO DE LOS SISTEMAS DE TELEFONIA MOVIL, ESTO PERMITE REDUCIR EL NUMERO DE ESTACIONES BASE PARA CUBRIR UNA ZONA ESPECIFICA

REDUCCION DE POTENCIA DE TRANSMISION

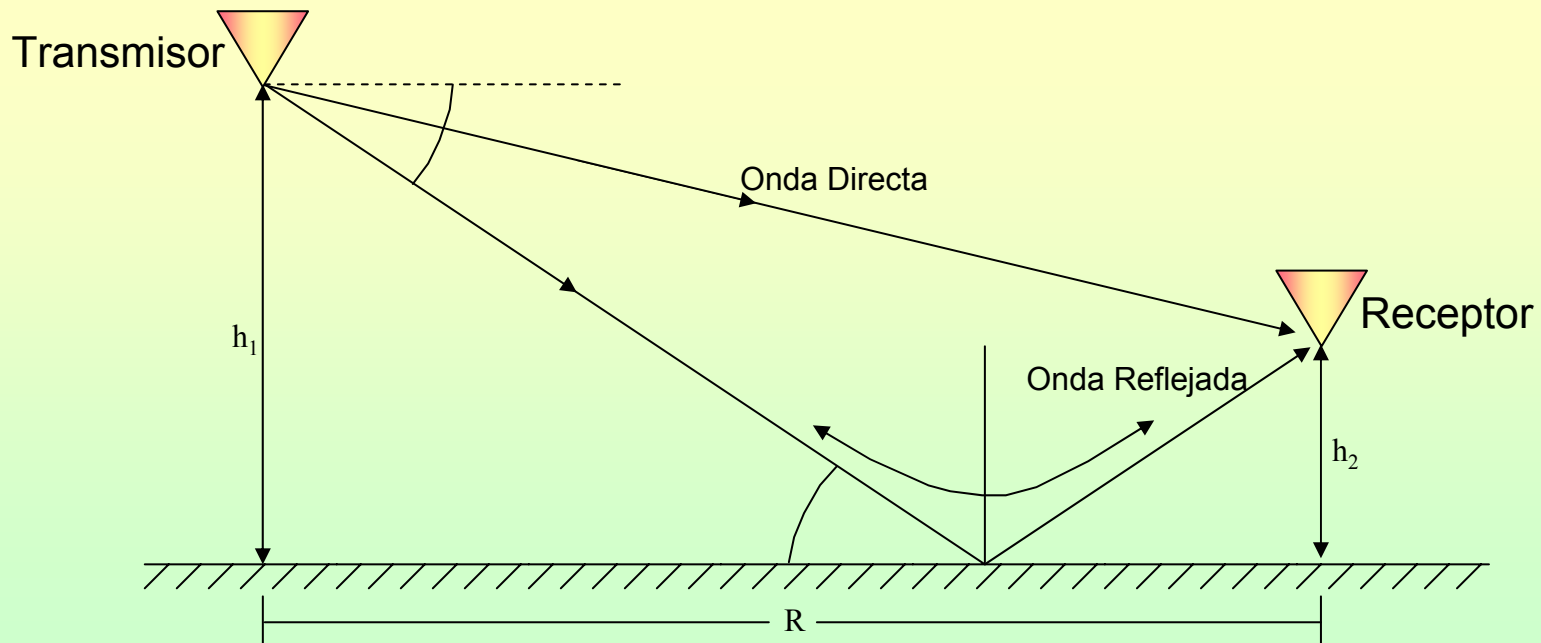
Con el aumento de ganancia producto del arreglo de antenas, se incrementa la sensibilidad de la estación base, por lo tanto los equipos móviles pueden transmitir a una menor potencia incidiendo directamente en el ahorro de baterías.

El sistema de Antenas Inteligentes puede radiar una potencia menor por lo cual se pueden reducir o simplificar las especificaciones de los amplificadores de potencia asociadas al sistema de antenas, generando una reducción de costos en las etapas de amplificación



REDUCCION DE PROPAGACION MULTITRAYECTO

Debido a la menor dispersión angular de la radiación desde el sistema de Antenas inteligentes, se reducen significativamente los trayectos múltiples de la información que llegaría al equipo móvil. Esto permite simplificar el sistema de ecualización del terminal móvil



REDUCCION DE PROPAGACION MULTITRAYECTO

Dependiendo de la configuración del sistema de Antenas Inteligentes, se pueden tener dos situaciones:

- 1) Captación de la Onda principal de la señal de interés, eliminando las señales de multitrayecto propias y las señales interferentes de otros usuarios
- 2) Captación de la Onda principal de la señal de interés aprovechando la captación de sus señales de mutlitrayecto, para reforzar la señal principal, y eliminar las señales interferentes de otros usuarios

REDUCCION DEL NIVEL DE INTERFERENCIA

La selectividad espacial que proporciona el Sistema de antenas inteligentes, permite discernir las señales interferentes provenientes de otros usuarios con esto se logra hacer insensible a la antena receptora hacia esas direcciones y evitar que esas señales sean procesadas en el sistema de recepción

También permite reducir la potencia de transmisión en la dirección de esos usuarios para evitarles interferencias

La reducción del Nivel de Interferencia reduce la tasa de Error (BER), lo que permite aumentar la calidad de la transmisión de la información



Incremento del Nivel de Seguridad

Gracias a que la transmisión entre la estación y el equipo móvil es direccional, es muy difícil que otro equipo intercepte la comunicación, a menos que esté situado en la misma dirección en que apunta el haz de la antena

También se hace fácil la localización de usuarios que estén haciendo uso fraudulento de los servicios que ofrece la red de comunicación móvil

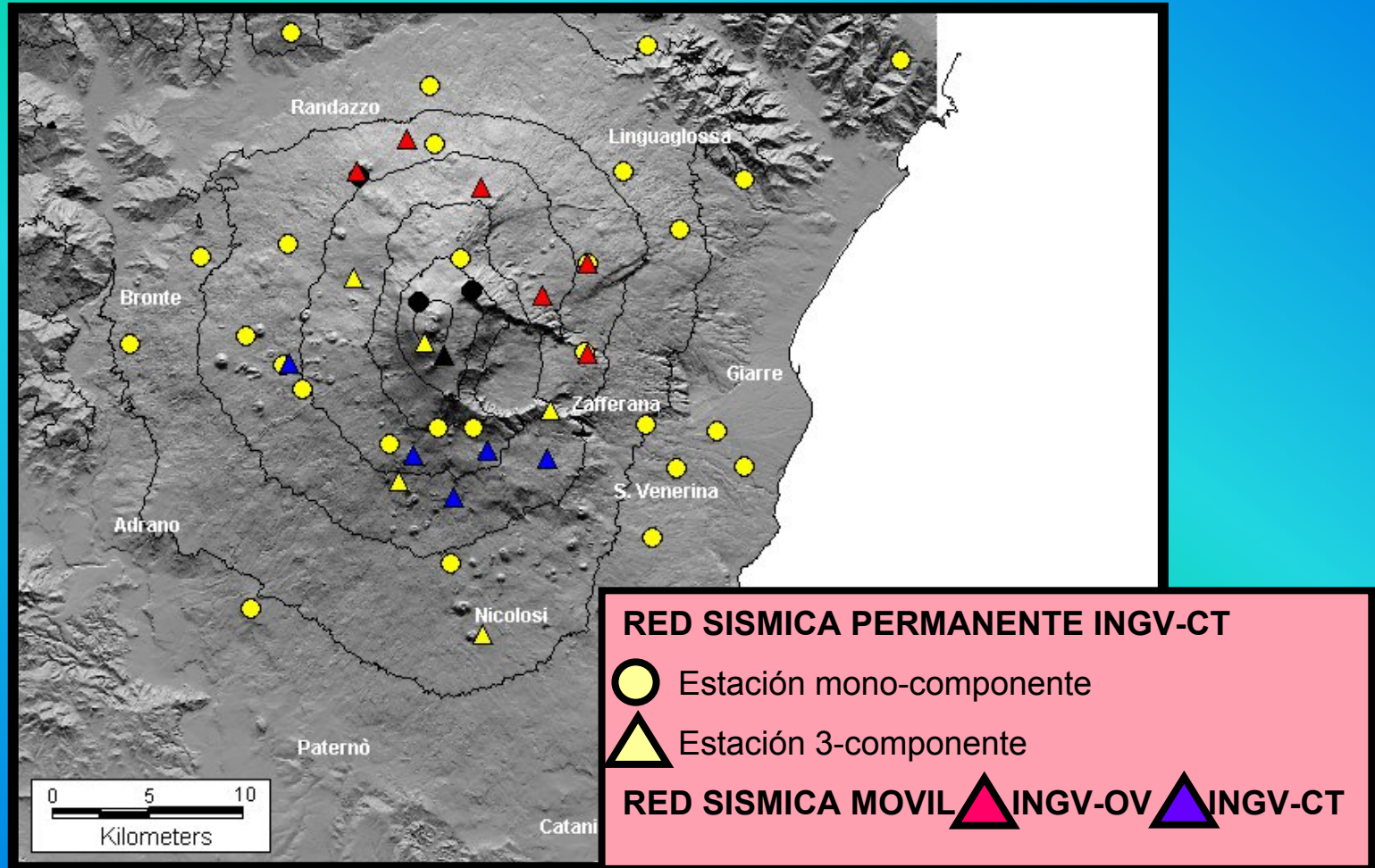


ANTENAS INTELIGENTES: UNA CLASE DE SENSOR INTELIGENTE

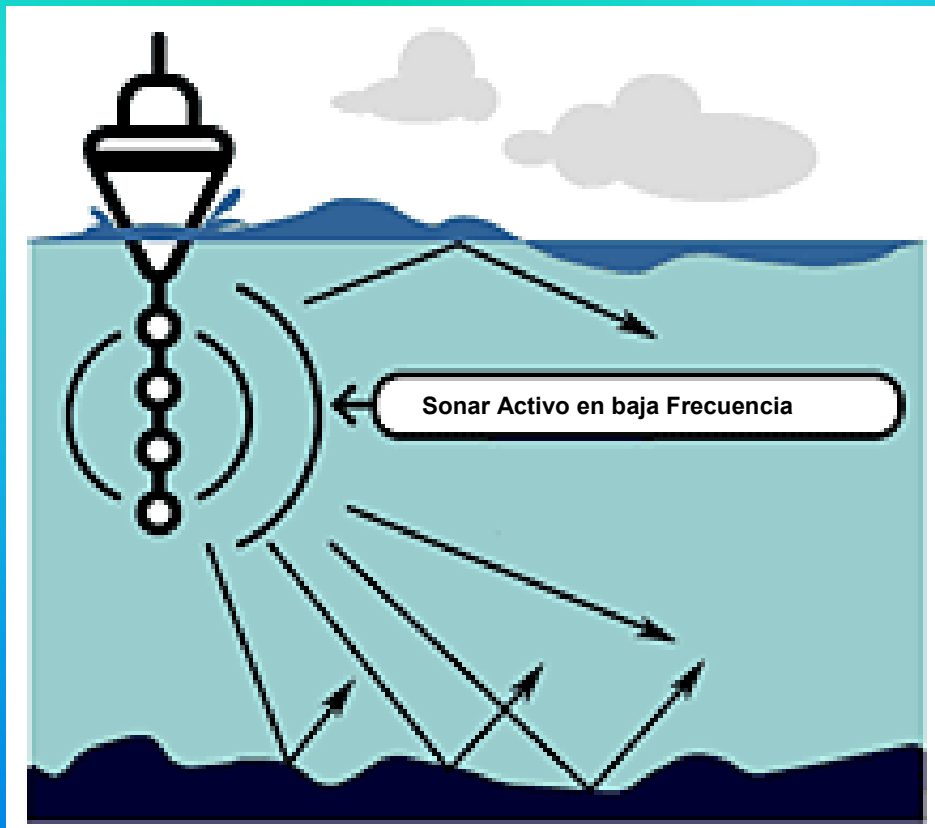
LAS ANTENAS INTELIGENTES ESTÁN ENMARCADAS DENTRO DE UN CONTEXTO MAS AMPLIO DE INSTRUMENTACIÓN CON SENSORES INTELIGENTES, EL CUAL SE HA VENIDO DESARROLLANDO VERTIGINOSAMENTE EN LOS ULTIMOS AÑOS CON APLICACIONES EN AREAS MULTIDISCIPLINARIAS TALES COMO:

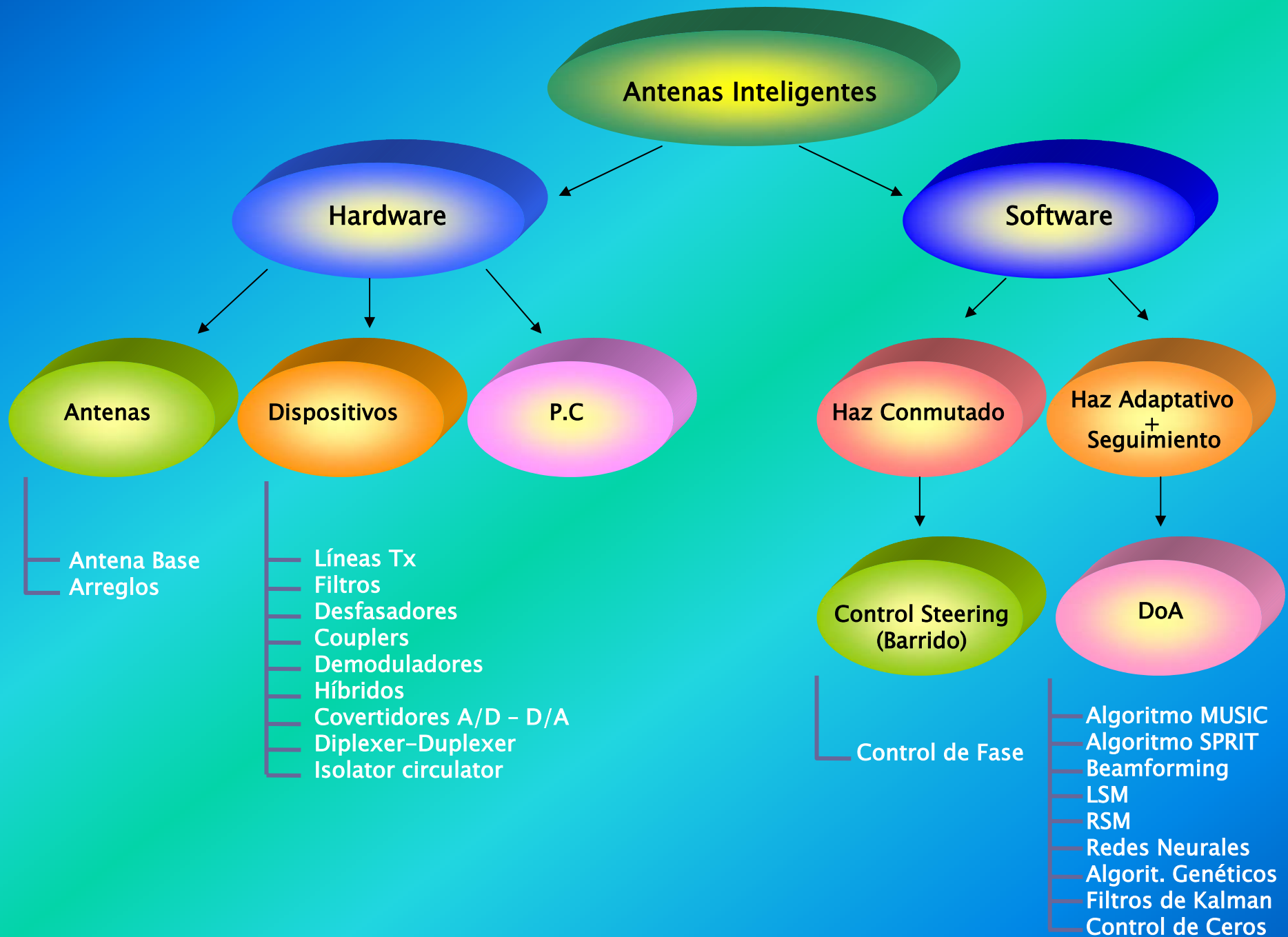


SISMOLOGIA



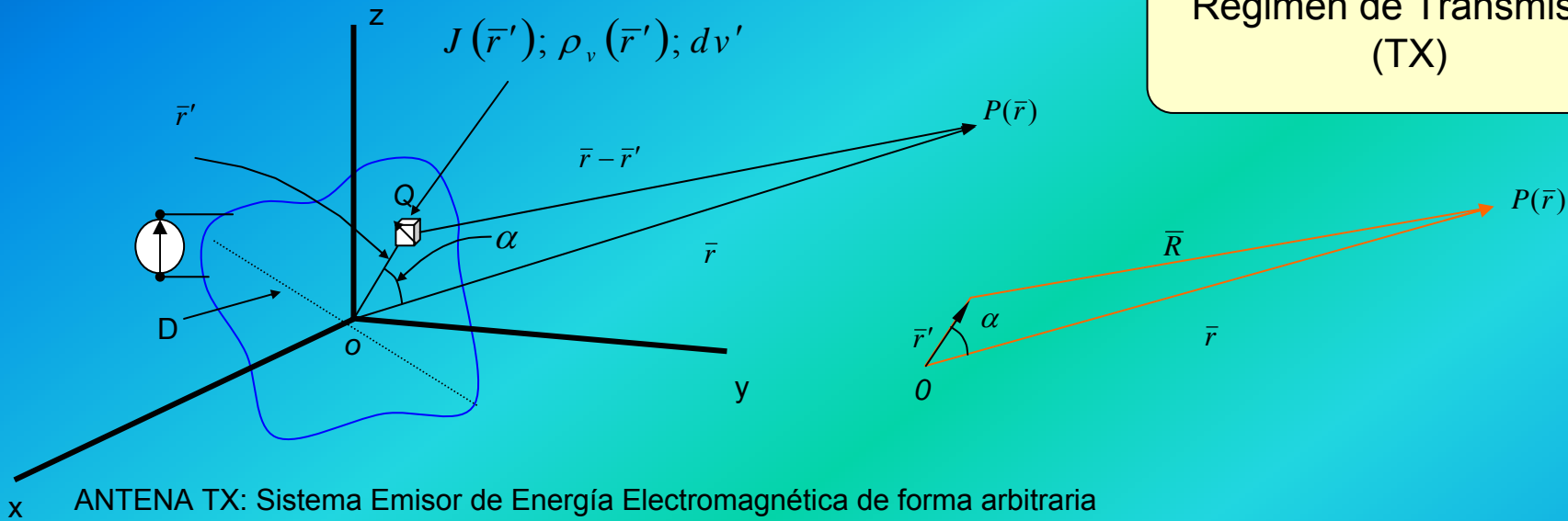
SONAR





CONCEPTOS BASICOS DE ANTENAS

Régimen de Transmisión (TX)



$$\bar{A}(\bar{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_v \bar{J}(\bar{r}') \frac{e^{-jK|\bar{r}-\bar{r}'|}}{|\bar{r}-\bar{r}'|} dv$$

Potencial Vectorial Magnético

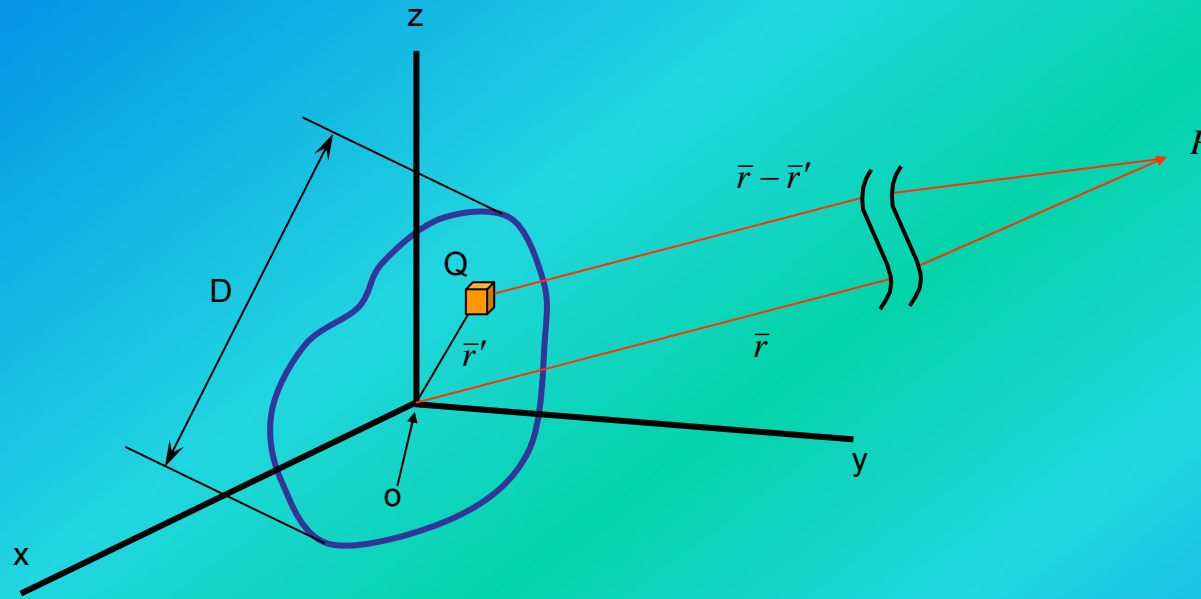
$$\bar{H} = \nabla \times \bar{A}$$

Campo Magnético

$$\bar{E} = -j\omega\mu\bar{A} + \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla(\nabla \cdot \bar{A})$$

Campo Eléctrico

Zona Lejana: Definida por la condición $r \geq R_{Zlejana}$ es la región mas importante en el estudio de las Antenas.



Potencial Vectorial Magnético en Zona Lejana:

$$\bar{A}_{zl}(\bar{r}) = \frac{e^{-jKr}}{4\pi r} \int_v \bar{J}(r') \exp[jKr' \cos \alpha] dv' = \frac{e^{-jKr}}{4\pi r} \bar{N}(\theta, \varphi)$$

El límite inferior de la Zona Lejana puede quedar establecido por condiciones de fase o amplitud y se determina por la máxima distancia entre las siguientes condiciones:

$$R_{ZLejana} = \text{máximo} \{ 20\lambda , 50D , 2D^2 / \lambda \}$$

λ = Longitud de Onda
 D = Dimensión Máxima del Sistema Radiante

$$\bar{E}_{z\ell} = V_0 \left(\frac{e^{-jKr}}{r} \right) F(\theta, \varphi) \bar{p}(\theta, \varphi) \quad \text{Campo Eléctrico en Zona Lejana}$$

$$\bar{H}_{z\ell} = \frac{\bar{a}_r \times \bar{E}_{z\ell}}{Z_c} \quad \text{Campo Magnético en Zona Lejana}$$

$$\bar{S} = \bar{E} \times \bar{H}^* \quad \text{Vector de Poynting}$$

Donde:

$$V_o = \sqrt{\frac{Z_c G_i P_e}{2\pi}}$$

$$V_o = \sqrt{\frac{Z_c G_i R_a}{4\pi}} I_a = \Re_0 I_a = \sqrt{\frac{Z_c G_i g_a}{4\pi}} V_a$$

$$V_o = \sqrt{\frac{Z_c G_i P_e^+ (1 - |\Gamma_a|^2)}{2\pi}}$$

Z_c = Impedancia del Vacío = $120\pi\Omega = 377\Omega$

G_i = Ganancia de la Antena con respecto al Isotrópico

P_e = Potencia activa en la Entrada de la Antena

g_a = Resistencia (conductancia) equivalente de la entrada de la Antena

Γ_a = Coeficiente de reflexión de la entrada de la Antena

I_a = Corriente Total a la entrada del Sistema

El Diagrama de Radiación es uno de los Parámetros mas importantes de un sistema emisor y determina la forma de distribución angular del campo electromagnético radiado en la zona lejana

Se define como:

$$F(\theta, \phi) = \frac{|\bar{E}_{Zl}(r, \theta, \phi)|}{|\bar{E}_{Zl_{\max}}(r, \theta_0, \phi_0)|}$$

Y pueden ser representadas de distintas formas:

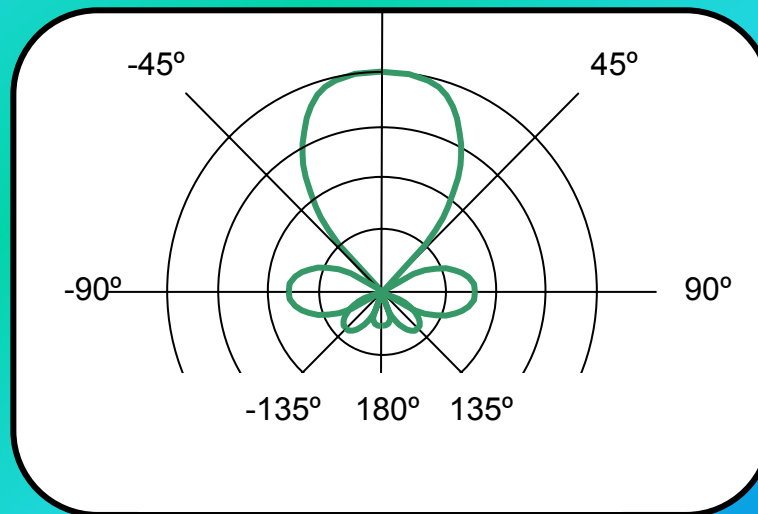
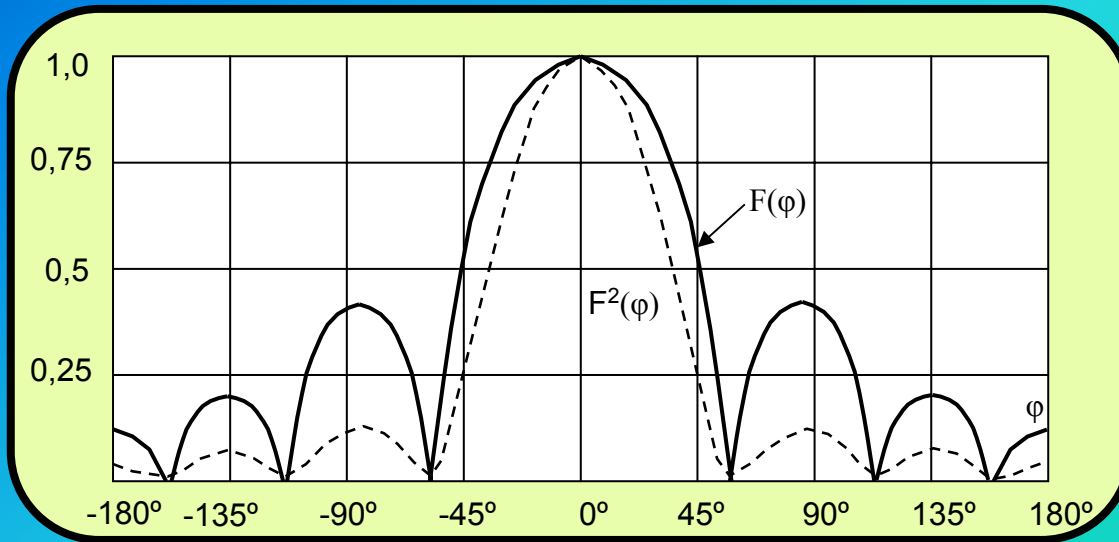
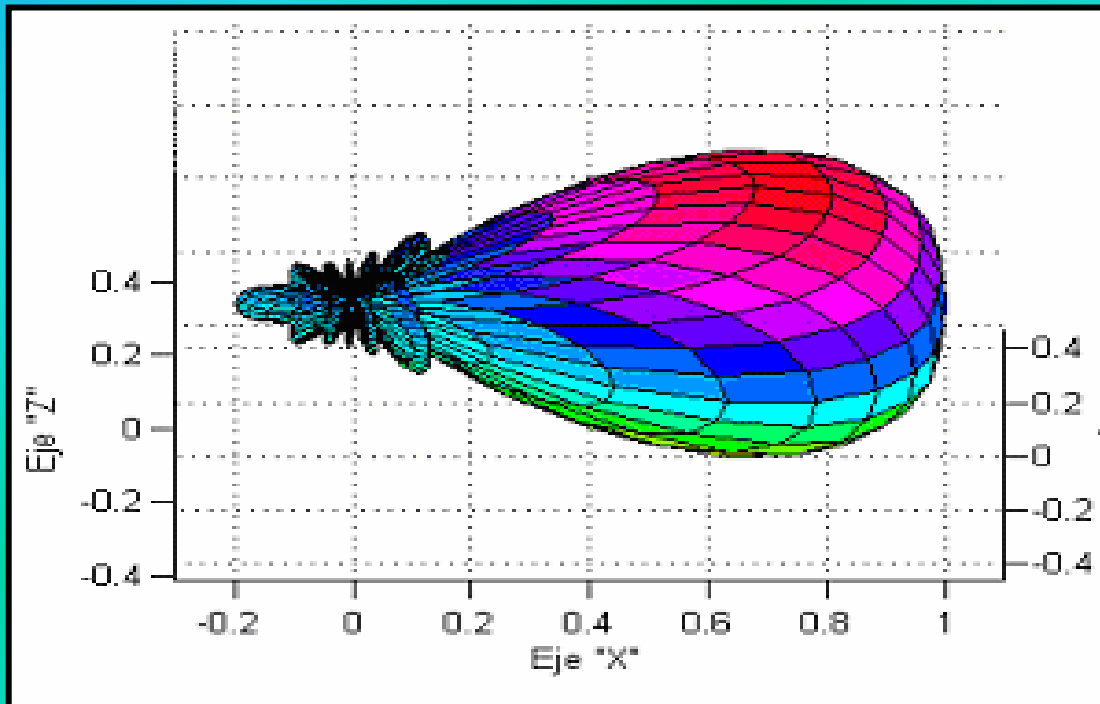


Diagrama Polar



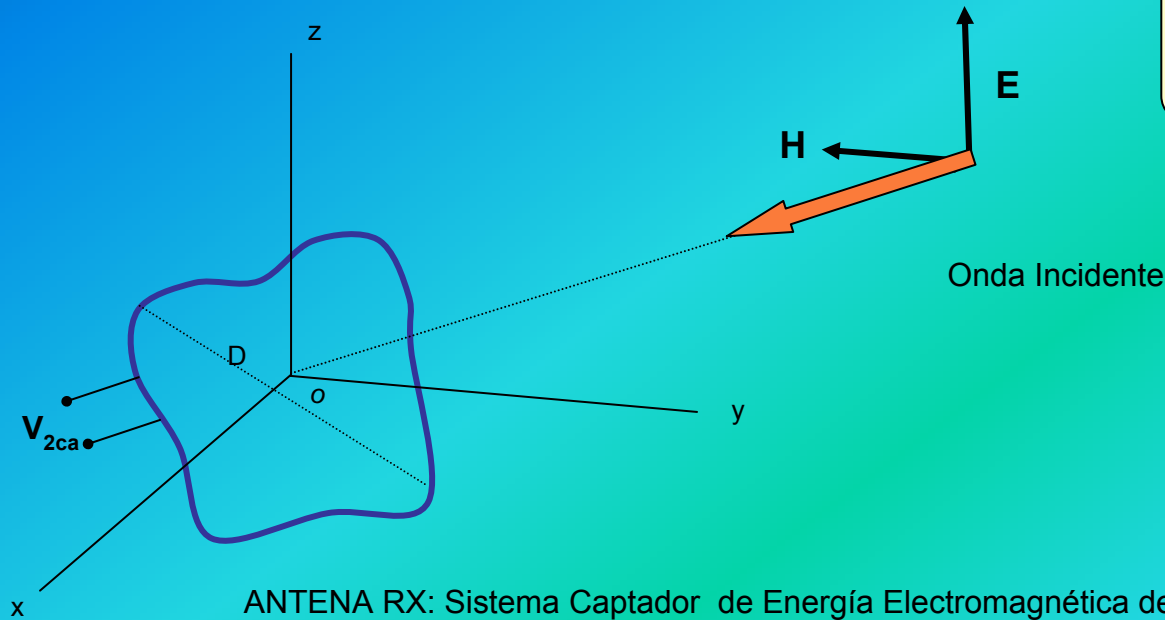
Cartesiano



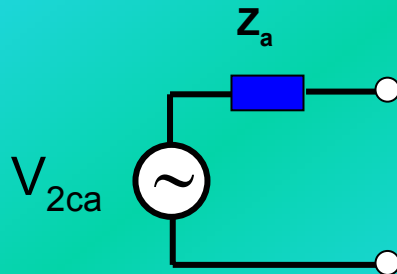
3D

CONCEPTOS BASICOS DE ANTENAS RECEPTORAS (RX)

Régimen de Recepción
(RX)



ANTENA RX: Sistema Captador de Energía Electromagnética de forma arbitraria



$$V_{2ca} = -\frac{1}{I_{2e}} \int_v \bar{J}_2(\bar{r}') \circ \bar{E}_{01} dv$$

TENSIÓN INDUCIDA EN LOS TERMINALES DE UNA ANTENA RX (ZONA LEJANA)

$$V_{2ca} = U_0 F_2(\theta_{02}, \phi_{02}) \bar{E}_{10}(r_0, \theta_{01}, \phi_{01}) \circ \bar{p}_2(\theta_{02}, \phi_{02})$$

$$V_{2ca} = U \frac{e^{-jkr_0}}{r_0} F_1(\theta_{01}, \phi_{01}) F_2(\theta_{02}, \phi_{02}) \bar{p}_1(\theta_{01}, \phi_{01}) \circ \bar{p}_2(\theta_{02}, \phi_{02})$$

Donde:

$$U_0 = -j \frac{\lambda}{\sqrt{\pi Z_c}} \sqrt{G_{2i} R_{a2}}$$

$$U = -j \frac{\lambda e^{j\psi_{a1}}}{\pi \sqrt{2}} \sqrt{G_{1i} R_{a1} G_{2i} R_{a2}}$$

Siendo:

- \mathbf{I}_{2e} y $\mathbf{J}_2(\mathbf{r}_2)$: La corriente de entrada y la densidad de corriente de la antena 2 cuando esta se usa como TX
- \mathbf{E}_{10} : Campo eléctrico incidente a la antena RX
- $F_1(\cdot)$, $F_2(\cdot)$, $\mathbf{p}_1(\cdot)$, $\mathbf{p}_2(\cdot)$: Diagramas de Radiación y vectores de polarización de las antenas 1 y 2 resp.
- G_{1i} , G_{2i} , R_{a1} , R_{a2} : Ganancias y resistencias de las antenas 1 y 2 respectivamente

POTENCIA RECIBIDA EN LOS TERMINALES DE UNA ANTENA RX (ZONA LEJANA)

$$P_{e2} = P_{e1} \left(\frac{\lambda}{4\pi r_0} \right)^2 G_{1i} G_{2i} F^2_1(\theta_{01}, \phi_{01}) F^2_2(\theta_{02}, \phi_{02}) \tau^2 M_z$$

Donde:

Las pérdidas por desadaptación en la polarización vienen dadas por:

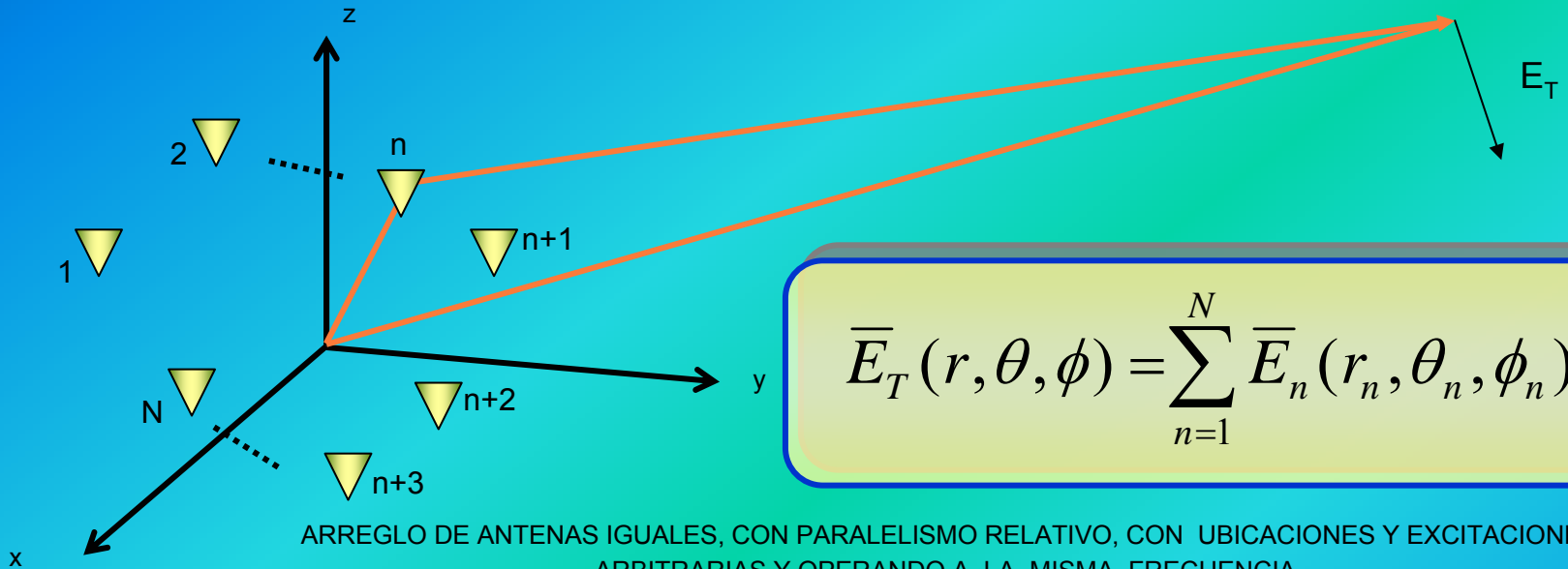
$$\tau^2 = (\bar{p}_1(\theta_{01}, \phi_{01}) \circ \bar{p}_2(\theta_{02}, \phi_{02}))^2$$

y las pérdidas por desadaptación de impedancia conjugada vienen dadas por:

$$M_z = \frac{(1 - |\Gamma_e|^2)(1 - |\Gamma_{a2}|^2)}{|1 - \Gamma_e \Gamma_{a2}|^2}$$

Siendo Γ_e y Γ_{a2} Los coeficientes de reflexión de la carga y de la antena

CONCEPTOS BASICOS DE ARREGLOS DE ANTENAS TX



$$\bar{E}_T(r, \theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \bar{E}_n(r_n, \theta_n, \phi_n)$$

Este campo total se reduce a la siguiente expresión, conocida como Teorema de la Multiplicación de Diagramas: (despreciando el acoplamiento inter-elementos, ó asumiendo antenas de dispersión mínima)

$$\bar{E}_T(r, \theta, \phi) = \bar{E}_{AB1}(r, \theta, \phi) \cdot FA(\theta, \phi)$$

Donde \mathbf{E}_{AB1} , se puede interpretar como el campo radiado por la antena base centrada en el origen del sistema de referencia y con corriente de excitación unitaria, es decir:

$$\bar{\mathbf{E}}_{AB1}(r, \theta, \phi) = 1 \cdot \Re_0 \left(\frac{e^{-jkr}}{r} \right) F(\theta, \phi) \bar{p}(\theta, \phi)$$

Por otra parte: $FA(\theta, \phi)$, es el Factor de Arreglo del sistema que viene dado por :

$$FA(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} \hat{I}_n e^{jk \bar{r}_{0n} \circ \bar{a}_r}$$

En la cual I_n representa la corriente de excitación (amplitud y fase) del enésimo elemento del arreglo, y \mathbf{r}_{0n} es el vector posición del centro del enésimo elemento del arreglo. \mathbf{a}_r es el vector unitario radial dirigido hacia el punto de observación

En estas expresiones se evidencia el clásico concepto de antenas, que el **CAMPO ELECTROMAGNETICO PRODUCIDO POR CUALQUIER SISTEMA RADIANTE QUEDA UNIVOCAMENTE DETERMINADO POR SU GEOMETRIA Y SU EXCITACIÓN**

CLASIFICACION DE LOS ARREGLOS:

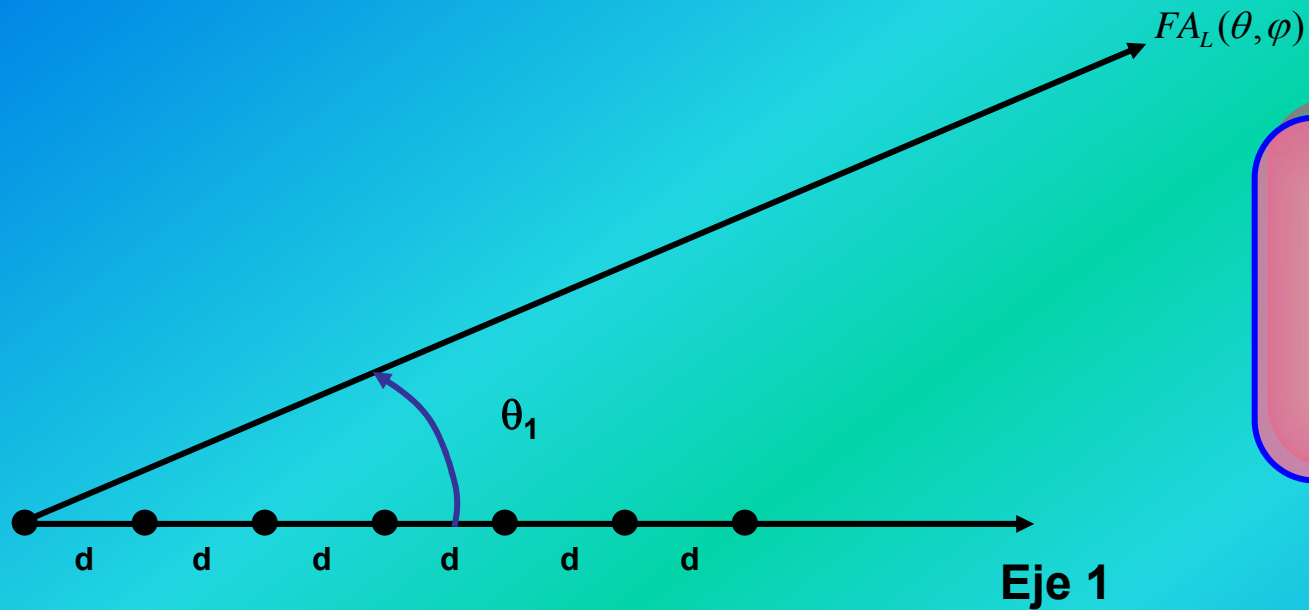
POR SU GEOMETRIA

- LINEALES
- PLANARES
- VOLUMETRICOS

POR SU EXCITACION

- UNIFORMES
- BINOMIALES
- TCHEVICHEV
- SCHELKUNOFF (CEROS)
- FOURIER
- COSENO-PEDESTAL
- ETC...

ARREGLOS LINEALES CON SEPARACION CONSTANTE



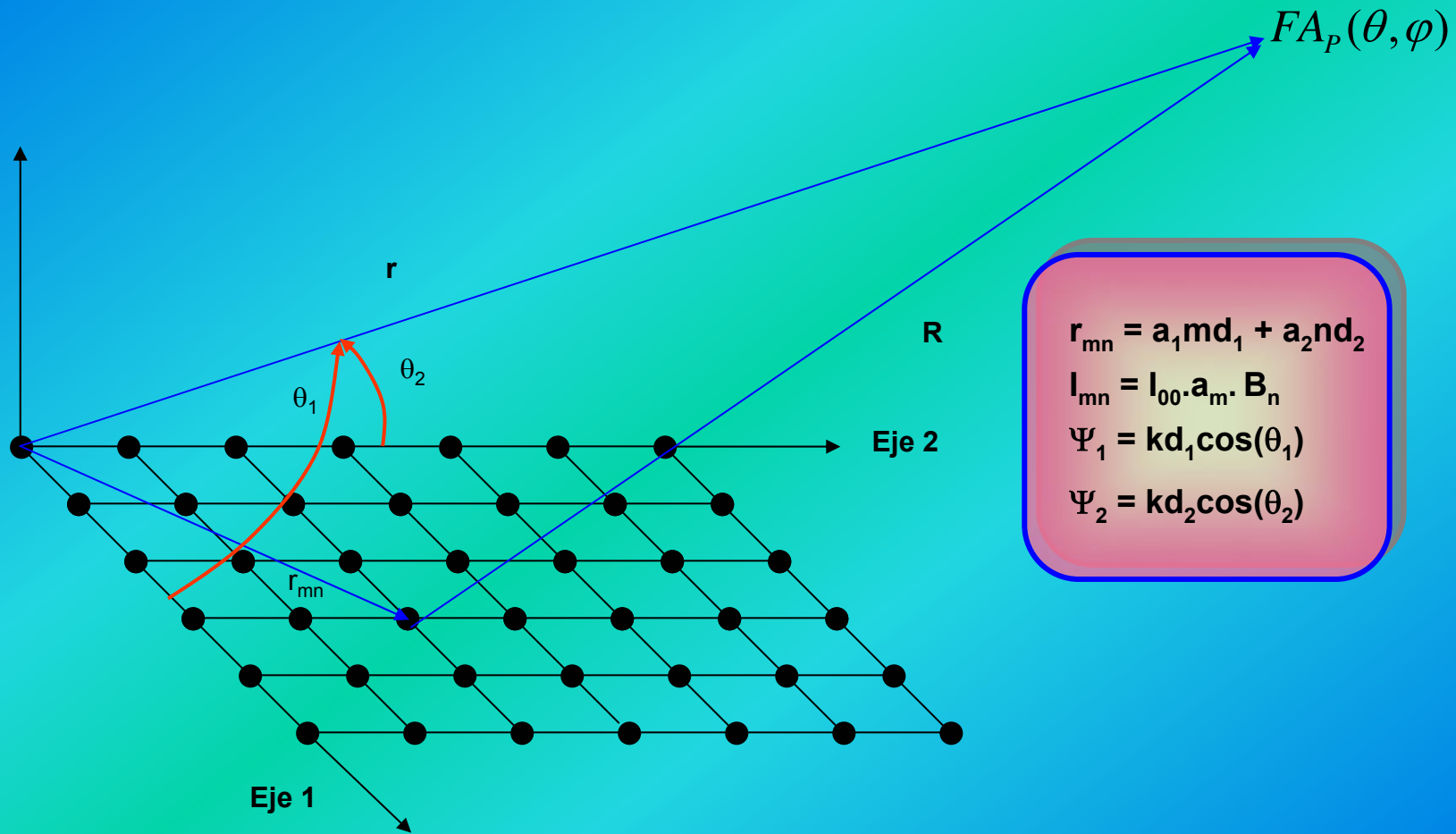
$$r_{mn} = a_1 m d_1$$

$$I_{mn} = I_0 \cdot a_m$$

$$\Psi_1 = kd_1 \cos(\theta_1)$$

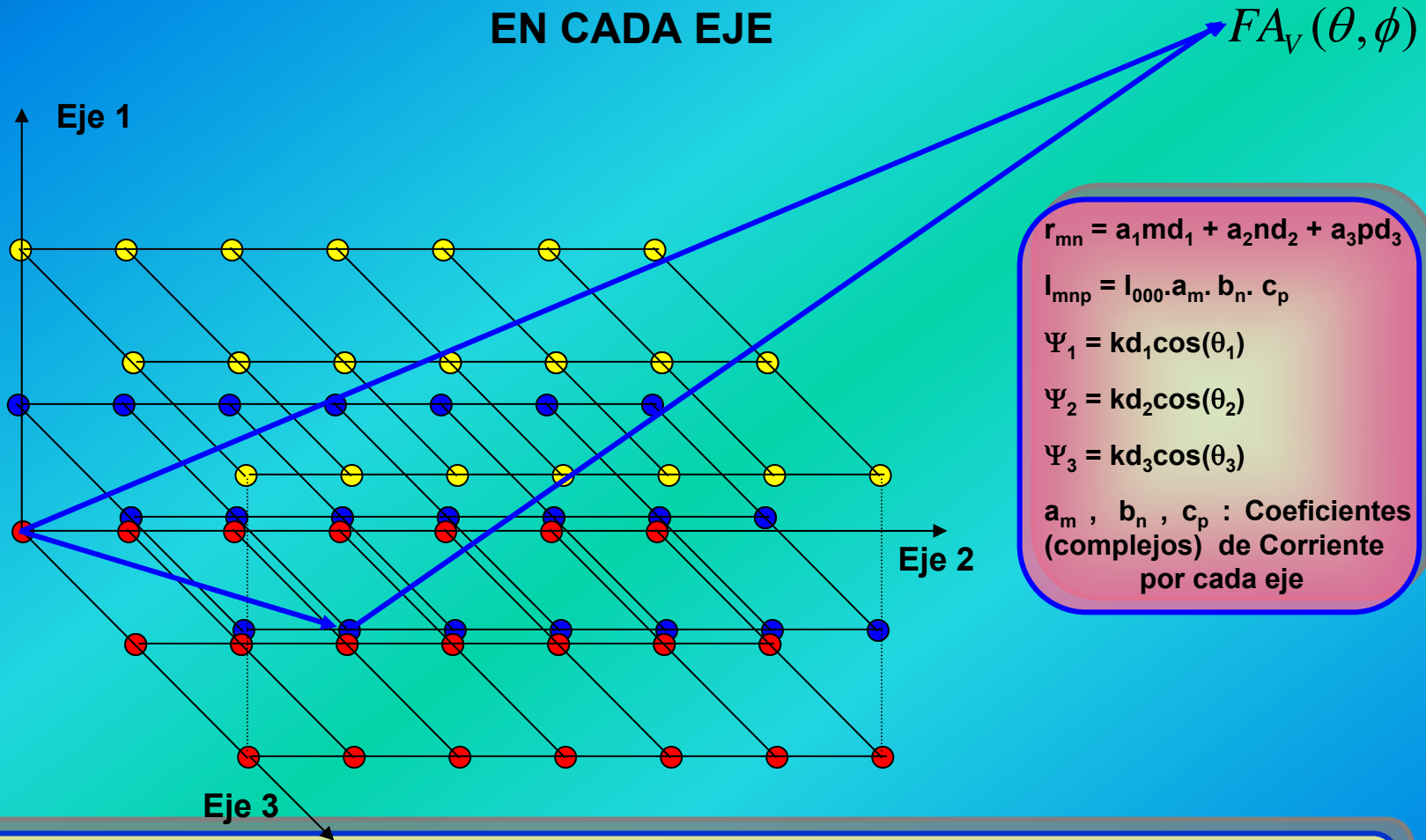
$$FA_L(\theta, \phi) = I_0 \left(\sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmk\psi_1} \right) = I_0 FA_1(\theta_1)$$

ARREGLOS PLANARES CON SEPARACION CONSTANTE EN CADA EJE



$$FA_P(\theta, \phi) = I_{00} \left(\sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmk\psi_1} \right) \left(\sum_{n=0}^{N-1} b_n e^{nk\psi_2} \right) = I_{00} FA_1(\theta_1) * FA_2(\theta_2)$$

ARREGLOS VOLUMETRICOS CON SEPARACION CONSTANTE EN CADA EJE



$$r_{mn} = a_1 m d_1 + a_2 n d_2 + a_3 p d_3$$

$$I_{mnp} = I_{000} \cdot a_m \cdot b_n \cdot c_p$$

$$\Psi_1 = k d_1 \cos(\theta_1)$$

$$\Psi_2 = k d_2 \cos(\theta_2)$$

$$\Psi_3 = k d_3 \cos(\theta_3)$$

a_m , b_n , c_p : Coeficientes (complejos) de Corriente por cada eje

$$FA_V(\theta, \phi) = I_{000} FA_1(\theta_1) * FA_2(\theta_2) * FA_3(\theta_3)$$

$$FA_1(\theta_1) = \sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmk\psi_1}$$

$$FA_2(\theta_2) = \sum_{n=0}^{N-1} b_n e^{jnk\psi_2}$$

$$FA_3(\theta_3) = \sum_{p=0}^{P-1} c_p e^{jpk\psi_3}$$

CAMPO TOTAL PARA ARREGLOS LINEALES:

$$\bar{E}_T(r, \theta, \phi) = \bar{E}_{AB1} \left(\sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmk\psi_1} \right)$$

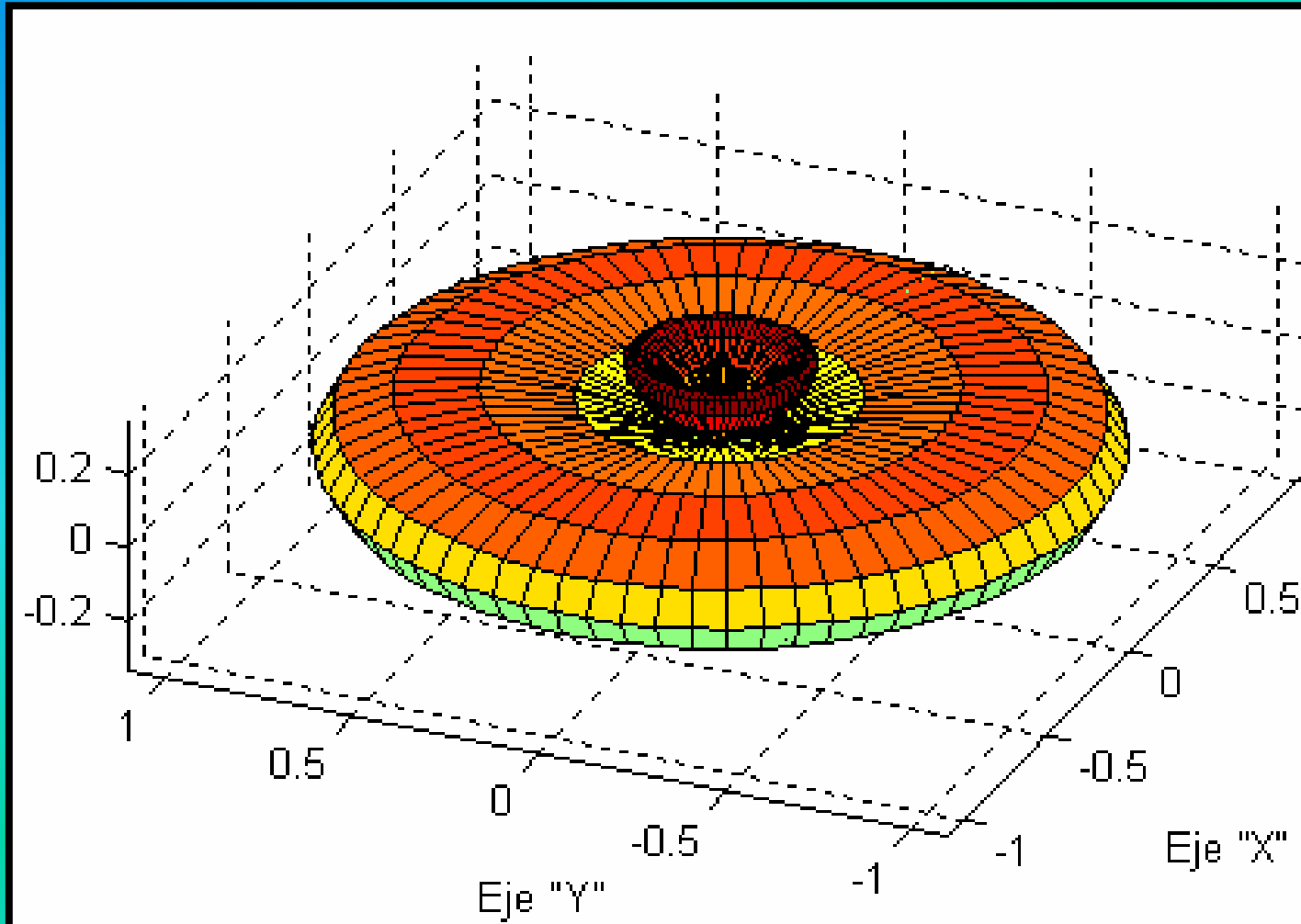
CAMPO TOTAL PARA ARREGLOS PLANARES:

$$\bar{E}_T(r, \theta, \phi) = \bar{E}_{AB1} \left(\sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmk\psi_1} \right) \left(\sum_{n=0}^{N-1} b_n e^{jnk\psi_2} \right)$$

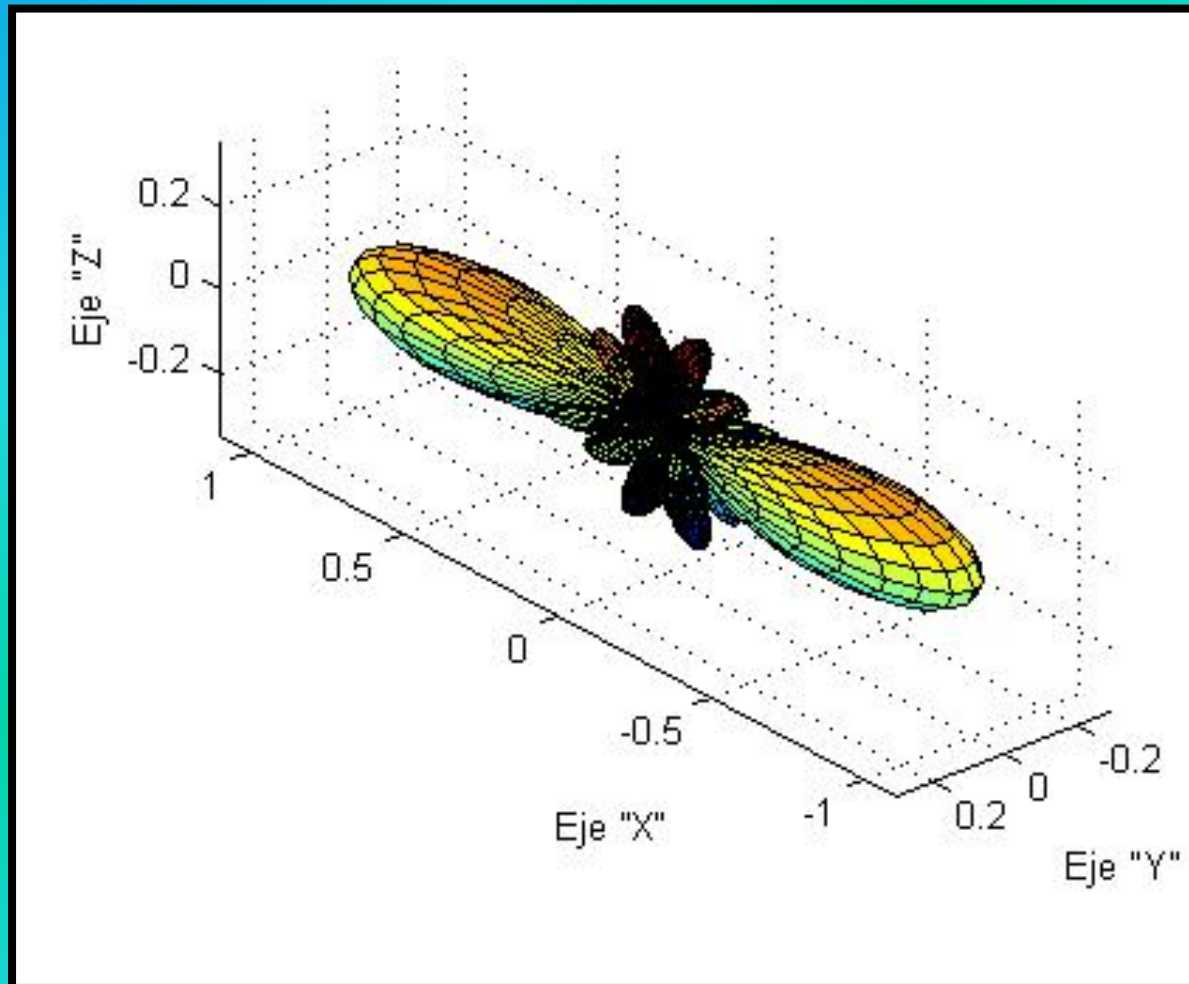
CAMPO TOTAL PARA ARREGLOS VOLUMETRICOS:

$$\bar{E}_T(r, \theta, \phi) = \bar{E}_{AB1} \left(\sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmk\psi_1} \right) \left(\sum_{n=0}^{N-1} b_n e^{jnk\psi_2} \right) \left(\sum_{p=0}^{P-1} c_p e^{jpk\psi_3} \right)$$

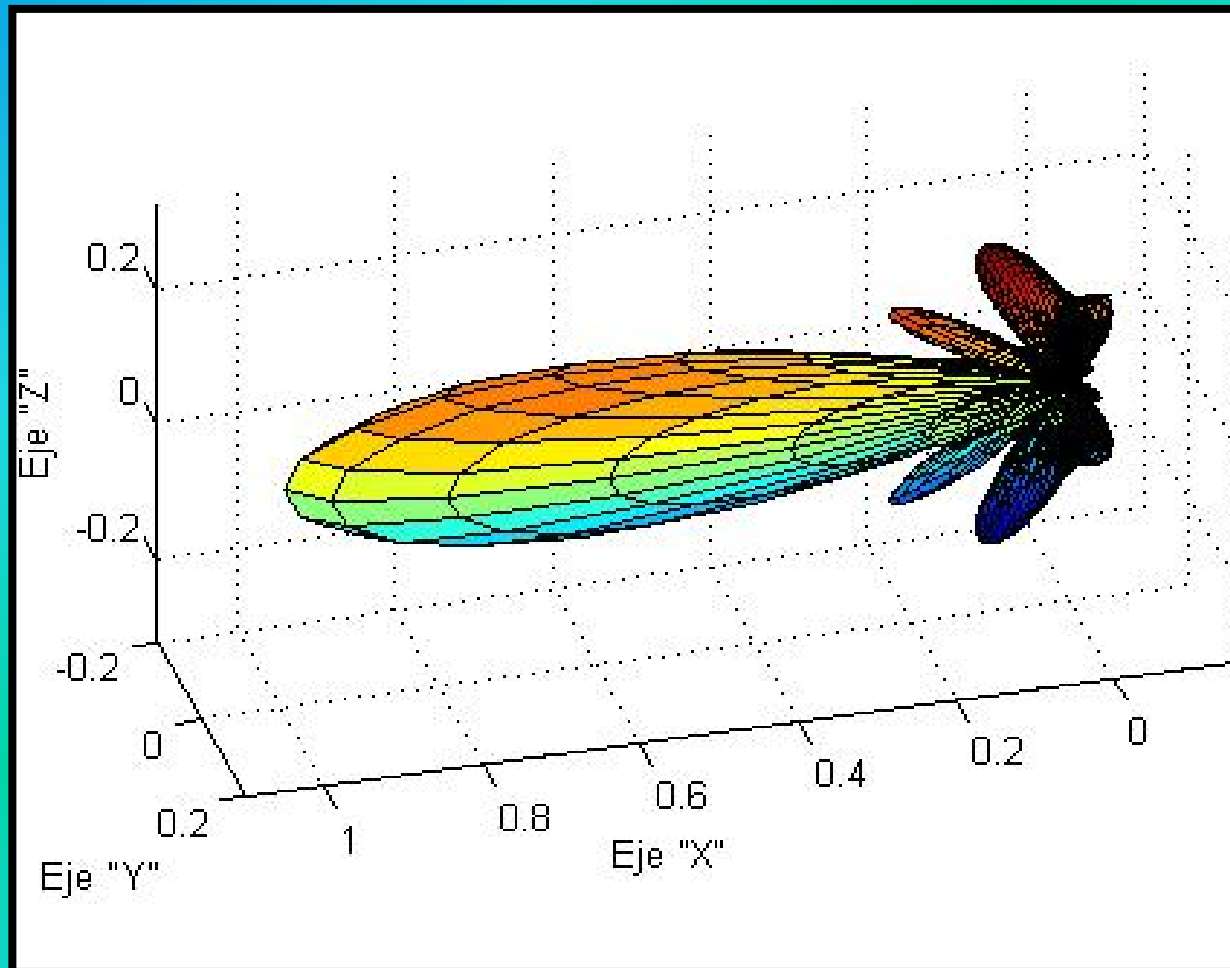
El $FA(.)$ de un arreglo lineal depende solamente de una variable angular : el ángulo cónico θ_1 medido con respecto al eje del arreglo, de allí que su gráfico 3D, sea un sólido de revolución con respecto al eje del arreglo. Un diagrama típico del $FA(.)$ lineal, se muestra en la figura anexa:



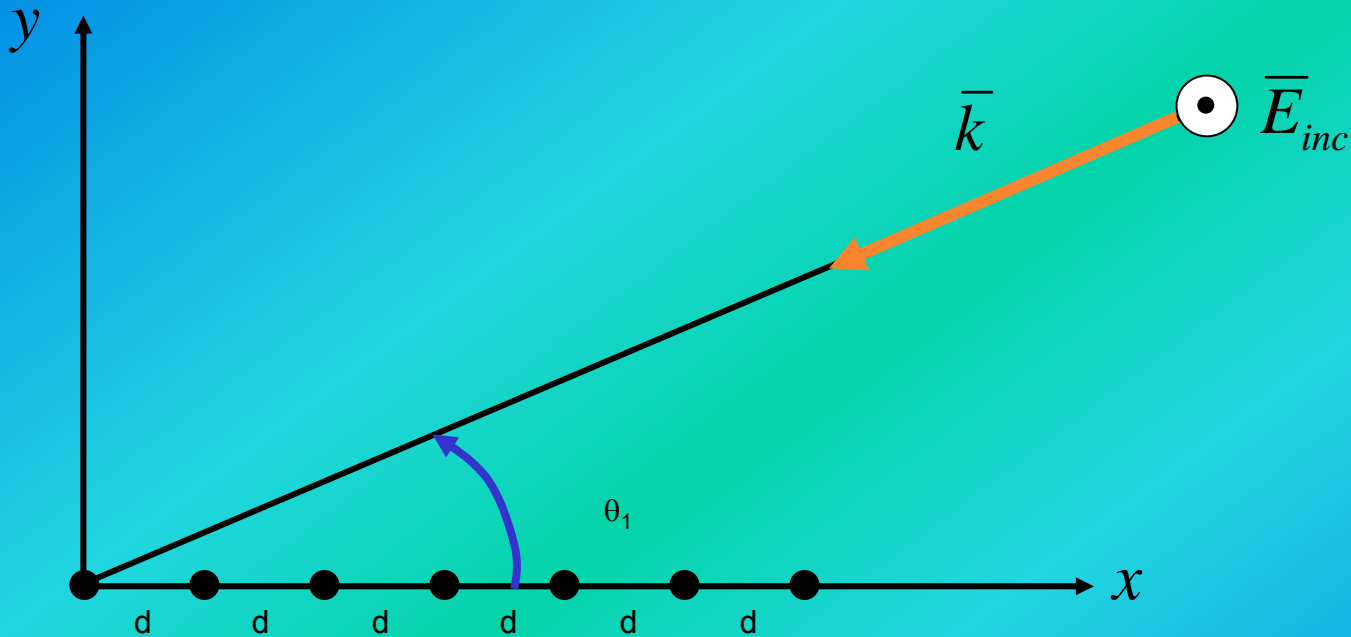
Por su parte el FA(.) de un arreglo planar depende de dos variables angulares : los ángulos cónico (θ_1, θ_2) medido con respecto a los ejes 1 y 2 del arreglo, de allí que su gráfico 3D, sea un sólido simétrico con respecto al plano del arreglo. Un diagrama típico del FA(.) planar, se muestra en la figura anexa:



Finalmente el $FA(.)$ de un arreglo volumétrico depende de tres variables angulares : los ángulos cónico ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) medido con respecto a los ejes 1 , 2 y 3 del arreglo, de allí que su gráfico 3D, sea un sólido mono haz de tendencia pencilada. Un diagrama típico del $FA(.)$ volumétrico, se muestra en la figura anexa:



RECEPCION DE UNA ONDA PLANA QUE INCIDE SEGÚN UN ANGULO $\theta_1 = \phi$ SOBRE UN ARREGLO LINEAL UNIFORME



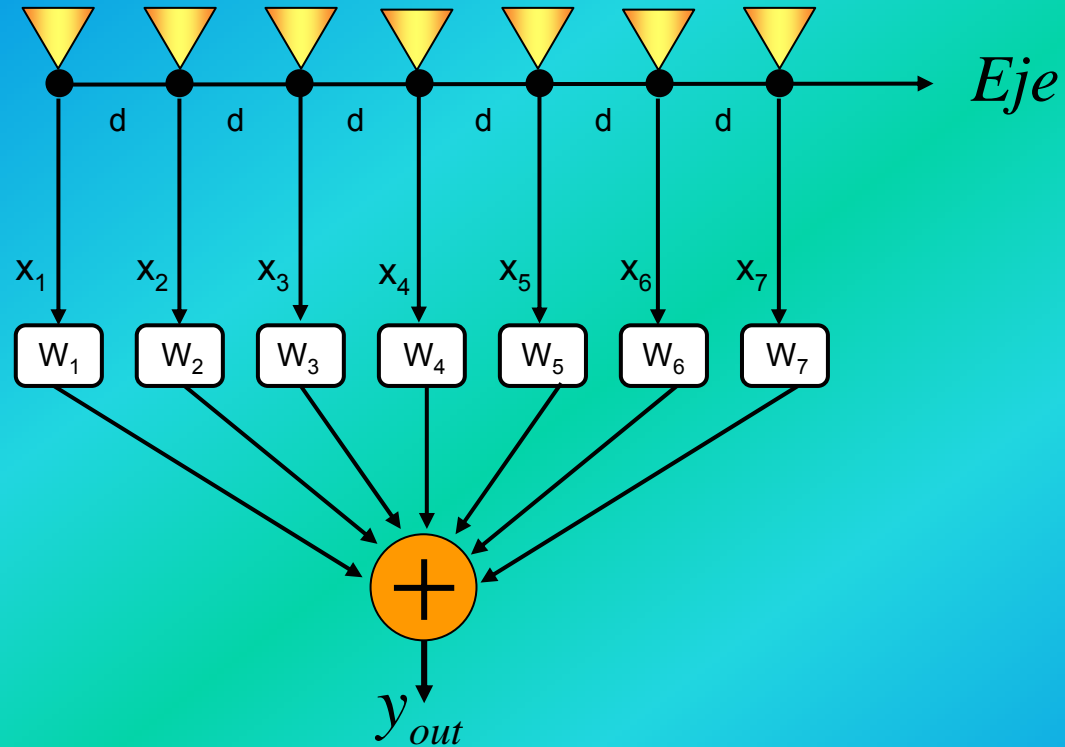
$$\bar{E}_{inc} = \bar{a}_z E_0 e^{-j\bar{k} \cdot \bar{r}_1}$$

$$\bar{k} = \bar{a}_x k_x + \bar{a}_y k_y$$

$$\bar{r} = \bar{a}_x x + \bar{a}_y y + \bar{a}_z z$$

$$\bar{E}_{inc} = \bar{a}_z E_0 \exp[jk(x \cdot \cos \phi + y \cdot \sin \phi)] \quad \bar{k} = \bar{a}_k k \quad \bar{H} = (\bar{a}_k \times \bar{E}) / Z_c$$

ARREGLO DE ANTENA RECEPTORA CON MATRIZ DE PESOS



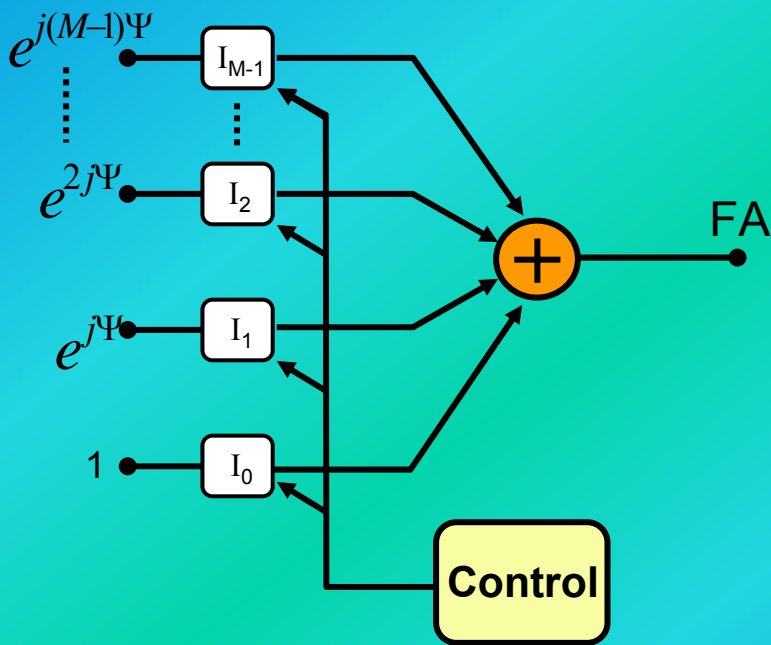
$$V_{2ca} = U_0 F_2(\theta_{02}, \phi_{02}) \bar{E}_{inc}(r_0, \theta_{01}, \phi_{01}) \circ \bar{p}_2(\theta_{02}, \phi_{02}) \Rightarrow V_m(\phi) = U_0 F_2 E_0 e^{jmkd \cos \phi}$$

$$y_{out} = \sum_{m=1}^M w_m x_m ; \text{ con } x_m = U E_0 e^{jmkd \cos \phi} \Rightarrow y_{out} = U E_0 \sum_{m=1}^M w_m e^{jmkd \cos \phi}$$

Se observa una perfecta analogía con el Factor de Arreglo del mismo sistema cuando éste opera en el régimen de transmisión (Teorema de la Reciprocidad de Lorentz)

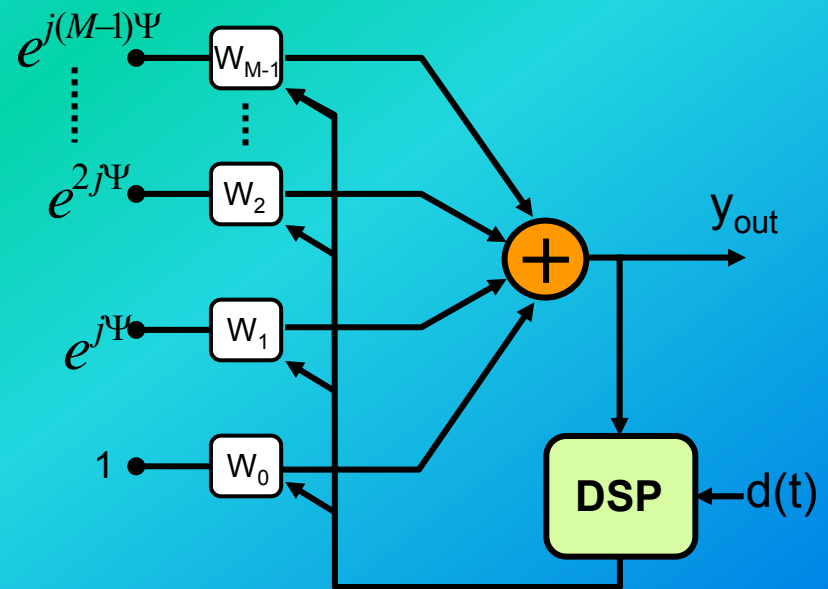
$$FA_L(\theta, \phi) = \sum_{m=1}^M I_m e^{jmkd \cos \phi}$$

$$y_{out} = \sum_{m=1}^M w_m e^{jmkd \cos \phi}$$



Transmisión (Tx)

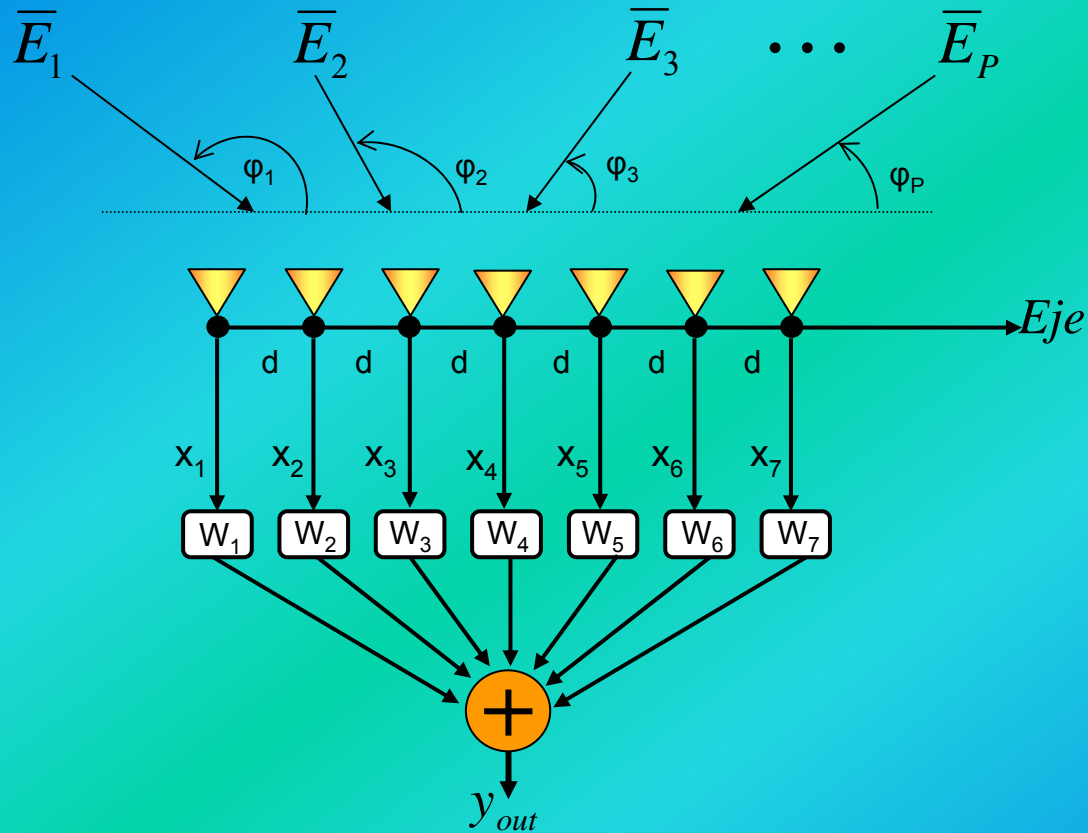
Modificando las corrientes convenientemente, se logran modificaciones del FA



Recepción (Rx)

Modificando los pesos convenientemente, se logran modificaciones de $y(t)$

CASO DE MULTIPLES SEÑALES INCIDENTES: Si existen "P" campos incidiendo sobre el arreglo con distintos ángulos de arribo ϕ_p (para $p= 1, 2, 3, \dots, P$), entonces la salida general del arreglo RX será:



$$x_m = U \sum_{p=1}^P E_p e^{jmkd \cos \phi_p} \quad \Rightarrow \quad y_{out} = \sum_{m=1}^M w_m x_m$$

$$y = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + w_4 x_4 + \dots + w_m x_m + \dots + w_M x_M$$

EJEMPLO ILUSTRATIVO DE FORMACION DE HAZ , CON UN SENCILLO ARREGLO LINEAL DE DOS ANTENAS (M=2), CUANDO LE INCIDEN DOS CAMPOS (P=2) :

Campo A $\rightarrow (E_A, \phi_A)$

Campo B $\rightarrow (E_B, \phi_B)$

$$x_m = U \sum_{p=1}^P E_p e^{jmkd \cos \phi_p} \quad \Rightarrow \quad y_{out} = U \sum_{m=0}^{M-1} w_m x_m$$

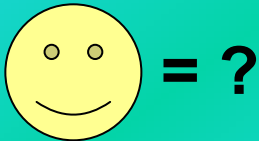
$$y_{out} = w_0 (E_A + E_B) + w_1 (E_A e^{j\psi_A} + E_B e^{j\psi_B})$$

$$y_{out} = \{w_0 E_A + w_1 E_A e^{j\psi_A}\} + \{w_0 E_B + w_1 E_B e^{j\psi_B}\}$$

Con:

$$\psi_A = kd \cos \phi_A$$

$$\psi_B = kd \cos \phi_B$$



¿Qué valores deberían tener los pesos para obtener cada señal separada **SIN QUE INTERFIERAN LA UNA SOBRE LA OTRA ? ? ?**

¿Qué valores deberían tener los pesos para obtener cada señal individual, SIN INTERFERENCIA MUTUA ENTRE ELLAS ? ? ? ? **CREO QUE RESULTAN 2 ECUACIONES CON 2 INCOGNITAS**



Para E_A

$$(w_0 E_B + w_1 E_B e^{j\psi_B}) = 0$$

$$w_0 E_A + w_1 E_A e^{j\psi_A} = 1$$

Efectivamente son 2 ec. con 2 incognitas. resultado $\rightarrow (W_{0A}, W_{1A})$



Para E_B

$$(w_0 E_A + w_1 E_A e^{j\psi_A}) = 0$$

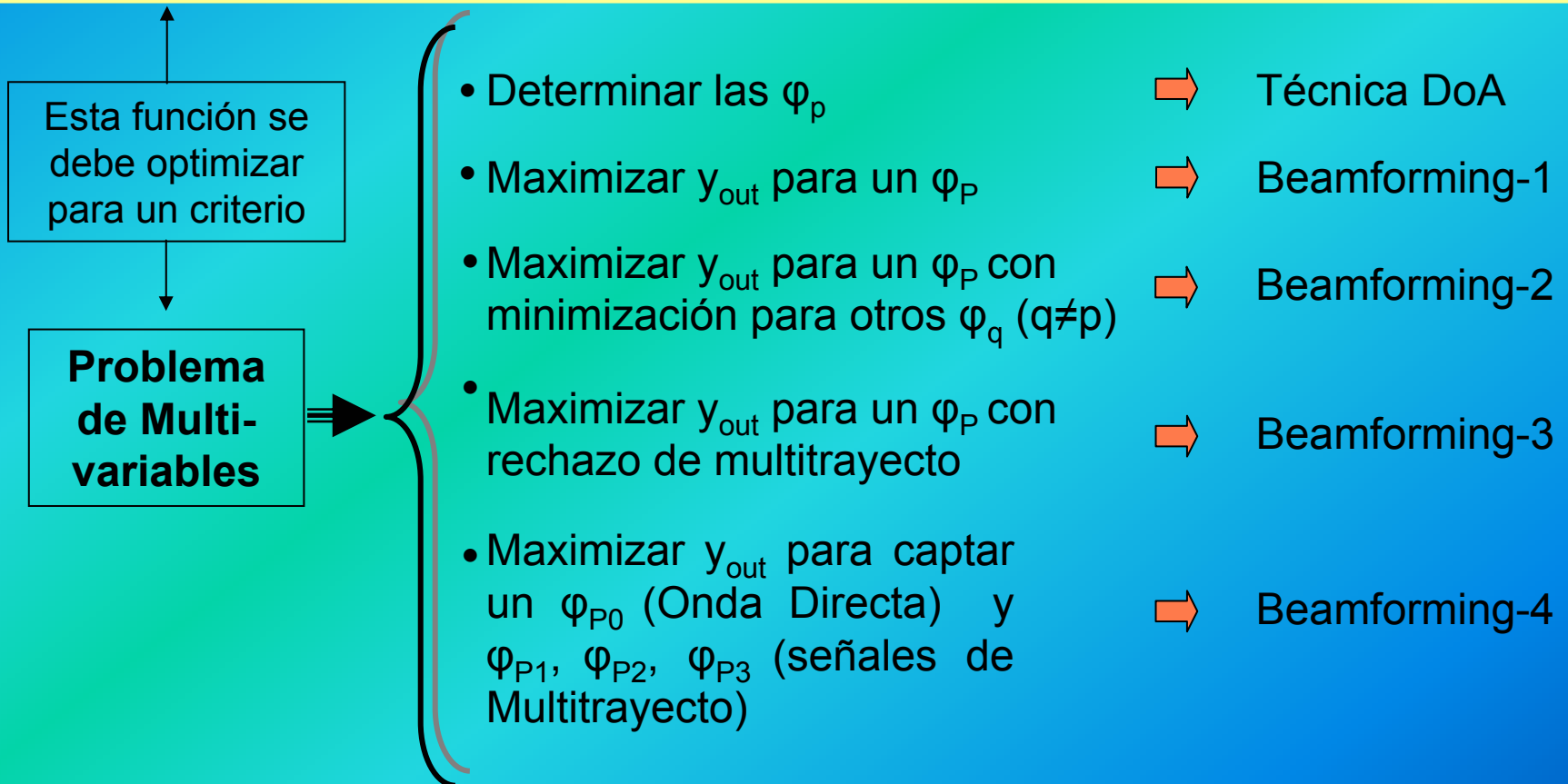
$$w_0 E_B + w_1 E_B e^{j\psi_B} = 1$$

Efectivamente son 2 ec. con 2 incognitas. resultado $\rightarrow (W_{0B}, W_{1B})$

FORMULACION GENERAL DEL PROBLEMA DE DIRECCION DE ARRIBO Y BEAMFORMING

Matemáticamente el problema de determinar la Dirección de arribo y la conformación de Haz se puede observar en la función de multi-variables que se presenta a continuación correspondiente a la salida de un sistema (y_{out})

$$y_{out} = f(w_1, w_2, w_3, \dots, w_M, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_P, E_1, E_2, \dots, E_P)$$



TIPOS DE ANTENAS INTELIGENTES

Los sistemas de Antenas inteligentes se clasifican en tres tipos

- **Haz Conmutado**

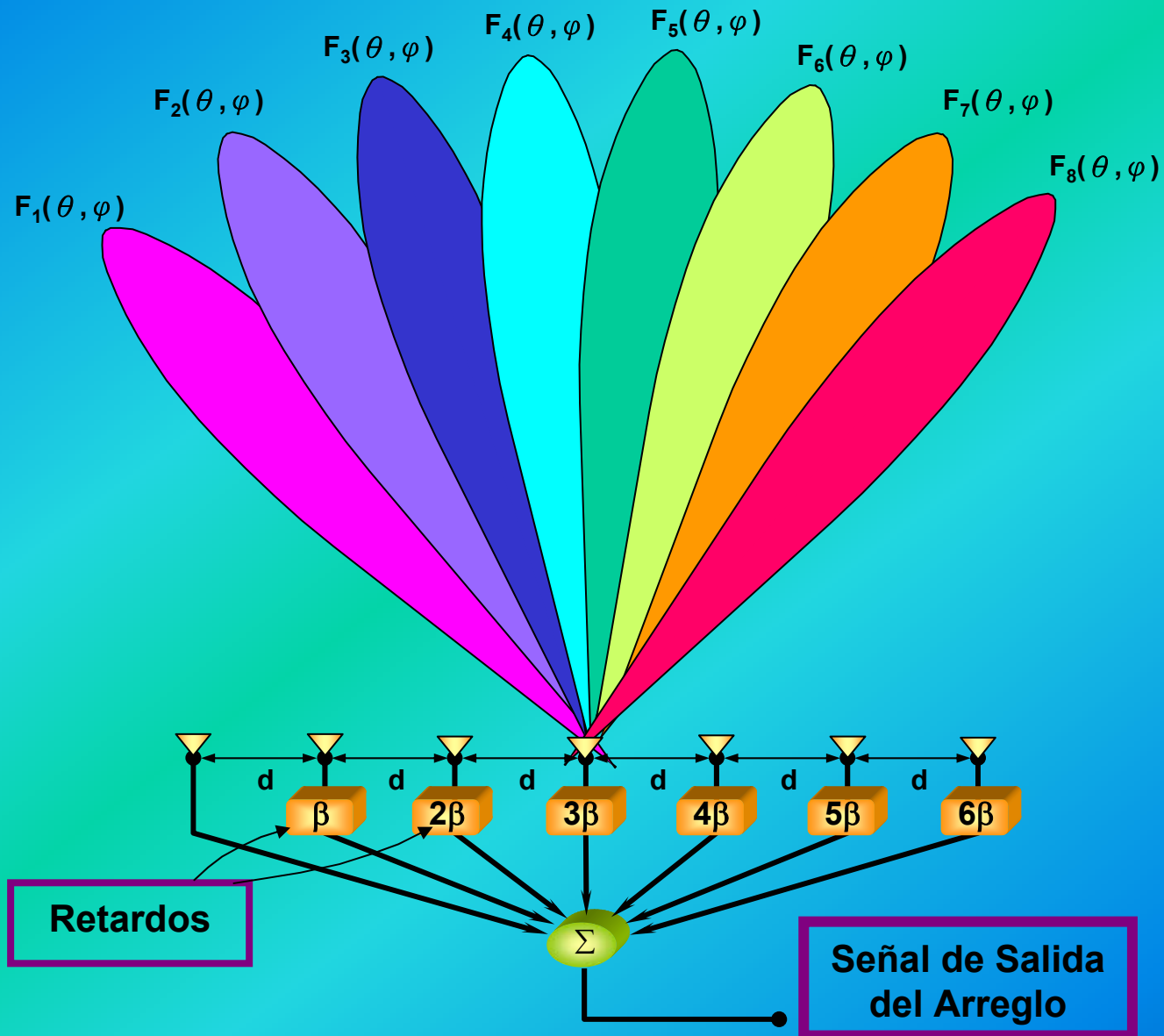
- **Haz de Seguimiento**

[DEMO1](#)

- **Haz Adaptativo**

[DEMO 2](#)

SISTEMA DE HAZ CONMUTADO



HAZ CONMUTADO (SWITCHED BEAM)

ES LA CONFIGURACION MAS SIMPLE DE ANTENAS INTELIGENTES

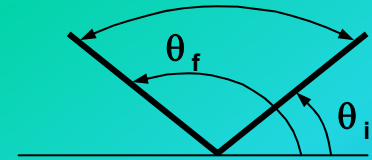
El sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente dando como resultando un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas. En cada posición discreta del haz se activa el sistema de recepción para detectar la posible existencia de señales. En caso de recibir señal, el sistema guarda información correspondiente a la posición del haz (ángulo + identificación de usuario) y se establece la comunicación con el usuario en un intervalo de tiempo. Después de este intervalo se conmuta al siguiente haz para detectar la existencia de otros posibles usuarios hasta llegar al límite angular de la zona de cobertura. Este proceso de repite permanentemente en el tiempo.

Programa de Control del Sistema de HAZ CONMUTADO

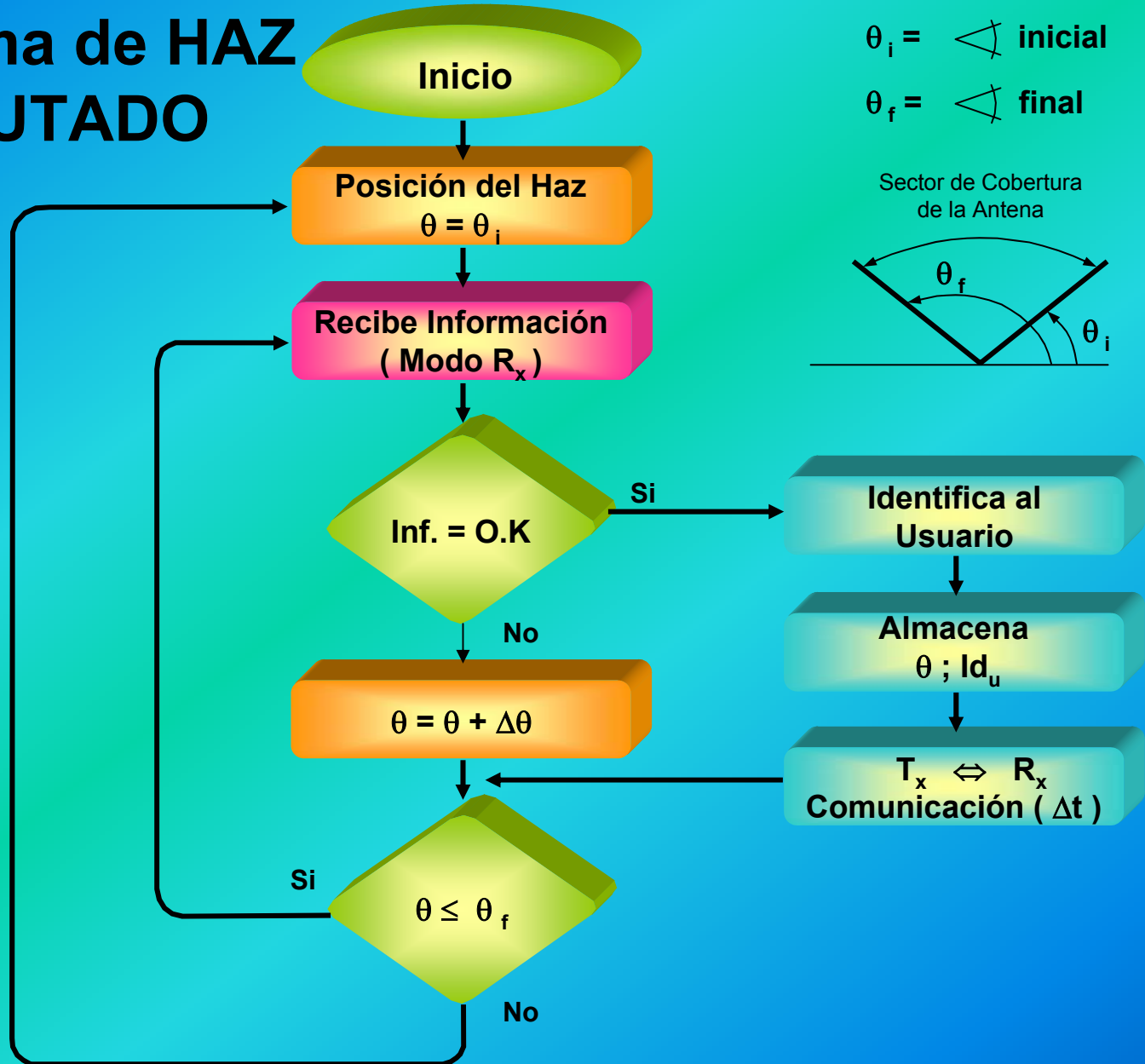
$\theta_i =$  inicial

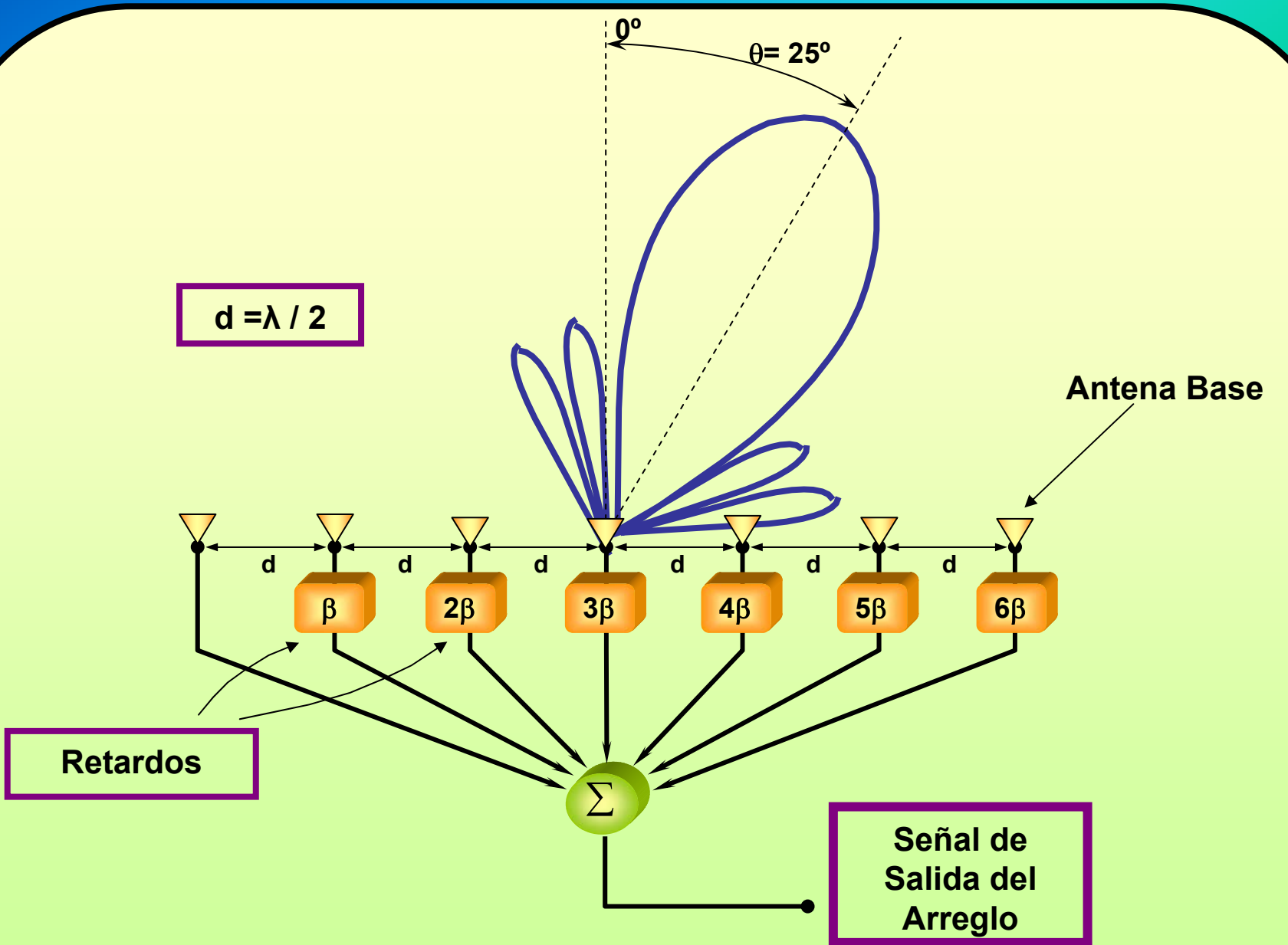
$\theta_f =$  final

Sector de Cobertura de la Antena



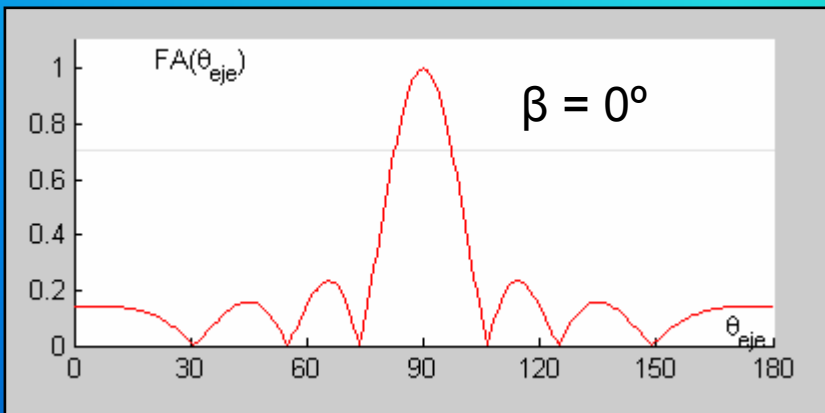
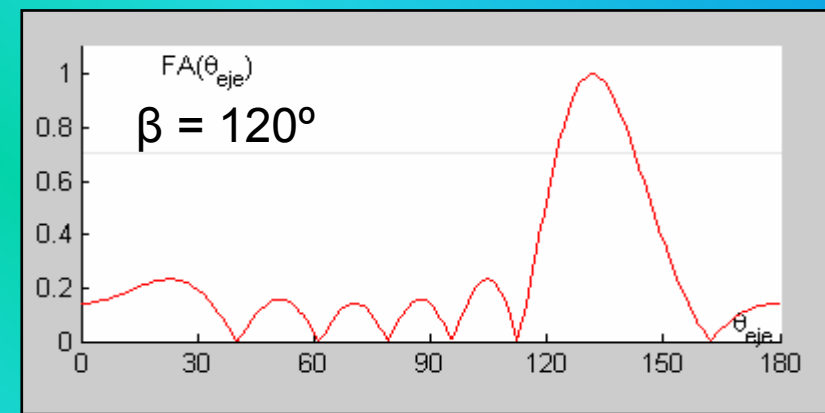
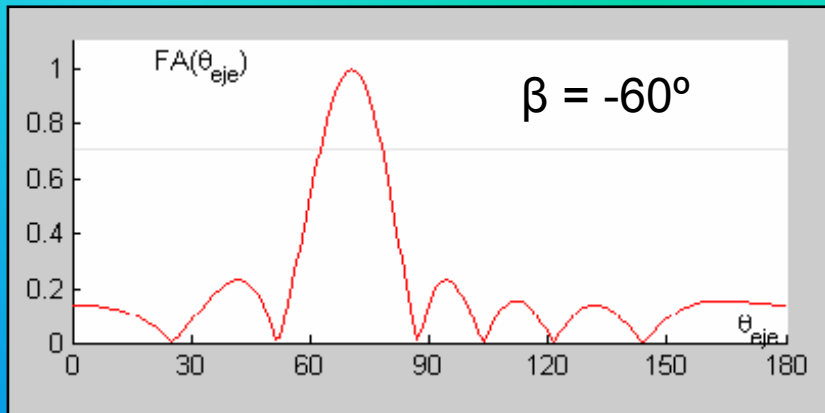
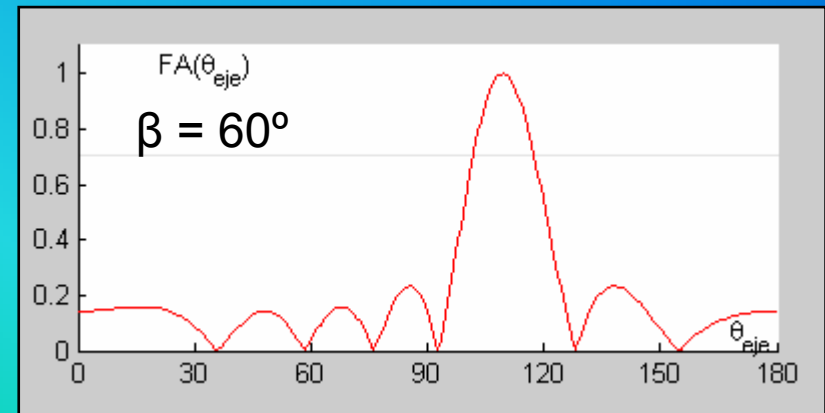
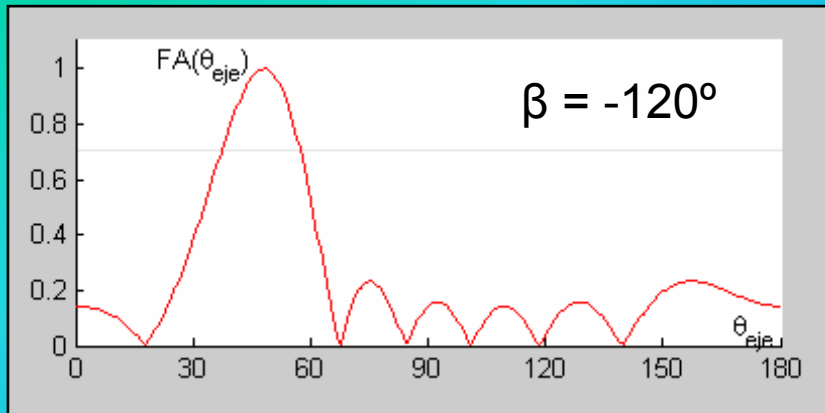
El tiempo de sampling T_s debe cumplir el Teorema de Nyquist





PATRON DE RADIACION DE UN ARREGLO LINEAL UNIFORME DE 7 ELEMENTOS : HAZ CONMUTADO

MOVIMIENTO DEL HAZ POR CAMBIOS DE FASE

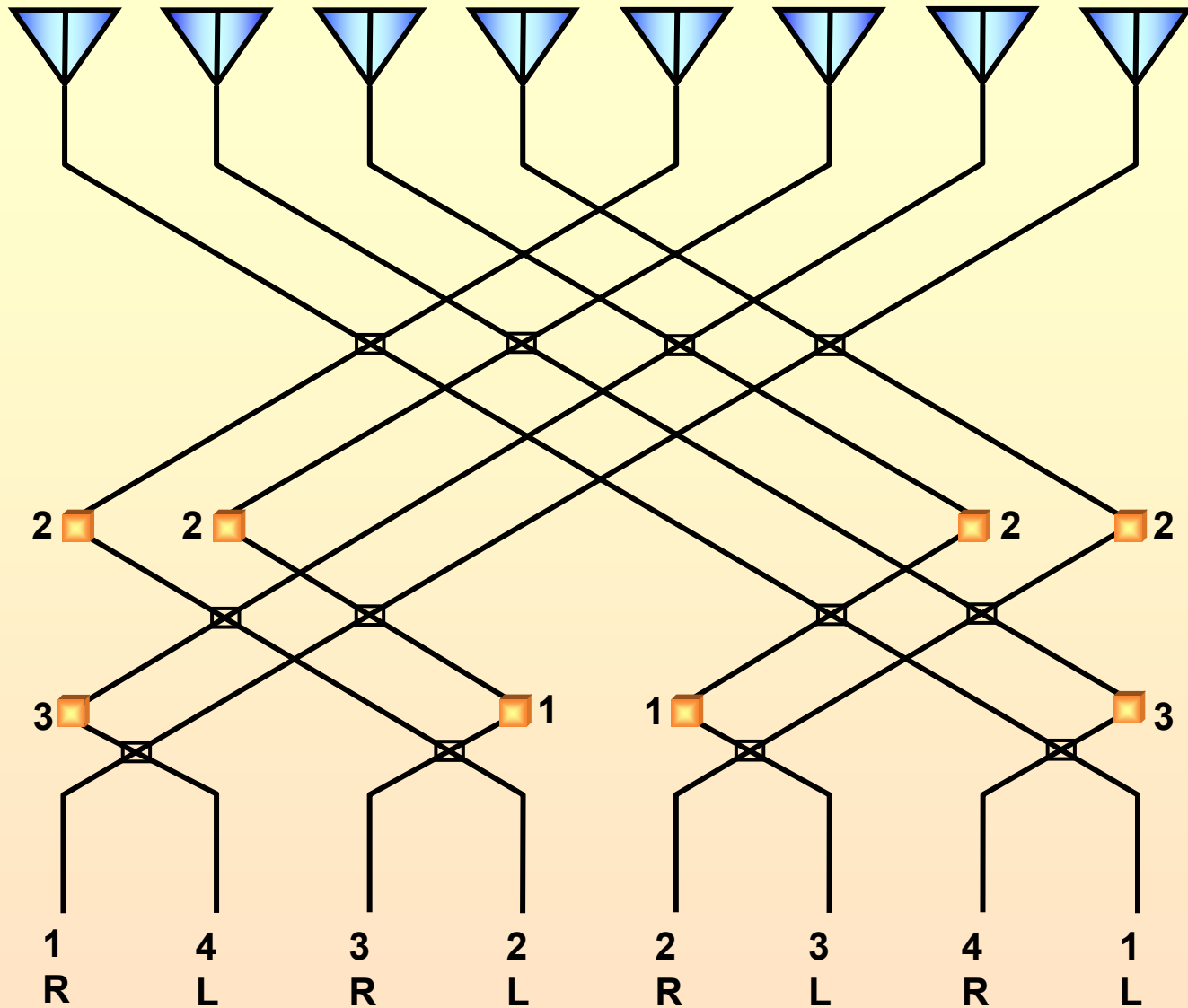


Gráficas obtenidas con el programa DISANT donde se observa el movimiento del Haz con un arreglo de 7 elementos separados en $\lambda/2$. Usando un β desde -120° a 120° se obtiene el posicionamiento del Haz desde 50° hasta 130° .

ANTENAS INTELIGENTES DE HAZ CONMUTADO

Elementos del Sistema de Haz Conmutado:

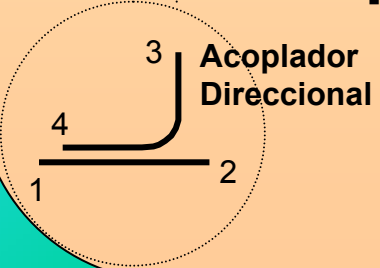
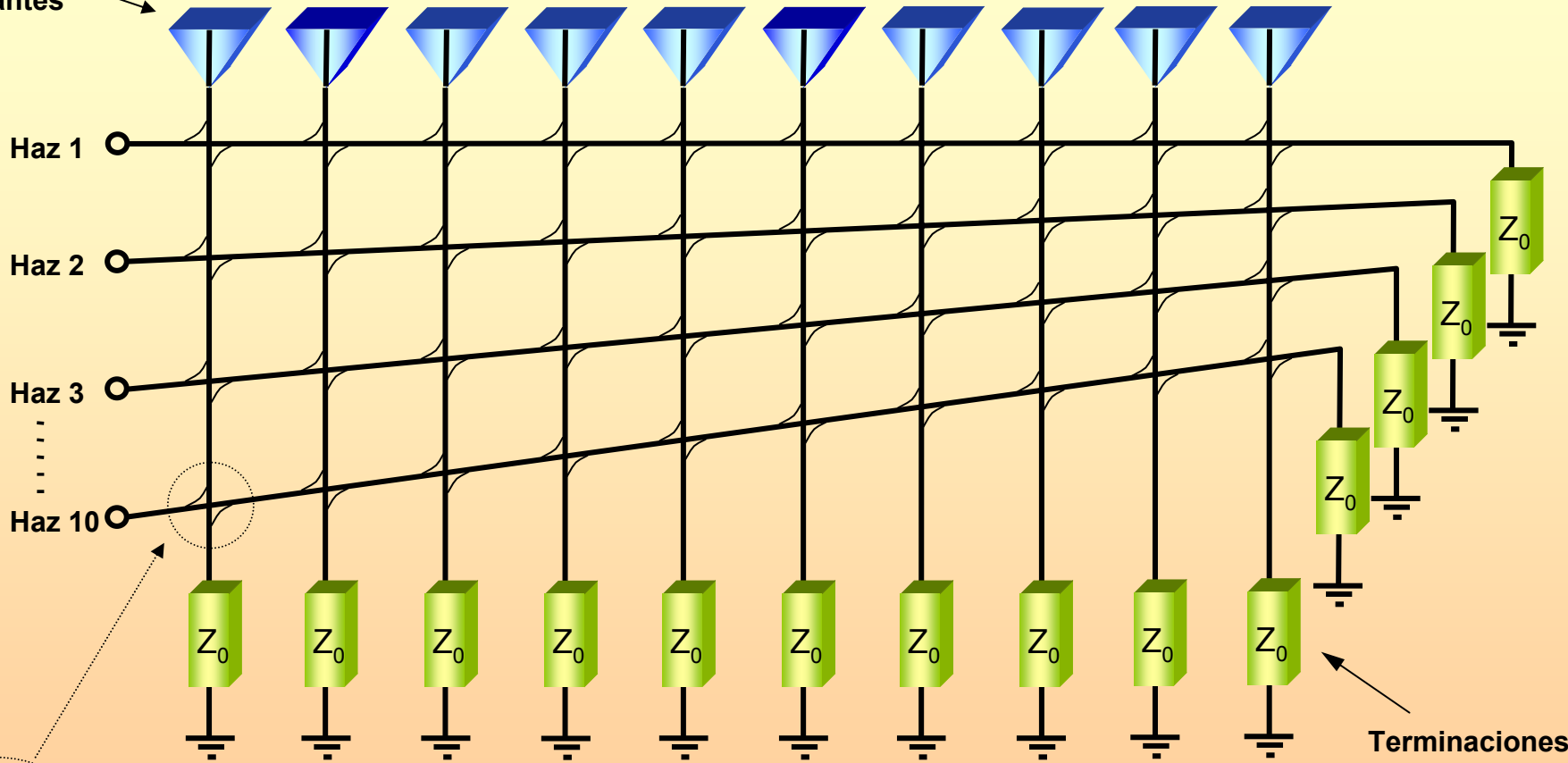
- ❖ Matriz de Butler
- ❖ Matriz de Blass
- ❖ Acopladores Direccionales
- ❖ Híbridos 3dB-90°
- ❖ Líneas de Transmisión
- ❖ Switches de Microondas (Diodos PIN)
- ❖ Sistema de Control de Fase



MATRIZ DE BUTLER DE 8x8 ALIMENTANDO A UN ARREGLO LINEAL DE 8 ELEMENTOS

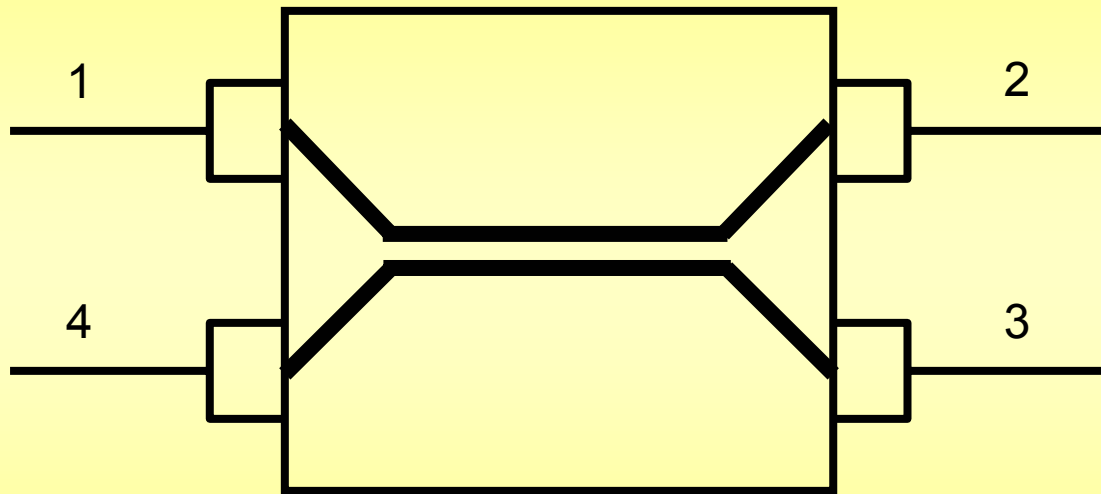
Los círculos representan Híbridos de 90° y los números son fases con cambios de $\pi/8$

Elementos Radiantes



MATRIZ DE BLASS
ALIMENTADOR DE HACES MULTIPLES

Acoplador direccional

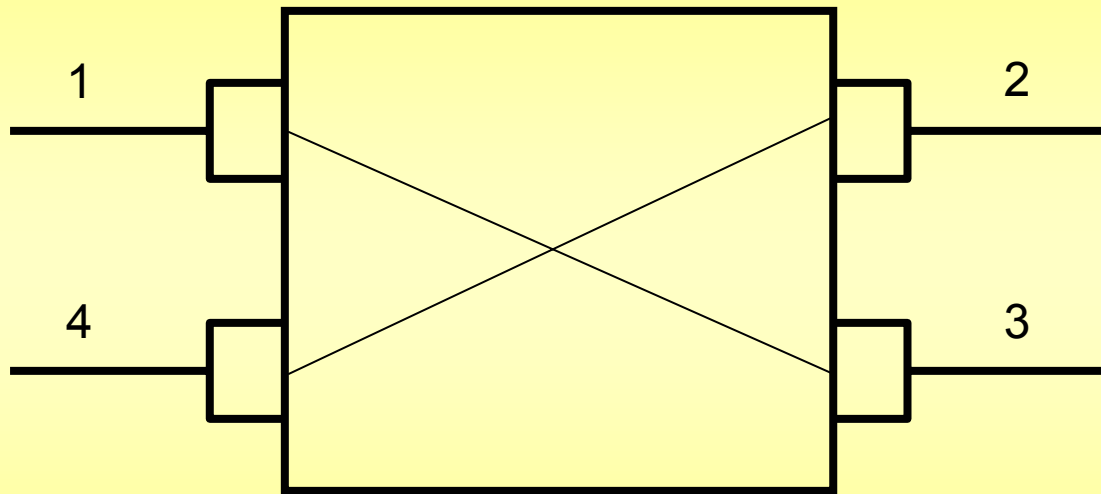


Acoplador Direccional de acoplamiento "b"

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & a & jb & 0 \\ a & 0 & 0 & jb \\ jb & 0 & 0 & a \\ 0 & jb & a & 0 \end{bmatrix}$$

$$a^2 + b^2 = 1$$

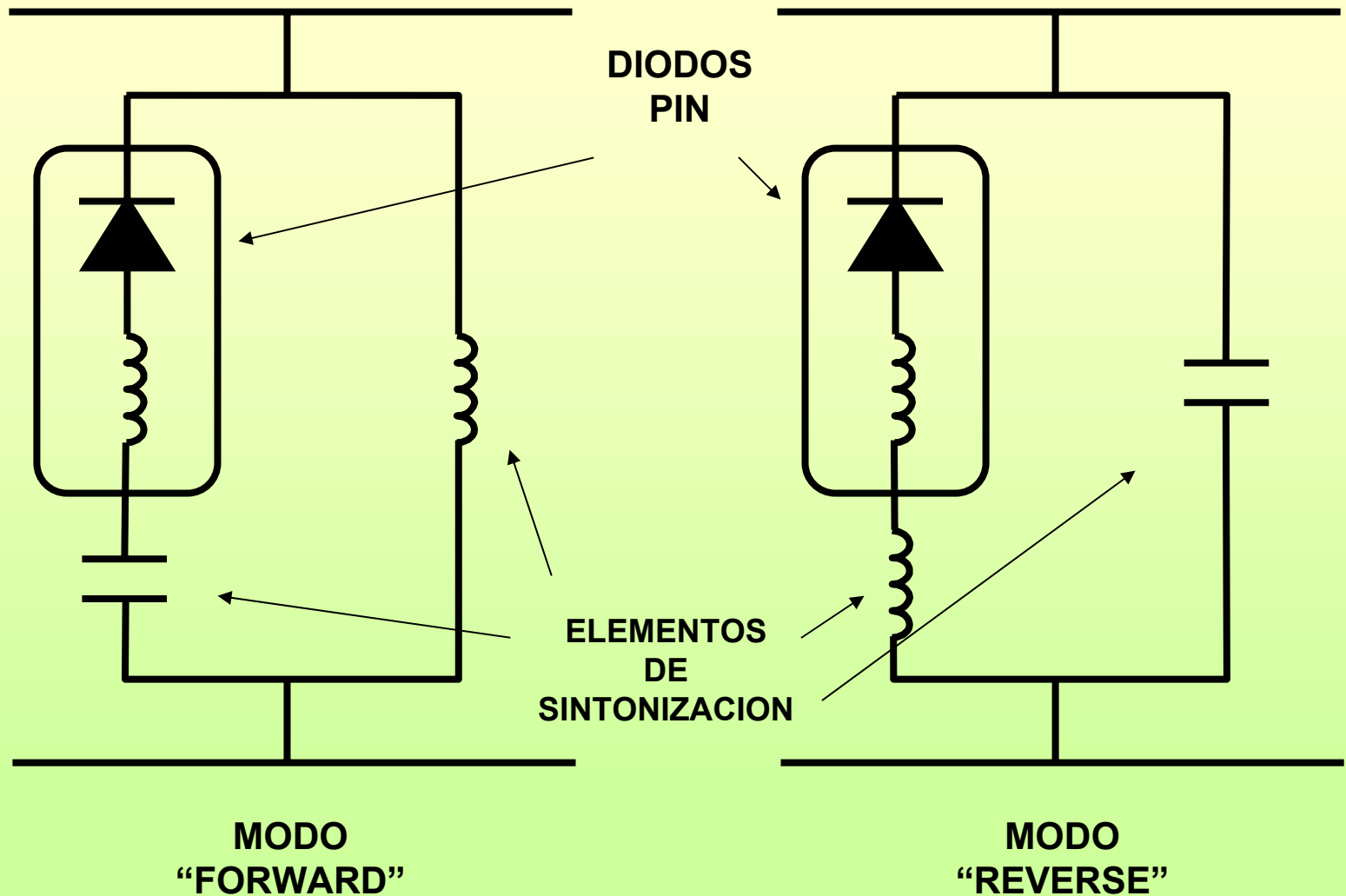
Híbrido 3dB - 90°



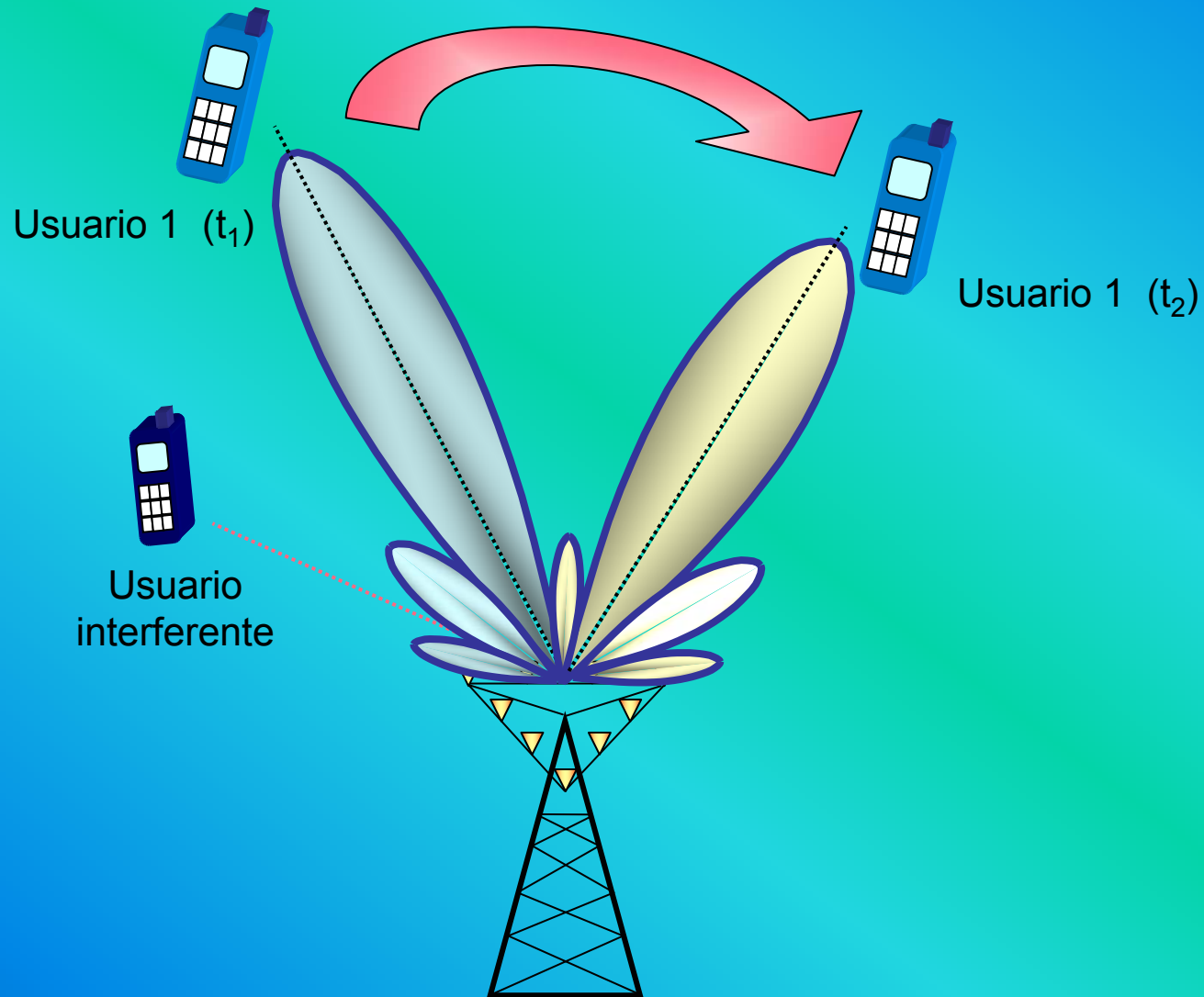
ACOPLADOR HIBRIDO DE 3dB y 90°

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 1/\sqrt{2} & -j/\sqrt{2} & 0 \\ 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & -j/\sqrt{2} \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \\ 0 & -j/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix}$$

Switches de Microondas



HAZ DE SEGUIMIENTO



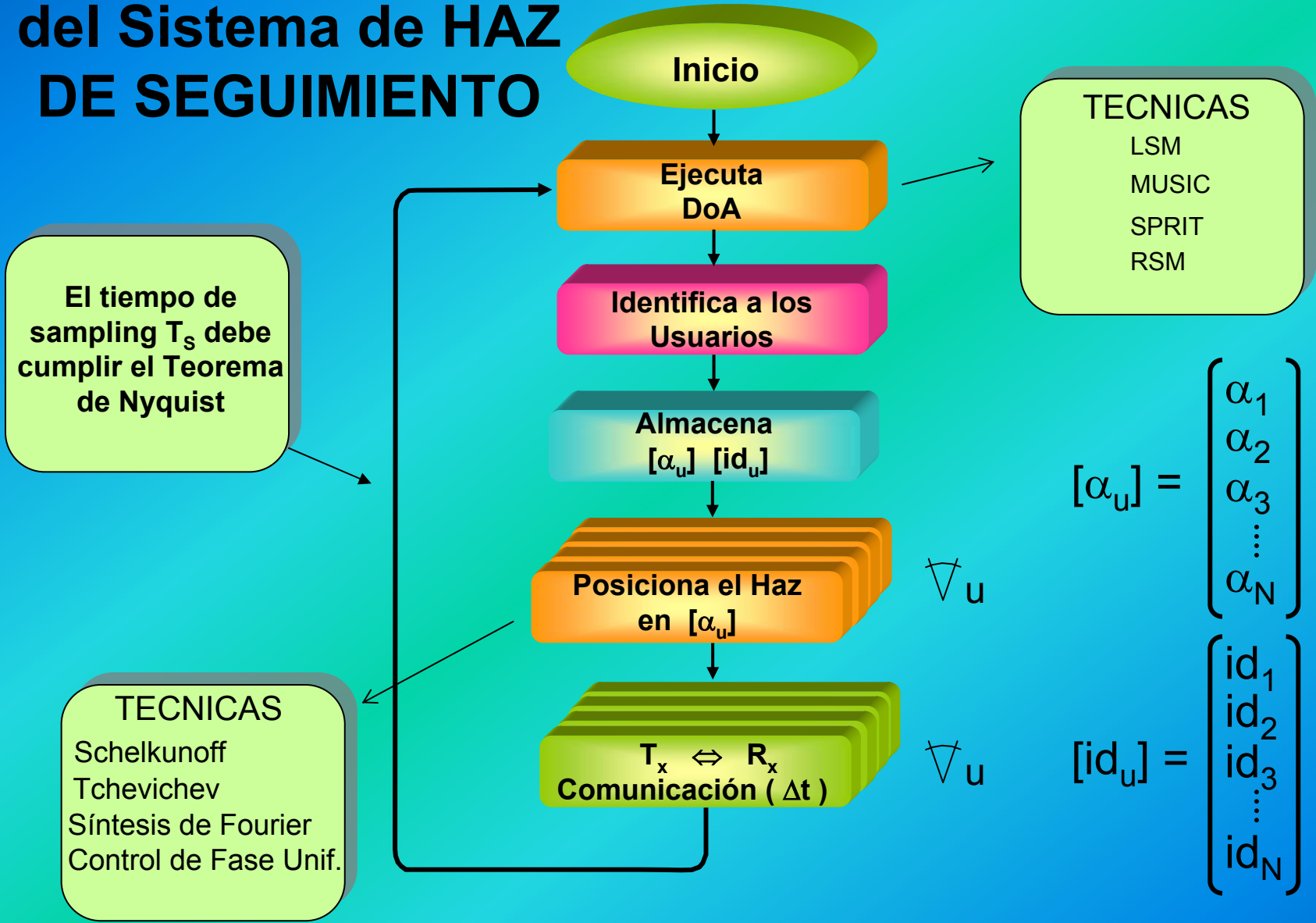
HAZ DE SEGUIMIENTO (SCANNING)

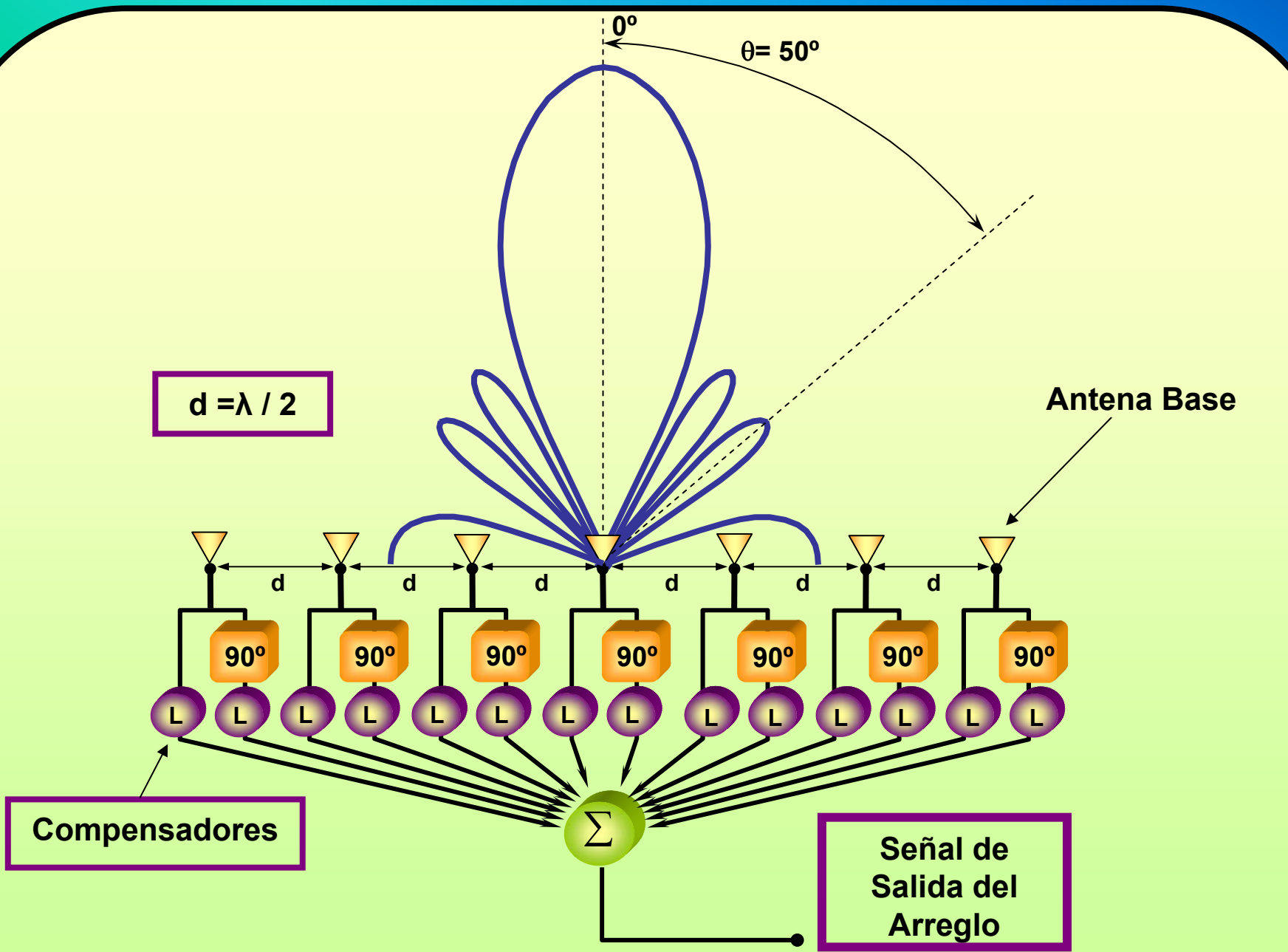
Este sistema es un poco mas complejo que el anterior. Esta conformado por un arreglo de antenas con una red de excitación que permite controlar electrónicamente las fases de las corrientes de excitación que llegan a los elementos del arreglo para modificar la dirección del haz convenientemente y establecer comunicación con el usuario respectivo.

A diferencia del sistema de haz conmutado, el sistema haz de seguimiento ejecuta algoritmos DoA (Direction of Arrival) para identificar la dirección de arribo de las señales de los usuarios.

Otra diferencia es que los cambios de fase para en el sistema conmutado se realizan a ángulos fijos, es decir corresponden a ángulos prefijado en el sistema y en el sistema de Haz de seguimiento el posicionamiento del haz tiene mayor resolución angular

Programa de Control del Sistema de HAZ DE SEGUIMIENTO





PATRON DE RADIACION DE UN ARREGLO LINEAL UNIFORME DE 7 ELEMENTOS : HAZ DE SEGUIMIENTO

ANTENAS INTELIGENTES DE HAZ DE SEGUIMIENTO

Elementos del Sistema de Haz de Seguimiento:

- ❖ Desfasadores
- ❖ Compensadores
- ❖ Líneas de Transmisión
- ❖ Sistema de Detección de Dirección de Arribo (DoA)
- ❖ Sistema de Control de fase

HAZ ADAPTATIVO

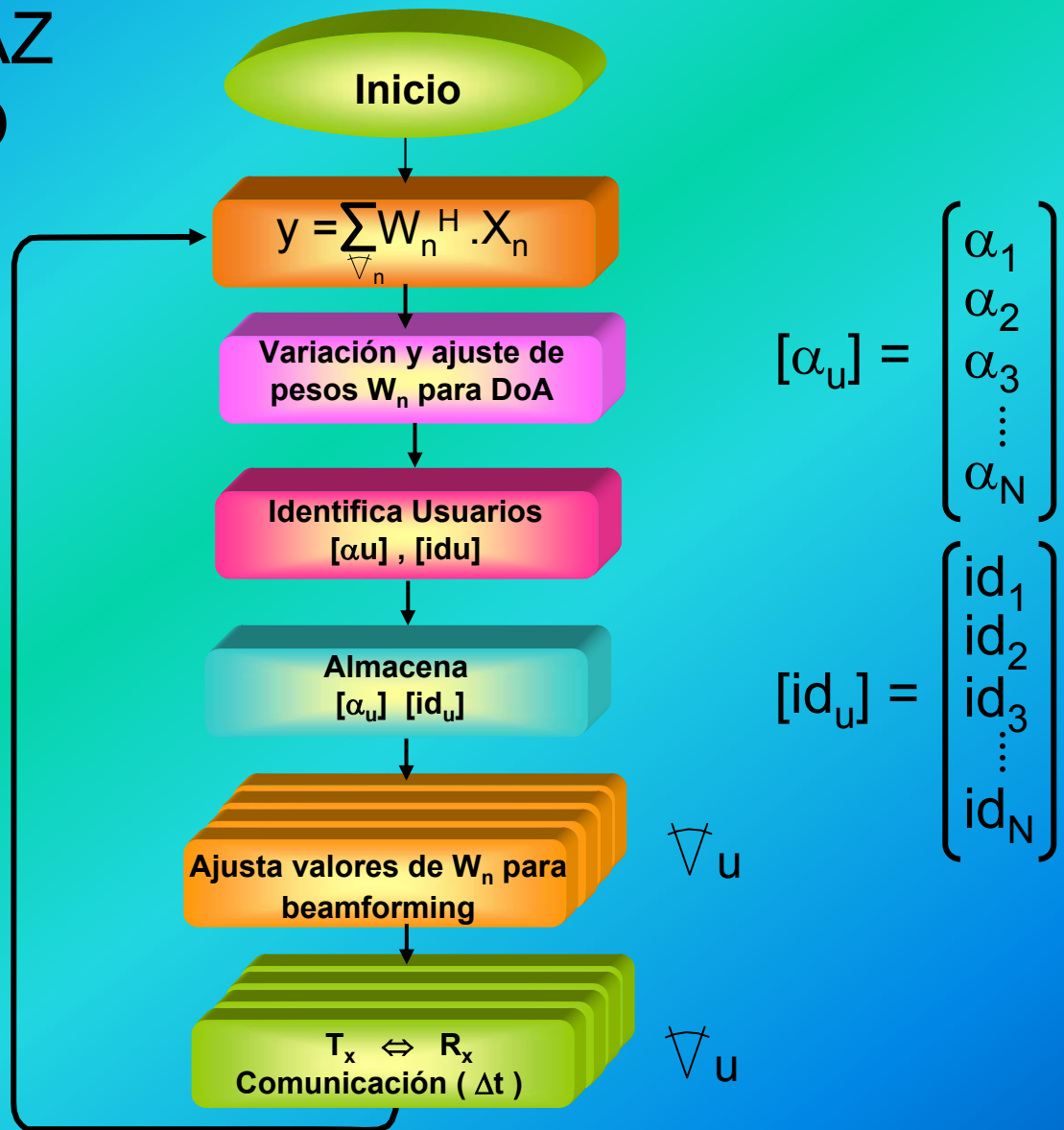


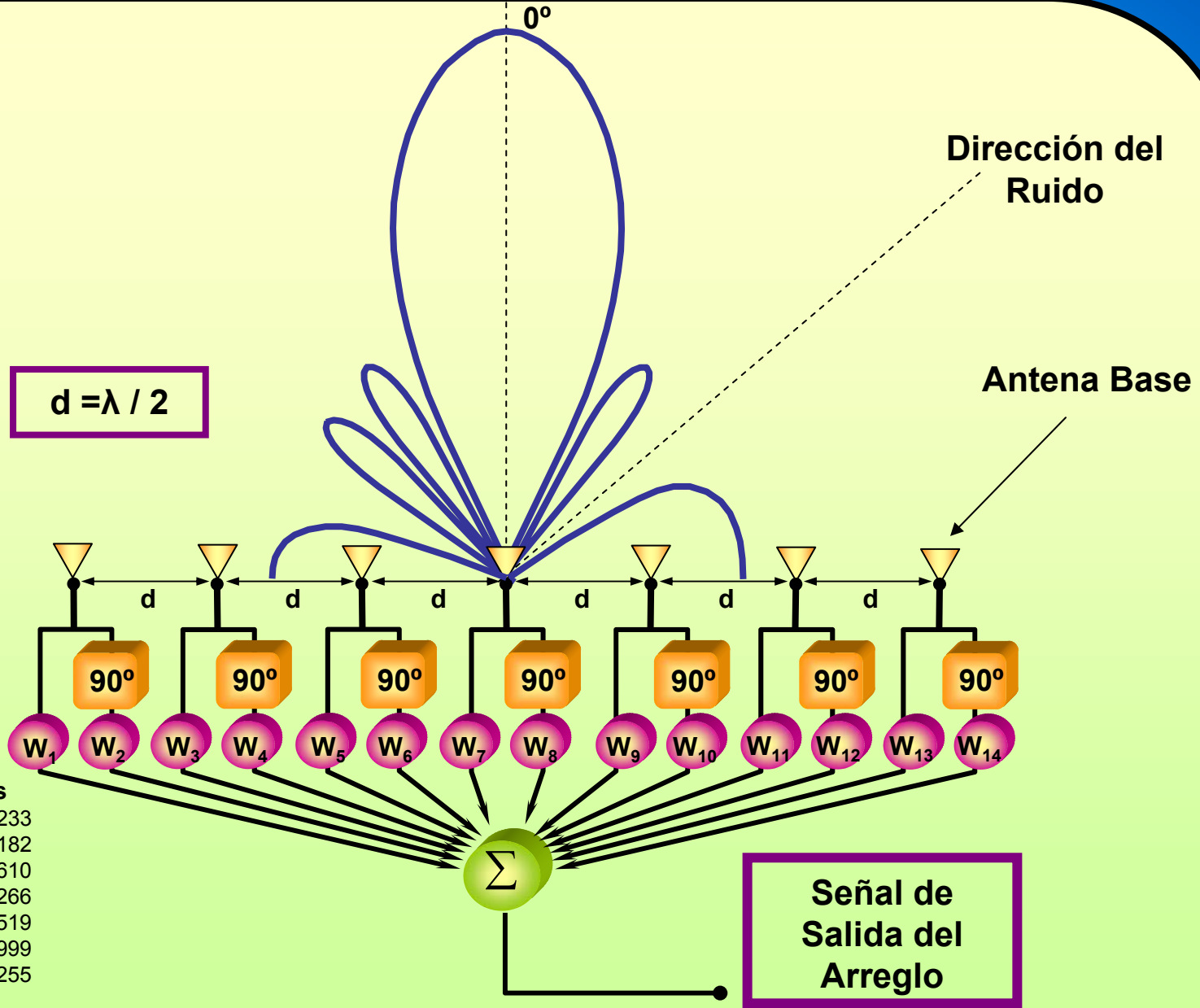
HAZ ADAPTATIVO

La técnica de haz adaptativo constituye el máximo nivel de inteligencia que se podría dar a un sistema de antenas. En este sistema, las salidas de cada elemento del arreglo de antenas se ponderan con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la posición del usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes de multitrayecto de la señal deseada y mínimos o nulos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

Esta técnica requiere el uso de algoritmos (DoA) tanto para la detección de las señales de arribo e interferentes como para la optimización de los pesos que conforman el haz.

Programa de Control del Sistema de HAZ ADAPTATIVO





Valores de Pesos

$W_1 = 0.099$	$W_8 = -1.233$
$W_2 = -1.255$	$W_9 = -0.182$
$W_3 = -0.266$	$W_{10} = -1.610$
$W_4 = -1.318$	$W_{11} = -0.266$
$W_5 = 0.182$	$W_{12} = -1.519$
$W_6 = -1.610$	$W_{13} = -0.999$
$W_7 = 0.000$	$W_{14} = -1.255$

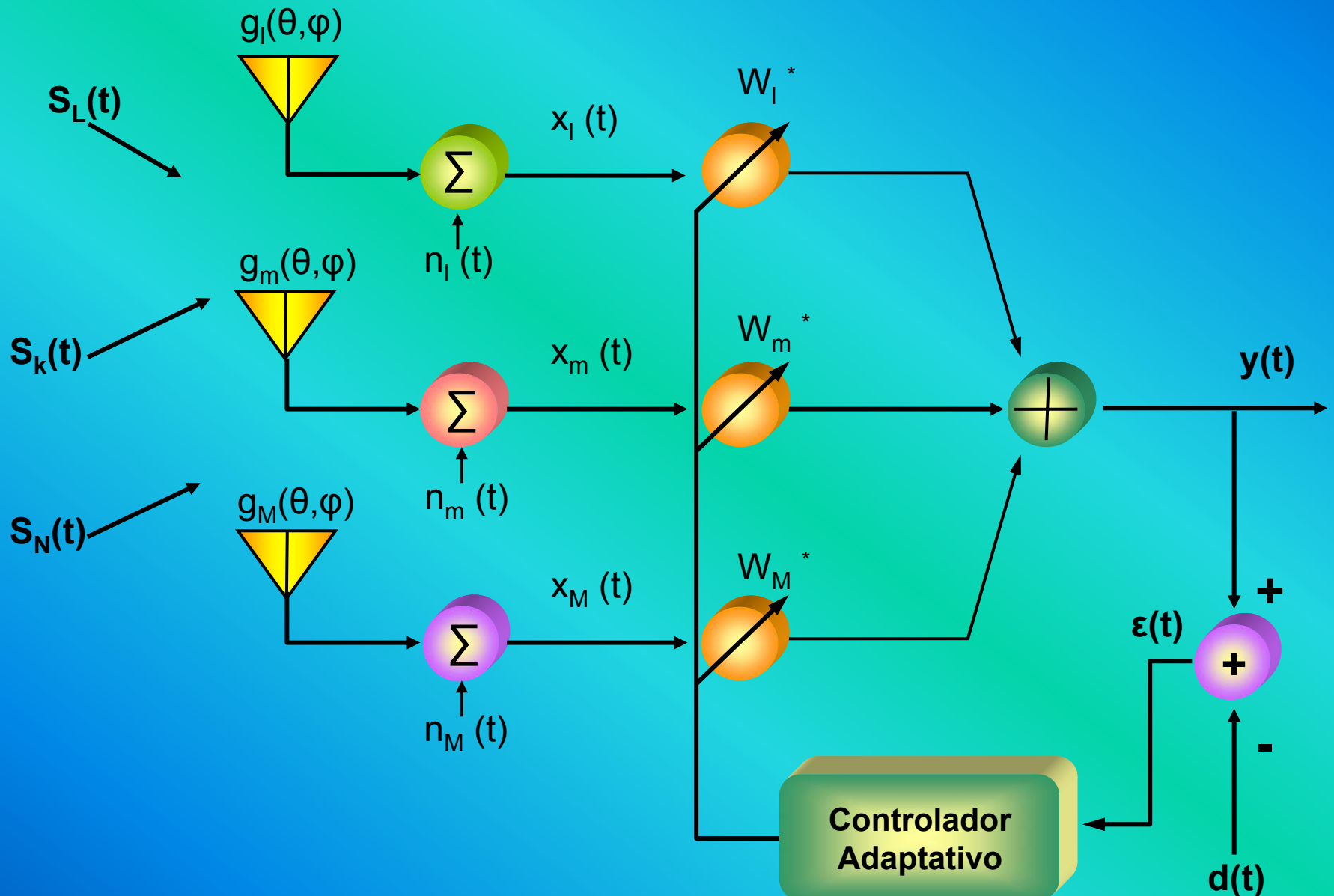
PATRON DE RADIACION DE UN ARREGLO LINEAL UNIFORME DE 7 ELEMENTOS : HAZ ADAPTATIVO

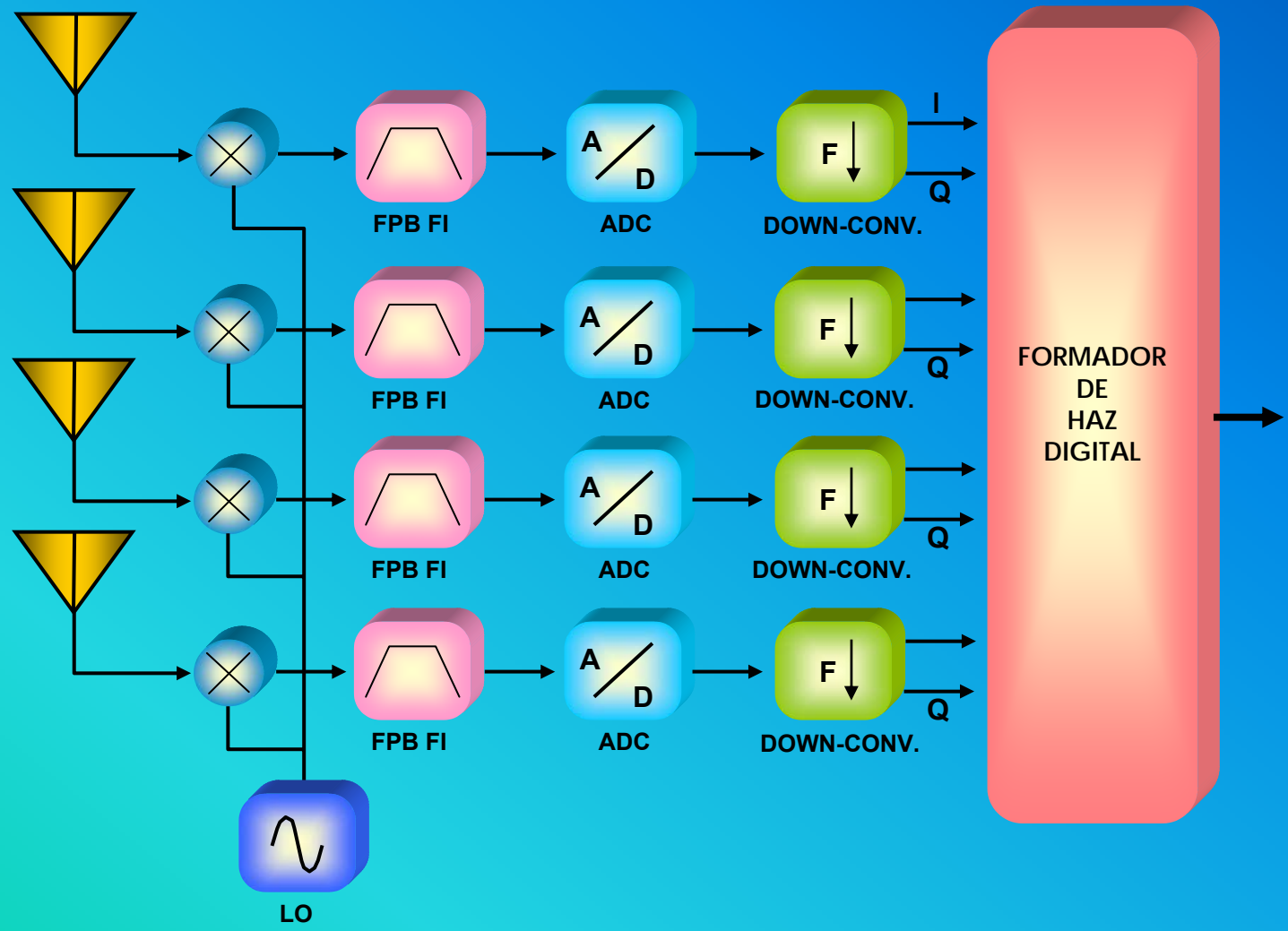
ANTENAS INTELIGENTES DE HAZ ADAPTATIVO

Elementos del Sistema de Haz Adaptativo:

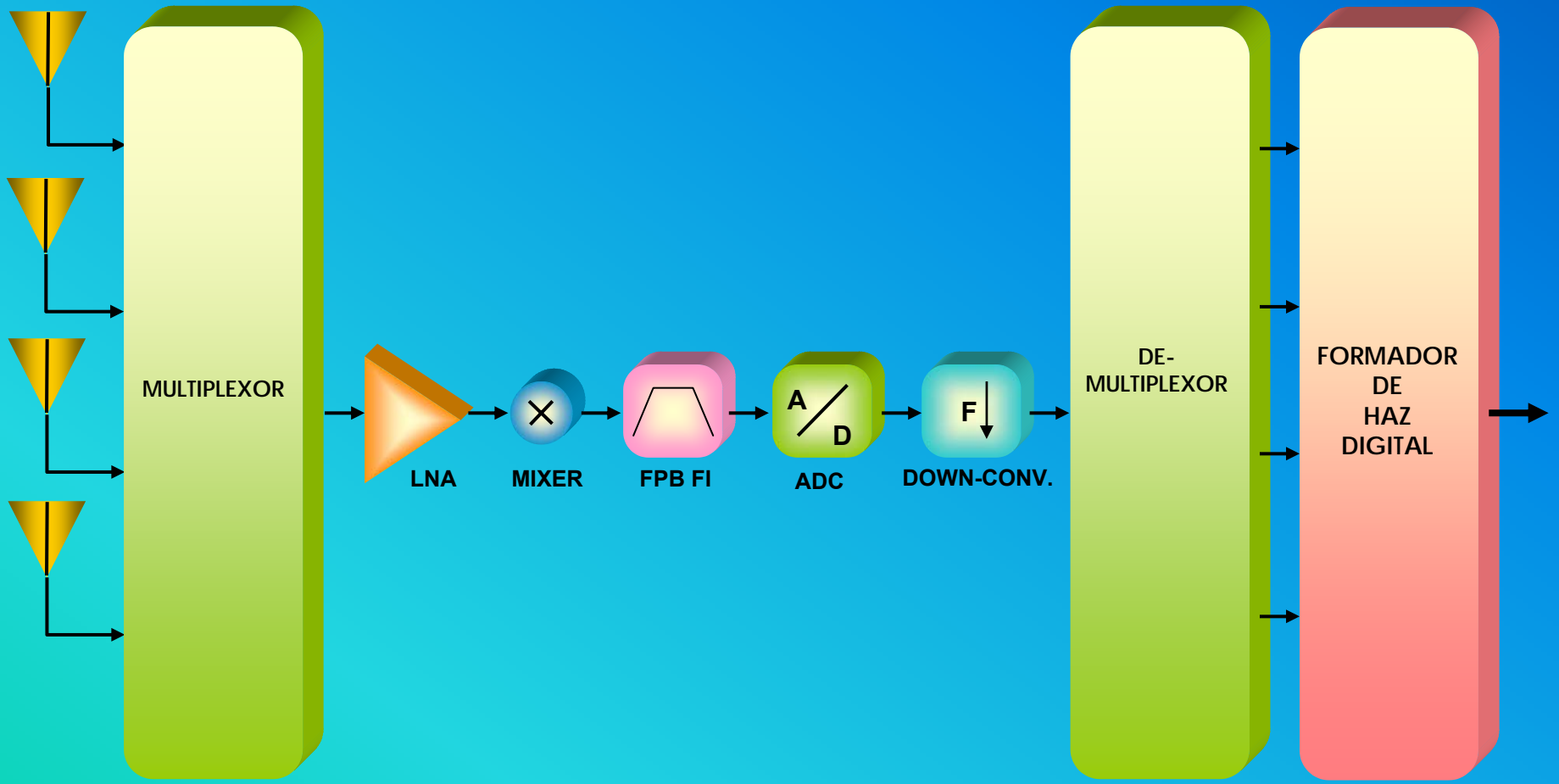
- ❖ Mezcladores
- ❖ Oscilador Local
- ❖ Filtros Pasa-Banda
- ❖ Convertidor Analógico/Digital
- ❖ Down-Converter
- ❖ Sistema de Detección de Dirección de Arribo (DoA)
- ❖ Sistema de Conformación de Haz

SISTEMA DE HAZ ADAPTATIVO





CONFORMADOR DE HAZ DIGITAL



CONFORMADOR DE HAZ DIGITAL

Algoritmo	Ecuaciones de Pesos	Ventajas	Desventajas
Mínimo Cuadrado (LMS)	$w(n+1) = w(n) + \mu x(n)[d^*(n) - x^H(n)w(n)]$	Siempre converge	Requiere señal de referencia
Inversión de Matriz Directa (DMI)	$\hat{R}_{xx} = \sum_{i=N_1}^{N_2} x(i)x^H(i)$ $\hat{r}_{xd} = \sum_{i=N_1}^{N_2} d^*(i)x(i)$ $w = \hat{R}_{xx}^{-1} \hat{r}_{xd}$	Siempre converge (mas rápidamente que LMS)	Requiere señal de referencia. Complejidad Computacional
Mínimo Cuadrado Recursivo (RLS)	$\hat{w}(n) = \hat{w}(n-1) + q(n)[d^*(n) - \hat{w}^H(n-1)x(n)]$ $q(n) = \frac{\gamma^{-1} R_{xx}^{-1}(n-1)x(n)}{1 + \gamma^{-1} x^H(n) R_{xx}^{-1}(n-1)x(n)}$ $R_{xx}^{-1}(n) = \gamma^{-1} [R_{xx}^{-1}(n-1) - q(n)x(n)R_{xx}^{-1}(n-1)]$	Siempre converge ~10 veces mas rápido que LMS	Requiere señal de referencia y estimación inicial de R_{xx}
Algoritmo de Modulo Constante (CMA)	$w(n+1) = w(n) - \mu x(n)\varepsilon^*(n)$ $\varepsilon(n) = [1 - y(n) ^2] y(n)x(n)$	No requiere señal de referencia	Teóricamente puede no converger
MUSIC	$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{1}{[a(\theta)]^H [P_N] [P_N^H] [a(\theta)]}$	Determina todas las Direcciones de arribo	Complejidad computacional
BKP Backpropagation	Red Neural Doble Capa con Algoritmo BKP	Requiere patrones de entrenamiento solamente en la fase de aprendizaje	Requiere entrenamientos periódicos

SISTEMA DE ANTENAS INTELIGENTES MIMO (Multiple Input – Multiple Output)

