Universitat Oberta de Catalunya
Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación
Trabajo Final de Grado en el área de Sistemas de Alta Frecuencia
Junio 2020



# Diseño de una antena-sensor en sustratos flexibles

Realizado por: Alejandro Navarro Pérez
Consultor: Ignacio Gil Galí

# Índice

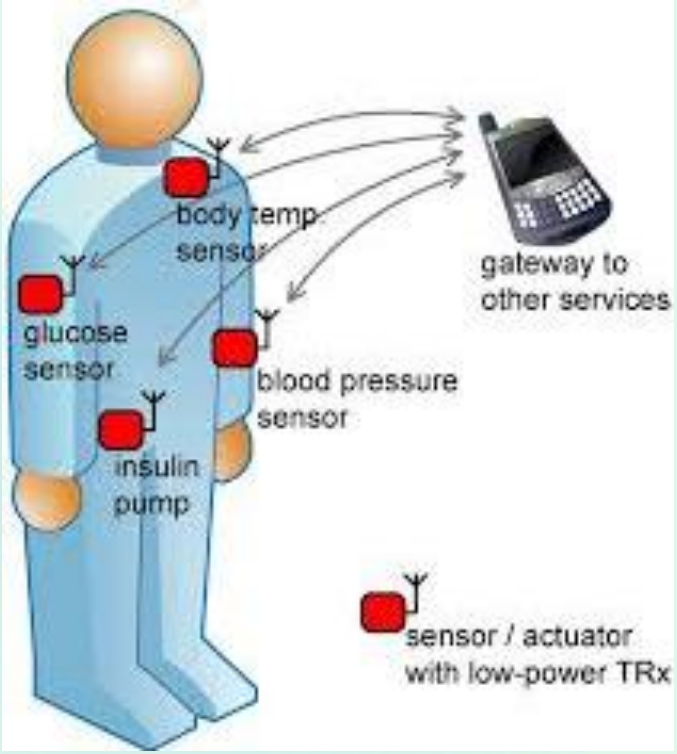


1. Introducción
2. Estado del arte
3. Parámetros principales
4. Análisis de diseños conocidos
5. Diseño de una antena-sensor
6. Optimización del diseño
7. Conclusiones y líneas futuras

# Introducción



## Contexto y justificación del trabajo



# Introducción



## Objetivos

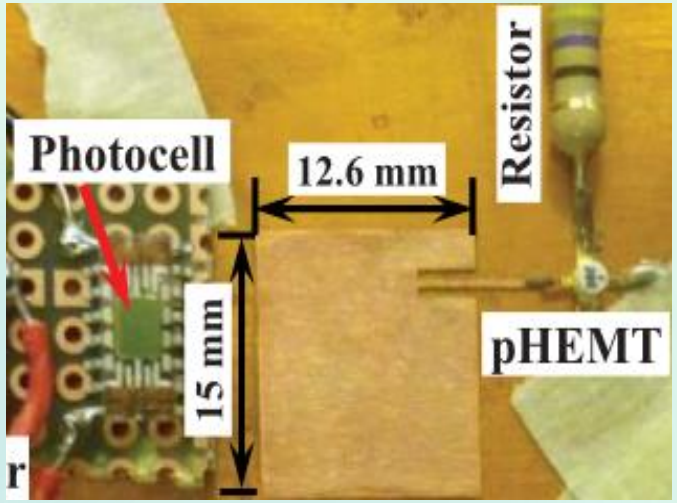
- Analizar el estado del arte
- Establecer los parámetros de diseño
- Aprender utilizar el ADS
- Reproducir diseños conocidos
- Elaborar un diseño propio
- Mejorar el diseño

# Estado del arte

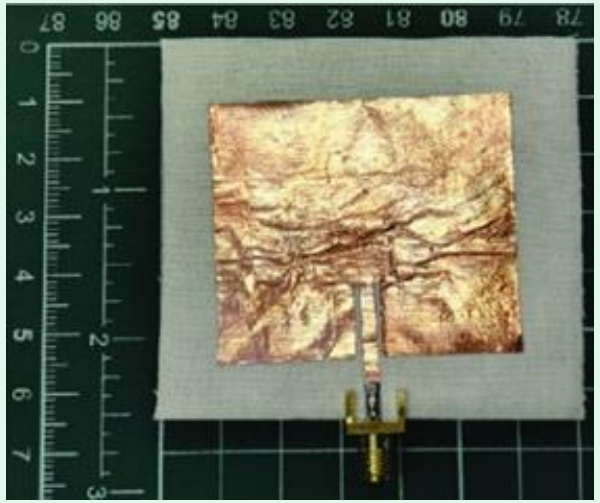


**Antenas-sensor de parche microstrip**

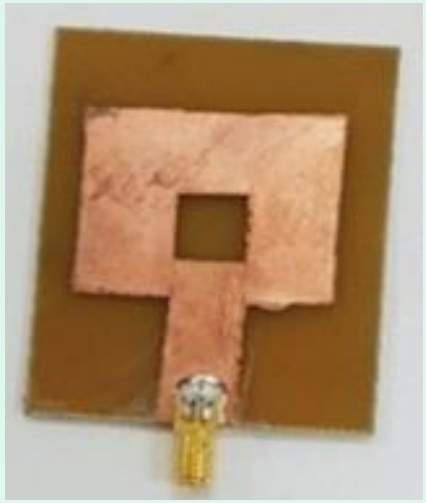
$$fr = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_e}} \frac{1}{L_e + 2\Delta L_c}$$




en sustrato de Kapton para la detección de estrés mecánico



en sustrato textil para la detección de temperatura

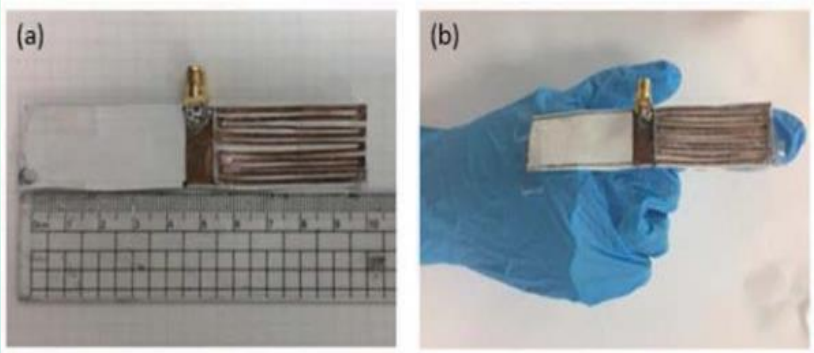


en sustrato epoxi FR4 para la medición del pH en soluciones líquidas

# Estado del arte



## Otros ejemplos de antenas-sensor




- de tipo dipolo en sustrato de papel para la detección del ángulo de flexión de los dedos de la mano

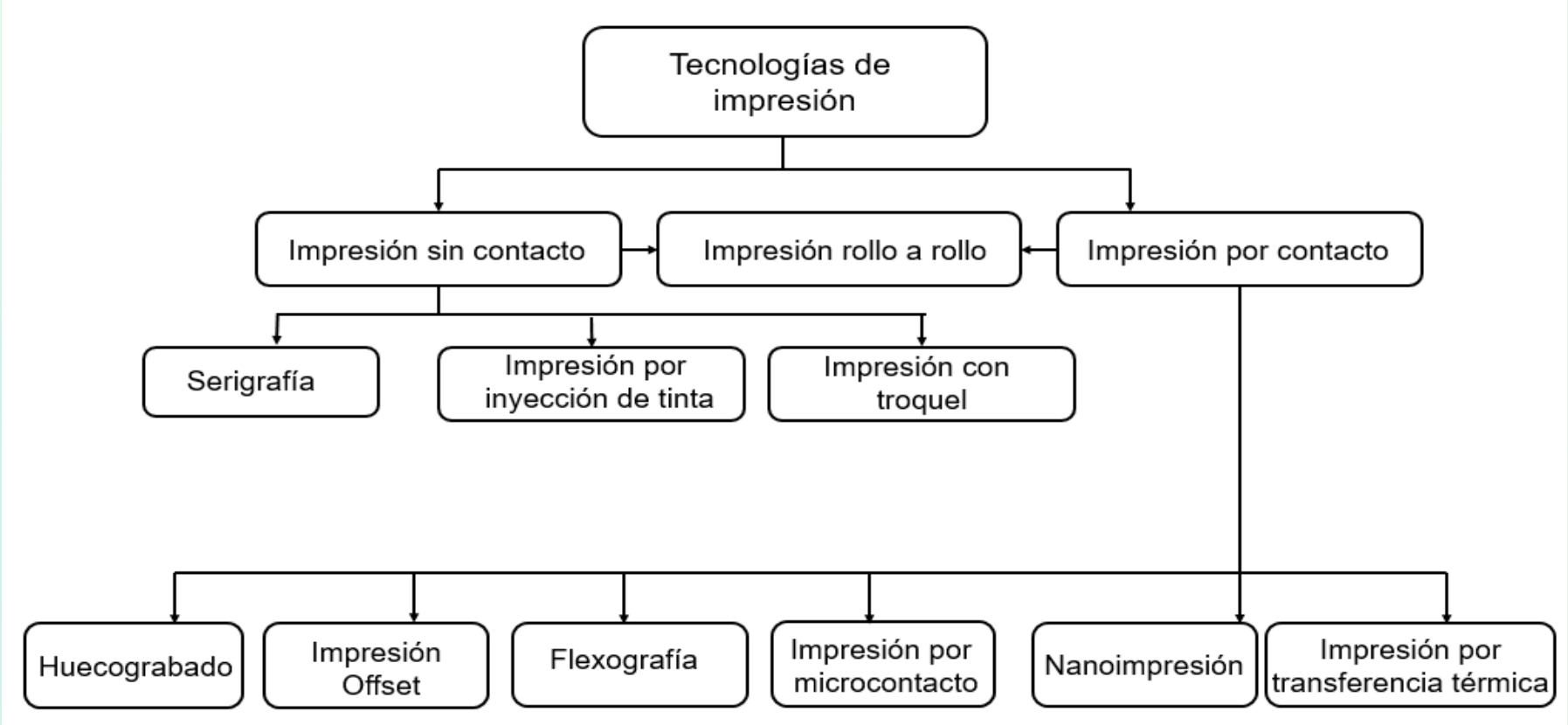
$$f_r = \frac{c}{2L\sqrt{\varepsilon_r}}$$

- resonador de anillo abierto en sustrato textil para la detección de ángulos de flexión

# Estado del arte



## Electrónica impresa



# Estado del arte



## Electrónica impresa

- Serigrafía:
  Impresoras BeiJing
  TORCH T1000

- *Inkjet Printing*:
  Dimatix Materials Printer DMP-2850

# Estado del arte



## Sustratos flexibles

Características importantes:

- flexibilidad
- resistencia
- adherencia
- delgadez
- ligereza
- eficiencia
- métodos de producción ecológicos

# Parámetros principales



- Sustrato
  - Permitividad eléctrica

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

  - Tangente de pérdidas

$$\tan\delta = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$$

- Rango de frecuencias
  - Bandas L, S y C
  - 5.8 GHz aplicaciones WBAN
  - 38 GHz aplicaciones WBAN desplegadas sobre 5G

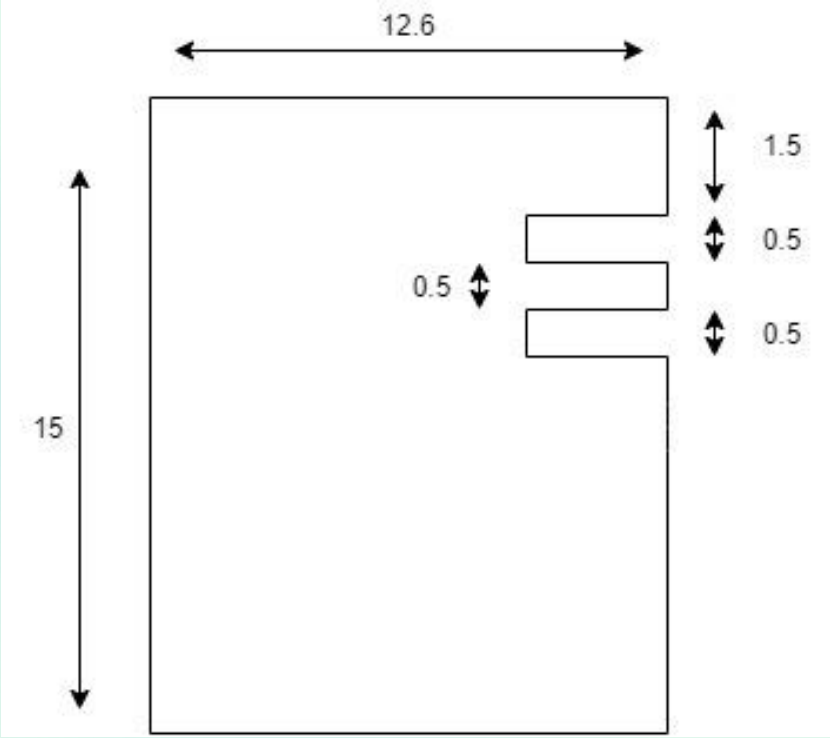
- Tipo de antena
  - Parche microstrip
  - Parámetros de antena
    - Impedancia
    - Eficiencia
    - Diagrama
    - Directividad
    - Ganancia
    - Ancho de banda
- Impacto del cuerpo humano

# Análisis de diseños conocidos



## Primer diseño conocido

Antena-sensor flexible de parche microstrip en sustrato de Kapton para la detección de estrés mecánico




- Dimensiones del parche de cobre: W=12.6 mm y L=15 mm
- Frecuencia de operación: 5.5421 GHz

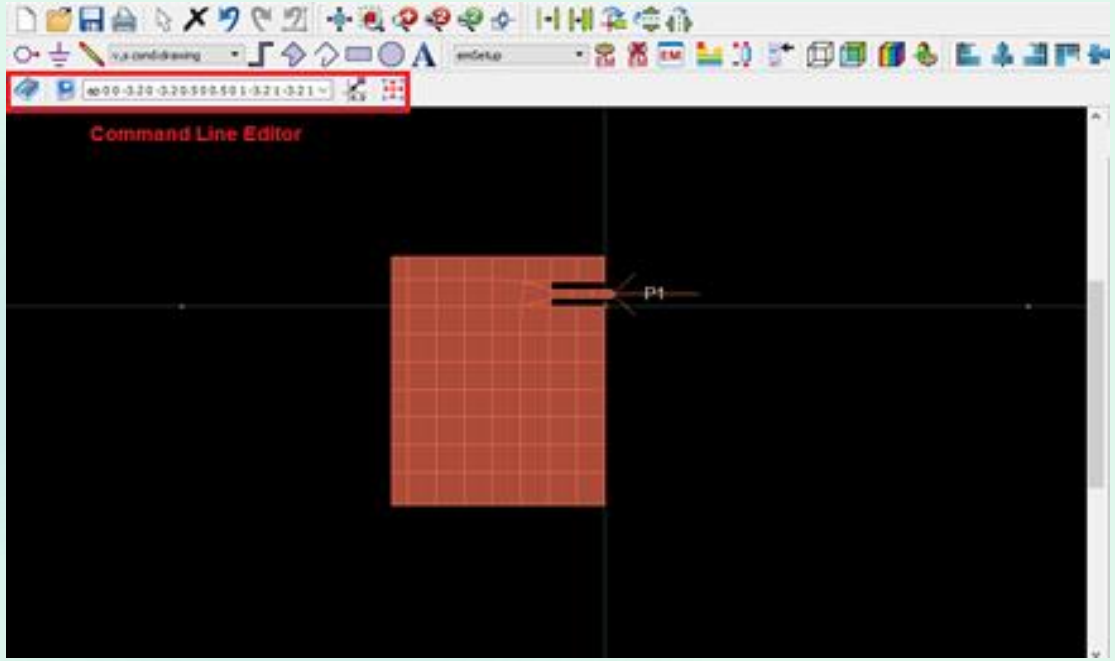
- Grosor del sustrato de Kapton (h): 0.11 mm
- Constante dieléctrica (εr): 3.6
- Tangente de pérdidas (tan δ): 0.002
- Para los coeficientes de Poisson, tanto del cobre como de Kapton, es razonable considerar un valor de 0.34

# Análisis de diseños conocidos



## Primer diseño conocido

Antena-sensor flexible de parche microstrip en sustrato de Kapton para la detección de estrés mecánico




| Tensión | L [mm] $L = (1+t)\,L_0$ | W [mm] $W = (1-\mu_P t)W_0$ | h [mm] $h = (1-\mu_S t)\,h_0$ |
|---|---|---|---|
| 0 % | 15 | 12.6 | 0.11 |
| 0.0058 % | 15.087 | 12.575 | 0.1098 |
| 0.0173 % | 15.1725 | 12.55 | 0.1094 |
| 0.0231 % | 15.2595 | 12.5259 | 0.1091 |
| 0.0288 % | 15.432 | 12.4766 | 0.1089 |

# Análisis de diseños conocidos

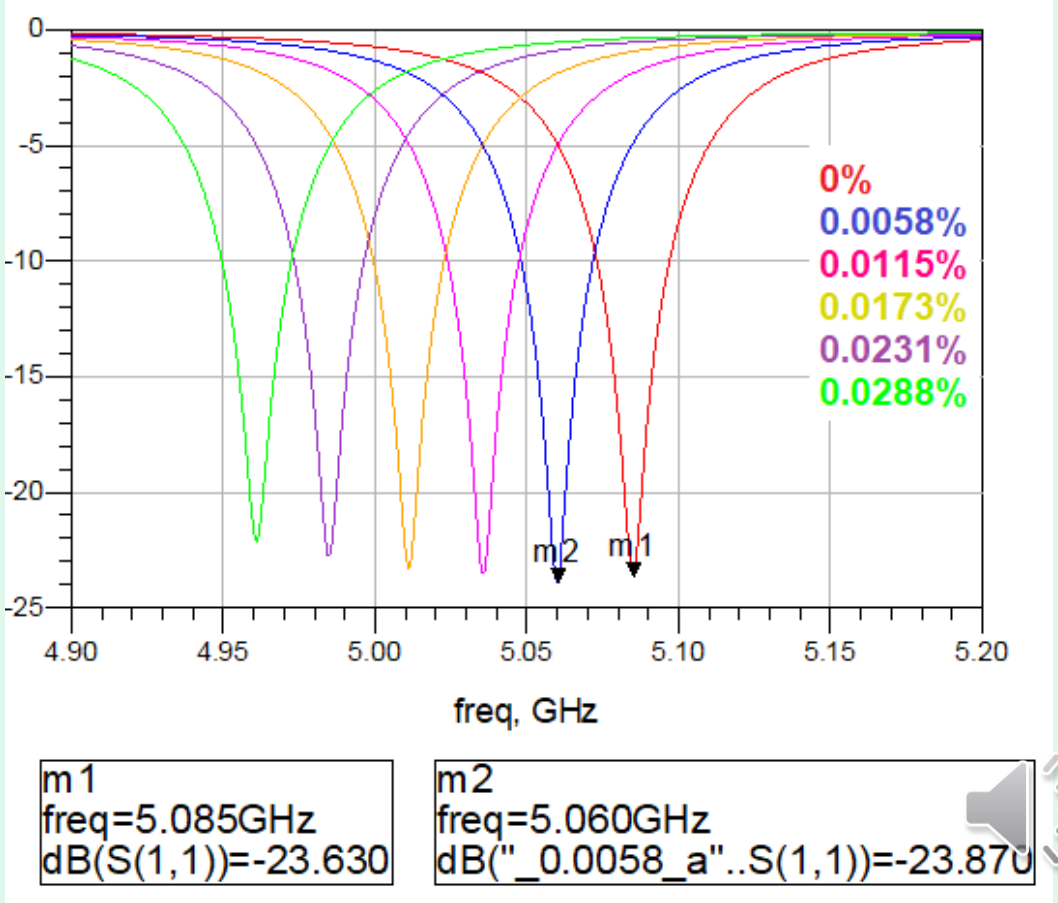


## Primer diseño conocido

Antena-sensor flexible de parche microstrip en sustrato de Kapton para la detección de estrés mecánico

| Tensión mecánica | 0% | 0.0058% | 0.0115% | 0.0173% | 0.0231% | 0.0288% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia de operación | 5.085 GHz | 5.060 GHz | 5.036 GHz | 5.011 GHz | 4.985 GHz | 4.961 GHz |

reducción del orden de los 25 MHz para cada aumento de un 0.0057%

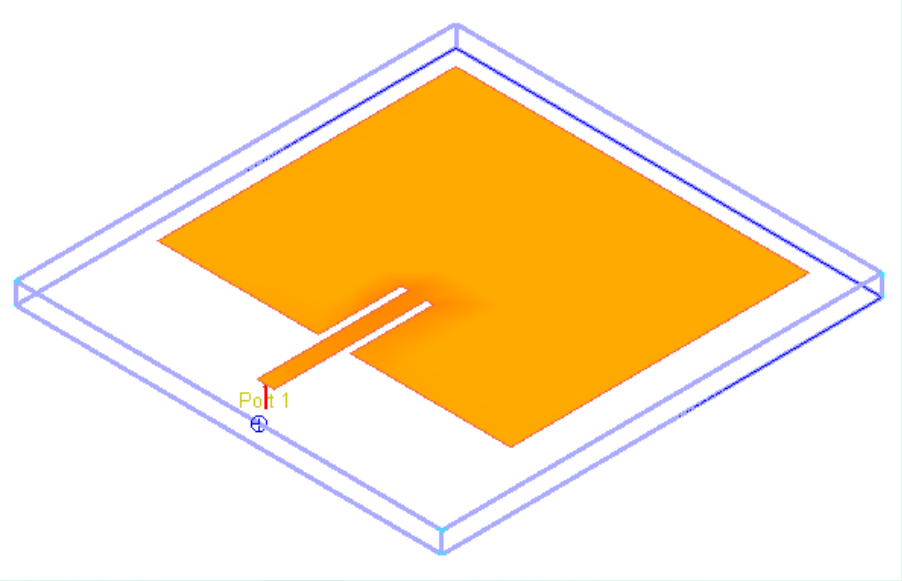


# Análisis de diseños conocidos



## Segundo diseño conocido

Antena-sensor flexible de parche microstrip en sustrato textil para la detección de temperatura




- Dimensiones del parche de cobre: W=51.3 mm y L=43.3 mm
- Frecuencia de operación: 2,45 GHz
- Grosor del sustrato de algodón (h): 3 mm
- Constante dieléctrica (εr): 1.6
- Tangente de pérdidas (tan δ): 0.02

# Análisis de diseños conocidos

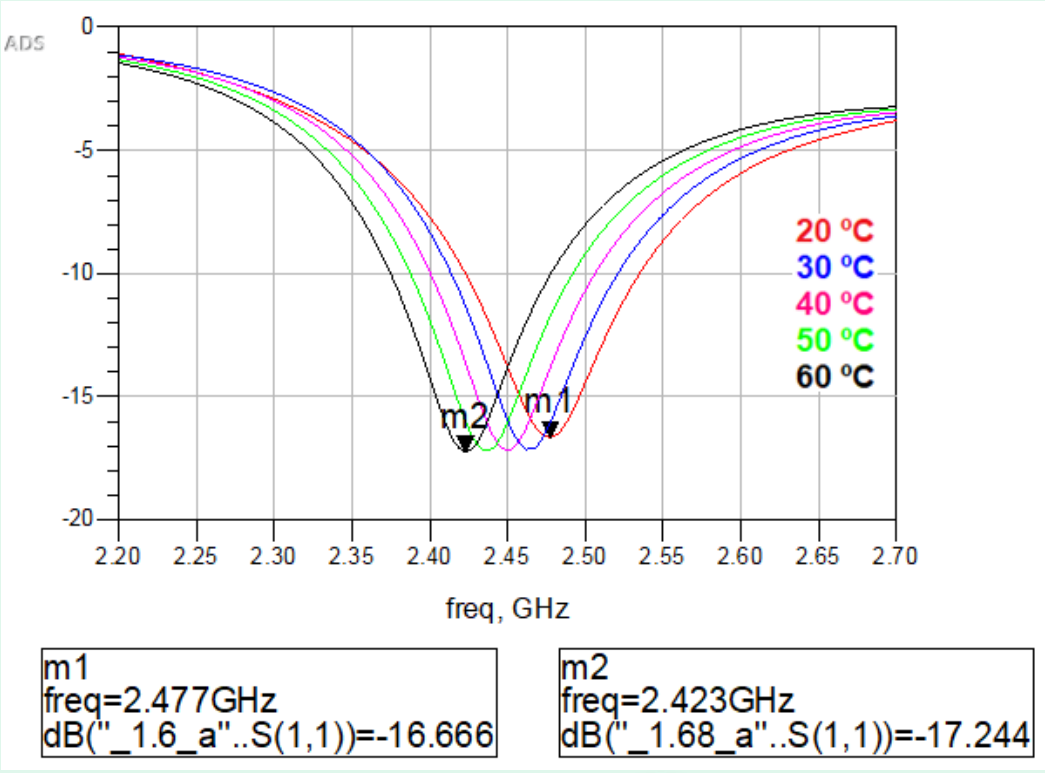


## Segundo diseño conocido

Antena-sensor flexible de parche microstrip en sustrato textil para la detección de temperatura

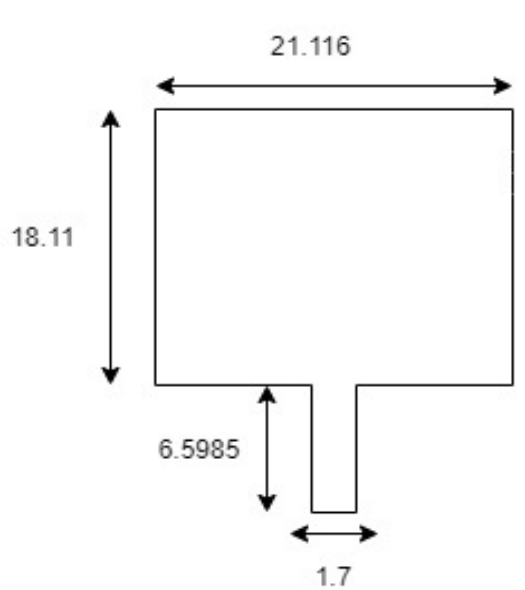
| Temperatura | 20 ℃ (inicial) | 30 ℃ | 40 ℃ | 50 ℃ | 60 ℃ |
|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia de operación | 2.477 GHz | 2.466 GHz | 2.450 GHz | 2.438 GHz | 2.423 GHz |

reducción de entre 11 y 17 MHz para cada aumento de 10 ℃



# Diseño de una antena-sensor






$$L = \frac{c}{2 \cdot fr \cdot \sqrt{\varepsilon_{reff}}} - 2\Delta l$$

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + 12 \cdot \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\Delta l = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(\varepsilon_{erff} + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \cdot \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}$$

$$l = \frac{\lambda_g}{4}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{reff}}}$$

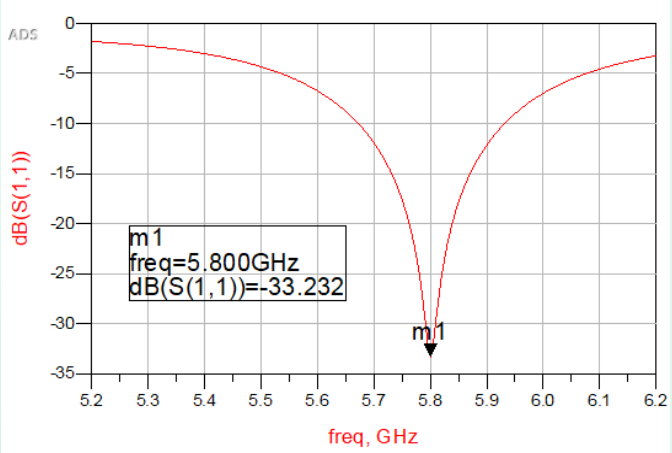
$$L_{new} = \frac{q \cdot \lambda_{d(5.8)}}{2}$$

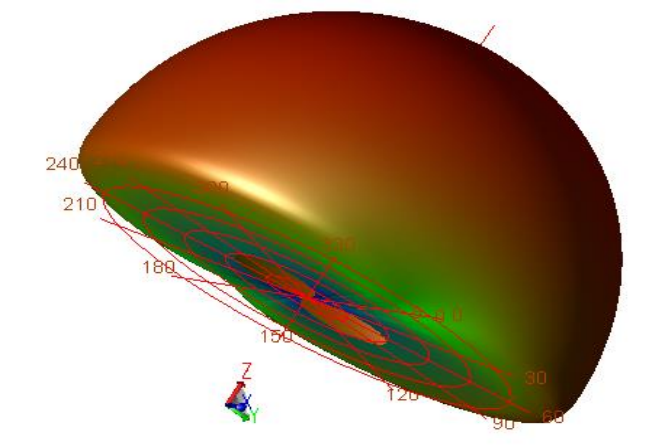
$$q = \frac{L \cdot 2}{n \cdot \lambda_{d(5.72)}}$$

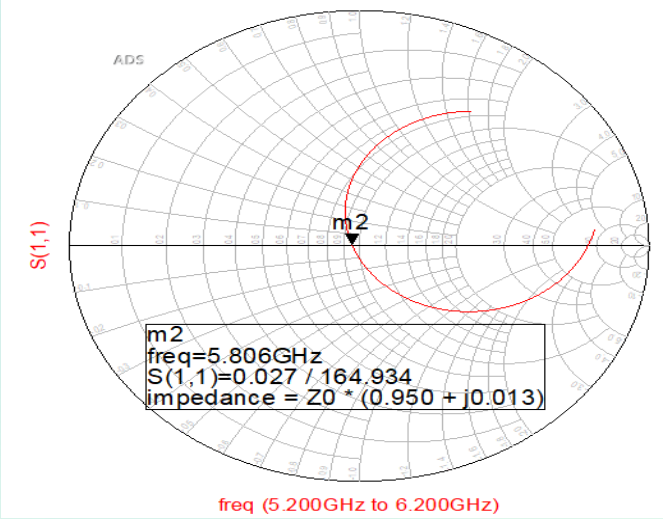
- Dimensiones del parche de cobre: W=21.12 mm L=418,11 mm y l=6.599 mm
- Frecuencia de operación: 5.8 GHz
- Impedancia característica: 50 Ω
- Grosor del sustrato de algodón (h): 0.73148 mm
- Constante dieléctrica (εr): 2
- Tangente de pérdidas (tan δ): 0.02

# Diseño de una antena-sensor








| | |
|---|---|
| Frequency (GHz) | 5.8 |
| Input power (Watts) | 0.00249881 |
| Radiated power (Watts) | 0.00080371 |
| Directivity(dBi) | 7.81911 |
| Gain (dBi) | 2.89277 |
| Radiation efficiency (%) | 32.1637 |

# Diseño de una antena-sensor

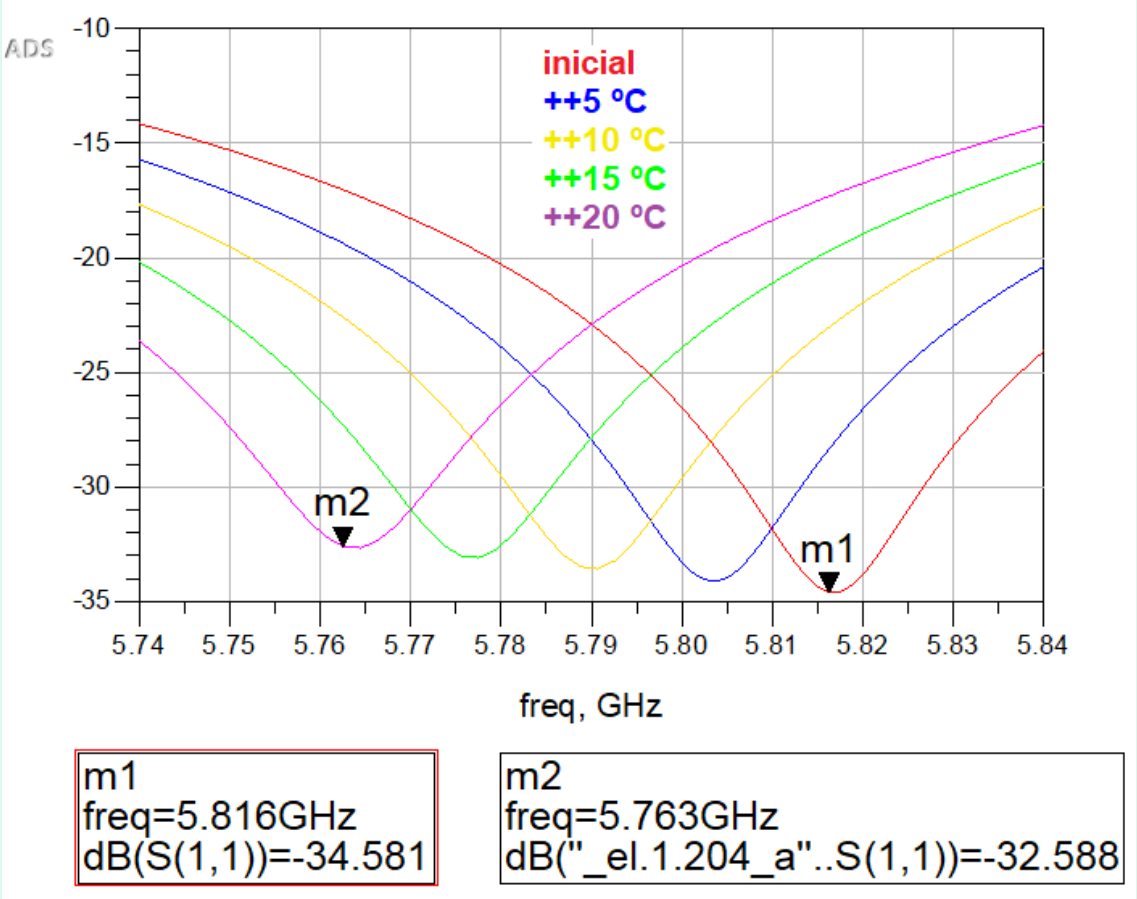


| Temperatura | inicial | ++5 ℃ | ++10 ℃ | ++15 ℃ | ++20 ℃ |
|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia de operación | 5.816 GHz | 5.804 GHz | 5.791 GHz | 5.777 GHz | 2.763 GHz |

reducción de entre 12 y 14 MHz para cada aumento de 10 ℃

| Temperatura | inicial | ++1 ℃ | ++2 ℃ | ++3 ℃ | ++4 ℃ | ++5 ℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia de operación | 5.817 GHz | 5.813 GHz | 5.810 GHz | 5.808 GHz | 5.805 GHz | 5.803 GHz |

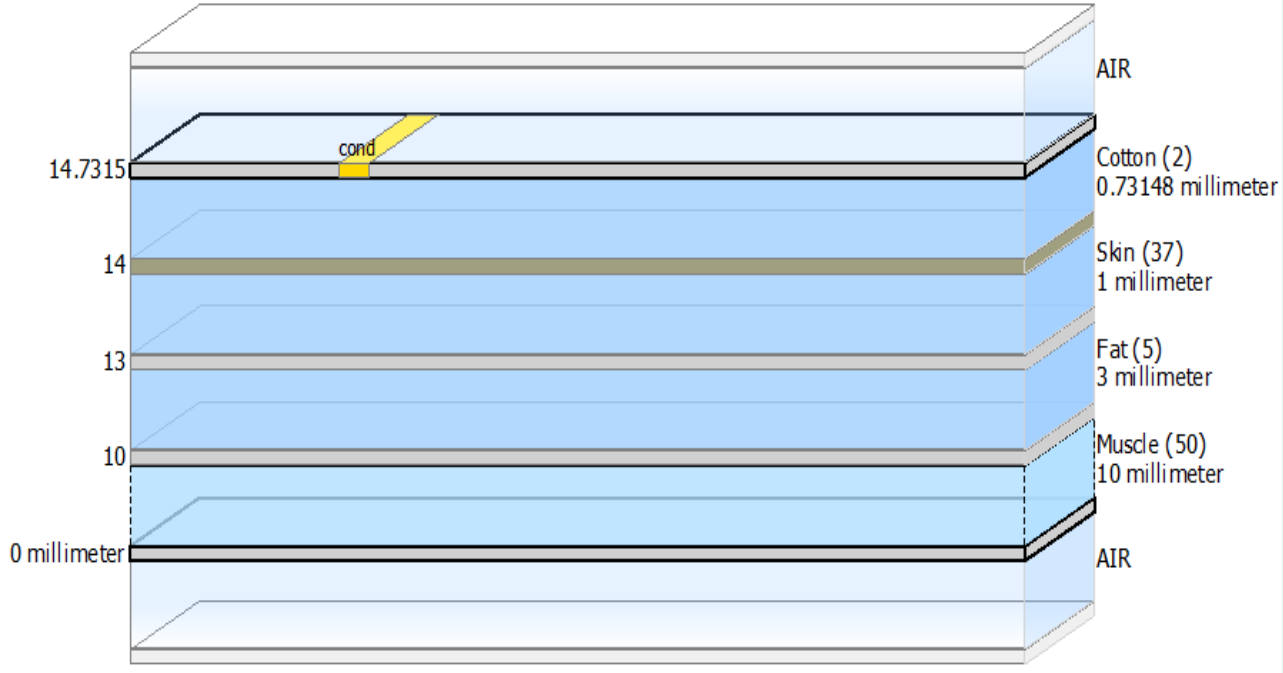
reducción de entre 2 y 4 MHz para cada aumento de 1 ℃

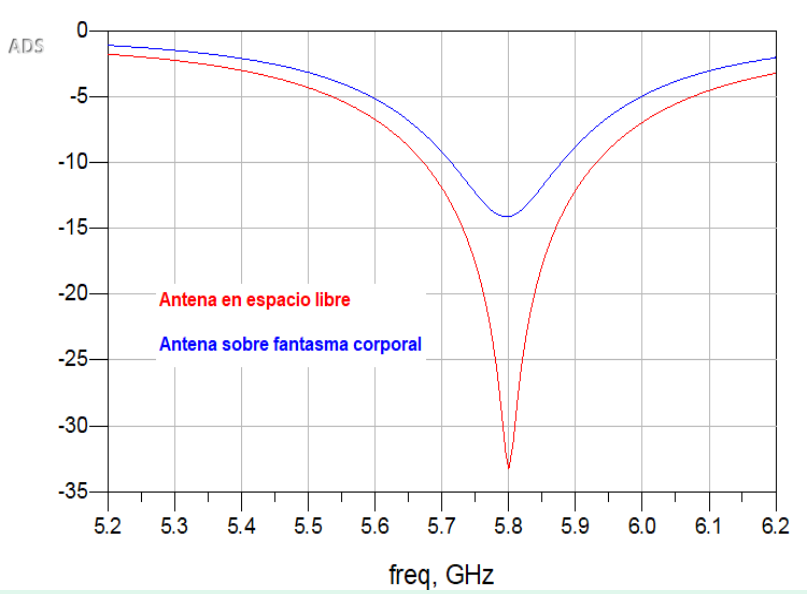


# Diseño de una antena-sensor



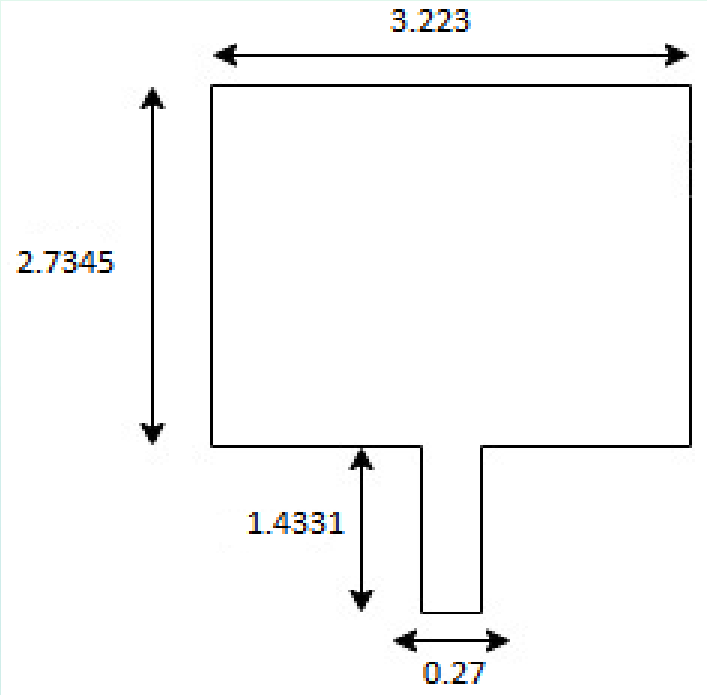
## Fantasma corporal



# Optimización del diseño

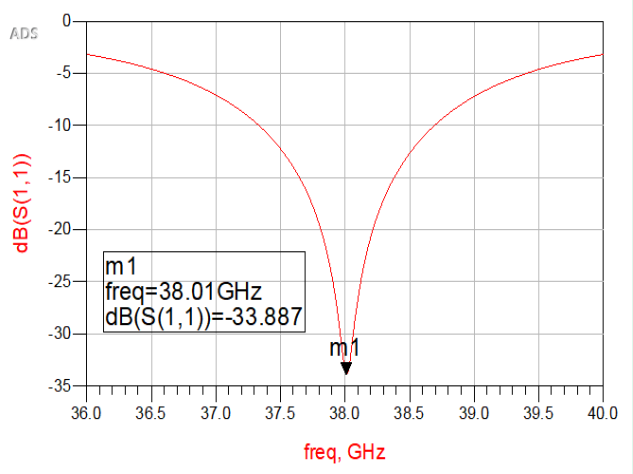


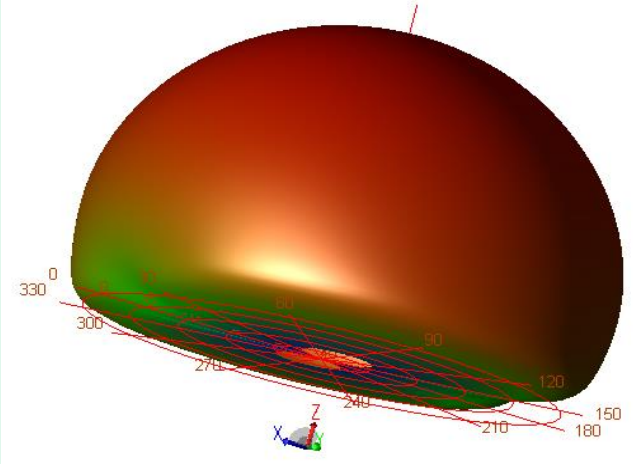


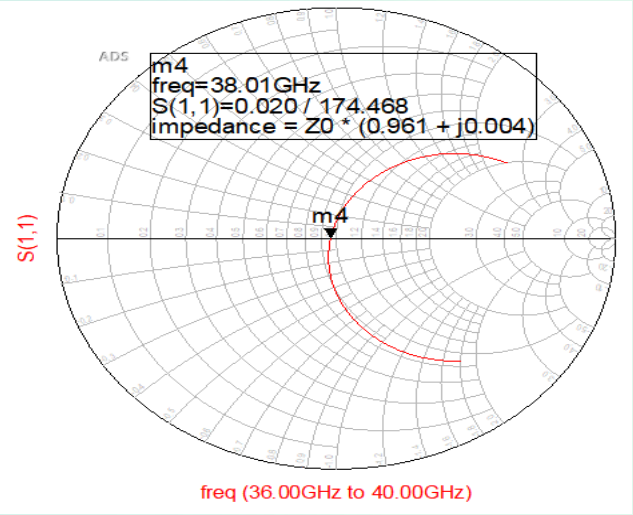

- Dimensiones del parche de cobre: W=3.223 mm L=2.7345 mm y l=1.4331 mm
- Frecuencia de operación: 38 GHz
- Impedancia característica: 50 Ω
- Grosor del sustrato de algodón (h): 0.1579 mm
- Constante dieléctrica (εr): 2
- Tangente de pérdidas (tan δ): 0.02

# Optimización del diseño







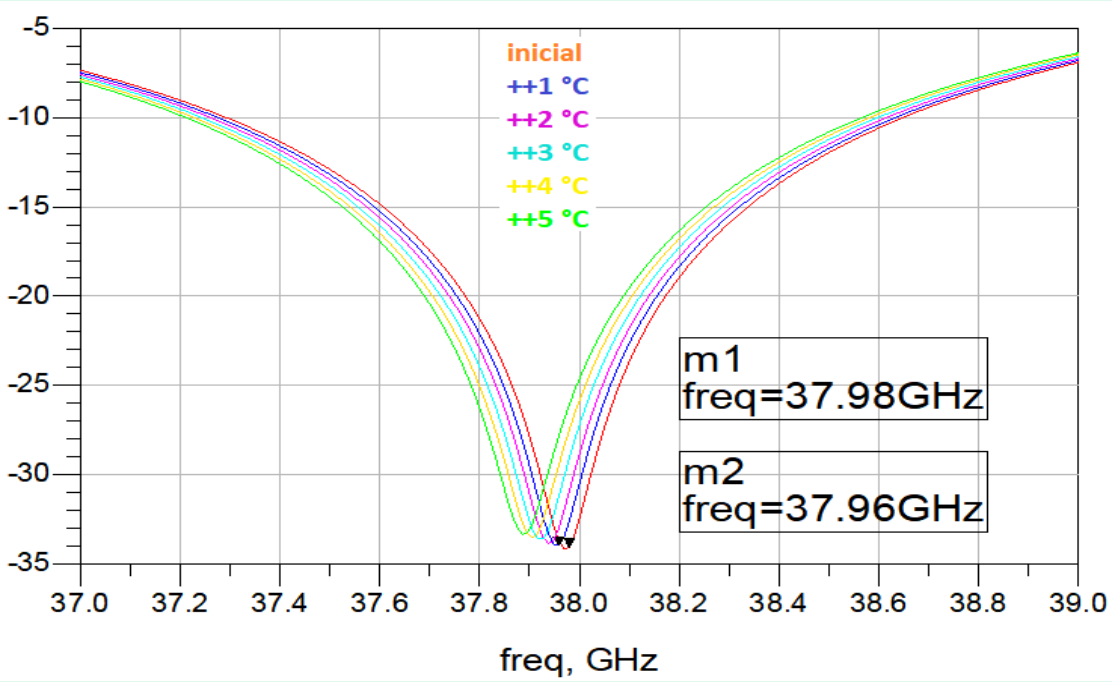

| | |
|---|---|
| Frequency (GHz) | 38 |
| Input power (Watts) | 0.00249889 |
| Radiated power (Watts) | 0.00136437 |
| Directivity(dBi) | 7.79011 |
| Gain (dBi) | 5.16198 |
| Radiation efficiency (%) | 54.5992 |

# Optimización del diseño



| Temperatura | inicial | ++1 ℃ | ++2 ℃ | ++3 ℃ | ++4 ℃ | ++5 ℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia de operación | 37,98 GHz | 37,96 GHz | 37,94 GHz | 37,92 GHz | 37,90 GHz | 37,88 GHz |

reducción de 20 MHz
para cada aumento de 1 ℃



# Optimización del diseño



| | Primer diseño propio | Diseño propio optimizado |
|---|---|---|
| **Tipo de antena** | Parche microstrip rectangular | Parche microstrip rectangular |
| **Dimensiones parche** | W=21.116 mm<br>L=18.11 mm | W=3.223 mm<br>L=2.7345 mm |
| **Dimensiones línea transmisión** | l=6.5985 mm<br>ancho=1.7 mm | l=1.4331 mm<br>ancho=0.27 mm |
| **Sustrato** | algodón: εr= 2, tanδ=0.02 y h=0.73148 mm | algodón: εr= 2, tanδ=0.02 y h=0.1579 mm |
| **Frecuencia resonancia** | 5.8 GHz | 38 GHz |
| **Coeficiente de reflexión** | −33.232 dB | −33.887 dB |
| **Sensibilidad** | entre 2 y 4 MHz para aumentos de 1 ℃ | 20 MHz para aumentos de 1 ℃ |
| **Ancho de banda a −10 dB** | 258 MHz | 1.36 GHz |
| **Ganancia** | 2.89 dBi | 5.16 dBi |
| **Directividad** | 7.8 dBi | 7.8 dBi |
| **Eficiencia de radiación** | 32.16 % | 54.6 % |

# Conclusiones y líneas futuras



## Conclusiones

- Ventajas de las antenas-sensor
- Ventajas sustratos flexibles
- Ventajas *inkjet printing*
- Aumentar la frecuencia de trabajo

## Líneas futuras

- Fabricación real
- Pruebas SAR
- Retos de trabajar a tan alta frecuencia

# ¡Muchas gracias por su atención!