

# PYTHON

## - ANTENA SIMPLE

- Parámetros { Sustento  
frec
- Patch - Dimensiones
- Ranura - Dimensiones  
Posición
- Línea de Alimentación - Dimensiones  
Posición

## - CARACTERÍSTICAS

### - ARREGLO 2x2

- Distancia entre patches
- Divisor Wilkinson

Frec. de Trabajo: 2.45 GHz

## DISEÑO ANTENA PATCH

### · Dimensiones - Patch (1 sólo elemento)

① Ancho del patch.

$$W = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

② Largo del patch.

$$L = L_{eff} - 2\Delta L$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2fr \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

$$\Delta L = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \cdot (W/h + 0.264)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \cdot (W/h + 0.8)}$$

donde:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \cdot \frac{h}{W} \right)^{-0.9}, \quad h = \text{espesor del sustrato.}$$

③ Longitud de onda en el ~~material~~ <sup>dieléctrico</sup>

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

$$\text{donde: } \lambda_0 = \frac{c}{fr}$$

### · Dimensiones de la apertura

① Longitud de la ranura

$$l_g \approx \frac{\lambda_g}{4}$$

$$\bar{\sigma} \quad l_g \sim (0.1 - 0.2) \cdot \lambda_0$$

② Ancho de la ranura

$$W_g = \frac{W}{10}$$

$\bar{\sigma}$

$$W_g \approx 0.1 \cdot l_g$$



## Diseño de la Alimentación por Acoplamiento por Ranura.

### - Impedancia del Entrada del Patch

La impedancia característica de una antena patch rectangular se aproxima como:

$$Z_{in} = 90 \cdot \left( \frac{W}{L} \right)^2 [\Omega]$$

Si este valor no coincide con los  $50(\Omega)$  de una línea de microstrip estándar, se debe hacer una adaptación.

### - Posición de la alimentación $y_0$ para adaptación de $50(\Omega)$

La impedancia del patch varía a lo largo de su longitud, pero esta variación se puede reducir moviendo la ranura hacia el centro del patch. La relación entre la impedancia y la posición (respecto de la longitud):

$$Z(y) = Z_{in} \cdot \cos^2 \left( \frac{\pi \cdot y_0}{L} \right), \quad Z(y) = 50(\Omega) \text{ y se despeja } y_0$$

se despeja  $y_0$  para encontrar la posición donde la impedancia sea  $50(\Omega)$ .

### - Dimensiones de la Línea de Microstrip.

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \ln \left( \frac{8h}{W_f} + \frac{W_f}{4h} \right)$$

NOTA:

Para mejorar la adaptación, se puede usar una línea de impedancia intermedia ( $75\Omega$ ) y un transformador de  $Z$ .

Para FR4, con espesor = 1.6 mm, el ancho de la línea de  $50(\Omega)$  es aprox:

$$W_f \approx 3 \text{ mm}$$

## • Dimensiones de la Ranura

La ranura actúa como un transformador de impedancias, transfiriendo energía desde la microstrip (sustrato inferior) hacia el patch radiador (sustrato superior).

- El tamaño y la forma afectan la cantidad de potencia acoplada.
- Una ranura grande transfiere más energía pero aumenta la radiación no deseada.
- El largo de la ranura afecta la eficiencia del acoplamiento.

### • ANCHO DE LA RANURA

Determina hasta qué energía se transfiere desde la microstrip (línea de alimentación) al parche.

$$\left\| W_g = \frac{\lambda_d}{50} \text{ a } \frac{\lambda_d}{10} \right\|, \text{ donde: } \lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \text{ - en el dieléctrico}$$

↓

En la práctica, se calculan estos valores y se toma un valor intermedio.

### • LONGITUD DE LA RANURA

Este valor se elige de modo que se maximice la transferencia de energía y se minimice la radiación espuria.

$$\left\| L_g = \frac{\lambda_d}{4} \text{ a } \frac{\lambda_d}{2} \right\| \rightarrow \text{se calculan los valores y se toma un valor intermedio.}$$

### • ESPESOR DE LA RANURA

Es crítico porque afecta la cantidad de energía acoplada. Si es muy delgada  $\Rightarrow$  menor acoplamiento y por ende, menos energía transferida y si es muy gruesa  $\Rightarrow$  más pérdidas por radiación no deseada.

$$\left\| t_g = \frac{\lambda_d}{200} \text{ a } \frac{\lambda_d}{100} \right\| \rightarrow \text{se elige un valor intermedio en función del sustrato y la frecuencia de operación.}$$

- Si el espesor del sustrato  $< 1\text{ mm} \Rightarrow$  ranura más delgada
- Si la frecuencia de operación  $> 5\text{ GHz} \Rightarrow$  se reduce el espesor para mejorar la adaptación.



### • POSICIÓN DE LA RANURA

Se la debe ubicar en un punto donde se maximice la transferencia de energía y asegure una correcta adaptación de impedancia.

- Si la ranura está en el centro del patch  $\Rightarrow Z$  es baja ( $\sim 20 [\Omega]$ )
- Si la ranura está desplazada del centro ( $\sim 0,15 \cdot \lambda_d$ )  $\Rightarrow Z$  se adapta mejor a  $50 [\Omega]$  en dirección de la microstrip.

• la posición óptima sería:  $\boxed{y_g = 0,15 \cdot \lambda_d}$

### • COMPORTAMIENTO DEL PARÁMETRO $S_{11}$

El parámetro  $S_{11}$  representa la pérdida de retorno, es decir, la cantidad de energía reflejada en la entrada de la antena debido a una mala adaptación de impedancia. Un  $S_{11}$  bajo significa una mejor adaptación y más energía radiada en lugar de reflejada.

- Respecto a la variación de la posición de la ranura:

① Si la ranura está en el centro del parche ( $y_g = 0$ ):

- $Z_{in}$  muy baja ( $\sim 20 [\Omega]$ )
- $S_{11}$  aumenta  $\Rightarrow$  más energía reflejada por la desadaptación con la línea de  $50$ .
- Mal acoplamiento  $\Rightarrow$  menor eficiencia.

② Si la ranura está desplazada demasiado lejos ( $> 0,2 \lambda_d$ ):

- $Z_{in}$  aumenta demasiado y se pierde la adaptación.
- Mal acoplamiento entre la microstrip y la antena.
- Doble resonancia en  $S_{11} \rightarrow$  mal diseño.

③ Si la ranura está en  $y_g \approx 0,15 \lambda_d$

- $Z_{in} \approx 50 [\Omega]$
- $S_{11}$  se minimiza (aprox.  $-30$  dB o menos en un diseño óptimo).
- Máxima eficiencia de transferencia de energía.

El punto óptimo:  $y_g \approx 0,15 \lambda_d \rightarrow S_{11}$  mínimo

$\left. \begin{array}{l} \downarrow \text{aumenta la reflexión} \\ \downarrow \text{disminuye la eficiencia} \end{array} \right\} \text{cualquier variación} \neq \text{de } 0,15 \lambda_d$

- Respecto a la variación del espesor de la ranura:

① Si  $t_g$  es muy delgado ( $< 0,03 \text{ cm}$ ):

- Menos energía acoplada en el parche.
- $S_{11}$  aumenta  $\rightarrow$  más energía reflejada.
- El AB de la antena se reduce.

② Si  $t_g$  está en un rango aceptable ( $\sim 0,04 \text{ cm}$ ):

- Demasiada energía acoplada - exceso de radiación desde la ranura misma.
- Aparecen modos no deseados y la adaptación se deteriora.
- Picos en  $S_{11}$  - indican resonancias parásitas.

③ Si  $t_g$  está muy grueso ( $> 0,06 \text{ cm}$ ):

- Equilibrio entre acoplamiento y radiación.
- $S_{11}$  es bajo ( $\sim -30 \text{ dB}$  o menos)
- Se optimiza la eficiencia sin generar modos parásitos.

## ➡ CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS

### • EFICIENCIA

La eficiencia total de la antena ( $\eta$ ) se calcula teniendo en cuenta:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_d \cdot \eta_r$$

eficiencia por pérdidas en el conductor (cobre)      eficiencia por pérdidas en el dieléctrico (FR4)      eficiencia por desadaptación de la impedancia (relacionada con  $S_{11}$ )  
 Tb. conocida efi. por radiación

- Pérdidas en el conductor:

Dependen del espesor y la resistividad del conductor. Para un cobre con espesor de  $35 \mu\text{m}$ , la eficiencia típica es:  $\eta_c \approx 0,97$     ó     $\eta_c = \frac{R_r}{R_r + R_c}$    
 $R_r$  - res. de radiación  
 $R_c$  - res. de pérd. en conduct.

- Pérdidas en el dieléctrico:

$$\eta_d = e^{-2\alpha_d \cdot L} \quad \text{ó} \quad \eta_d = e^{(-2\pi h/\lambda_d) \cdot \tan \delta}$$

Donde:  $\alpha_d$  = coeficiente de atenuación en el dieléctrico.

$L$  = longitud de la onda en el dieléctrico.

- Para FR4 ( $\tan \delta = 0,02$ ):  $\eta_d \approx 0,85$ .



- Pérdidas por desadaptación:

$$\boxed{\eta_r = 1 - |S_{11}|^2} \quad \text{ó} \quad \eta_r = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_{loss}}$$

Si se tiene, por ejemplo,  $S_{11} = -20 \text{ dB} \Rightarrow \eta_r \approx 0,99$ .

### • ANCHO DE BANDA

Para una antena patch rectangular:

AB relativo

$$\boxed{AB_r \approx \frac{2}{\pi} \cdot \frac{h}{\lambda_d} \cdot 100\%}$$

Donde:  $h$  = espesor del sustrato

$\lambda_d$  = long. de onda del dieléctrico.

Luego, el AB en Hz:

$$\boxed{AB = AB_r \cdot f_r} \rightarrow \text{AB absoluto}$$

- el AB<sub>r</sub> indica que el AB de la antena es cierto % de la frecuencia de operación.
- El AB absoluto es el rango de frecuencias en torno a la frecuencia de operación en el que la antena opera eficientemente.

### • DIRECTIVIDAD

Se calcula como:

$$\boxed{D = \frac{4\pi \cdot U_{max}}{P_{rad}}}$$

$$D \approx 6,5 \text{ dB}$$

Donde:  $P_{rad} = \frac{1}{2} \cdot P_{entrada} \cdot \eta_{radiación}$

- $U_{max}$  = se suele considerar del diagrama de radiación. Es la densidad de energía radiada máxima, es decir, donde la antena irradia con más potencia.

### • PATRÓN DE RADIACIÓN

- Direccional con máxima radiación perpendicular al patch (eje z).
- Patrón en forma de "dona" - irradia perpendicular al plano de la antena.
- Relación de polarización cruzada menor a -20 dB.
- El patrón de radiación en el plano E y H se modela como:

$$E(\theta) \approx \cos\left(\frac{\pi \cdot W}{\lambda} \cdot \sin \theta\right), \quad \text{para } \theta = 90^\circ \rightarrow \text{radiación cero.}$$

## • VSWR (Relación de Onda Estacionaria en tensión)

$$\left\| \text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right\|, \text{ donde: } \Gamma = 10^{S_{11}/20} - \text{coef. de reflexión.}$$

### • Valores: ~~aceptables~~

- Se recomienda:  $\text{VSWR} \leq 2$  ( $S_{11} \leq -10 \text{ dB}$ ) para una buena adaptación.
- Si el VSWR está entre ~~1.5~~ 1 y 1.5  $\Rightarrow$  acoplamiento perfecto.
- Si el VSWR  $\geq 2.5$ , la antena no está bien adaptada.

### • Para optimizar el VSWR:

- Modificar la posición o dimensiones de la ranura.
- ☒ impedancia de la línea de alimentación.
- ☒ el tipo o espesor del sustrato.

$S_{11}$  óptimo:  $\sim -20 \text{ dB}$

## • PÉRDIDA DE RETORNO ( $S_{11}$ )

la pérdida de retorno es:

$$\left\| S_{11} = -20 \log |\Gamma| \right\|$$

- Un valor aceptable es  $< -10 \text{ dB}$ .

## • GANANCIA

la ganancia total se calcula como:

$$\left\| G = \eta \times D \right\|$$

## • TIPO DE POLARIZACIÓN

Como la alimentación es lineal  $\Rightarrow$  la polarización es lineal, con el campo eléctrico <sup>alineado</sup> ~~orientado~~ en un sólo plano.

significa q' se alimenta en un sólo punto.

Ejemplo:

Si la antena se ~~alimenta~~ alimenta en la dirección del eje  $x \Rightarrow E$  está alineado en esa dirección  $\Rightarrow$  la polarización es lineal en el eje  $x$ .



## DISEÑO DEL ARREGLO 2x2

### • ESPACIADO / DISTANCIA ENTRE PATCHES

$d = 0,5 \cdot \lambda_d$  → distancia óptima para minimizar los lóbulos secundarios no deseados

### • DIVISOR WILKINSON

Permite dividir la señal de forma equitativa, asegurando la adaptación de  $Z_0$ .

#### • Diseño:

Para alimentar 4 antenas, se necesita un divisor Wilkinson en 2 etapas:

a) Un Wilkinson 1:2 que divide la señal en 2:

• La impedancia de las ramas es:  $Z_1 = \sqrt{2} \cdot 50 = 70,7(\Omega)$

x • La resistencia de aislamiento entre ramas es:  $R_1 = 2 \cdot 50 = 100(\Omega)$  → no tenerla en cta.

• Longitud de las líneas:  $\lambda/4$  en el sustrato FR4. ( $\lambda_d = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{eff}}$ )

b) Cada salida se conecta a otro Wilkinson 1:2, formando un Wilkinson 1:4.

•  $Z_2 = \sqrt{2} \cdot 70,7 = 99,98 \approx 100(\Omega)$

x •  $R_2 = 2 \cdot 100 = 200(\Omega)$

## ⇒ PARÁMETROS

### • EFICIENCIA:

En un arreglo, la eficiencia depende de:

- las pérdidas en la red de alimentación (div. Wilkinson, microstrip)
- Interacción entre los elementos (mutual coupling)
- Errores de fase y amplitud en la excitación de los elementos.

Se calcula como:

$$\eta_{arreglo} = \eta_c \cdot \eta_d \cdot \eta_f \cdot \eta_{mc}$$

Donde los términos que se aseguran son:

•  $\eta_c$  = eficiencia de la red de alimentación.

•  $\eta_{mc}$  = ✓ debido al acoplamiento mutuo entre antenas.