

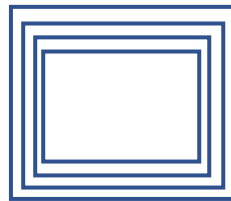
ESEIAAT

Trabajo de Final de Grado

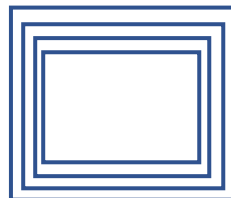


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa



Estudio, diseño y fabricación de un lector NFC en ropa



**Grado:** Ingeniería de Sistemas Audiovisuales

**Autora:** Paula Paez Morales

**Director:** Ignacio Gil Gali

Terrassa, 21 de junio de 2020

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer, al profesor Ignacio Gil, la propuesta del trabajo y toda la ayuda recibida durante el desarrollo del mismo. También quiero agradecerle la paciencia que ha mostrado durante los momentos en los que me bloqueaba. Ha sido el profesor de Emisores y Receptores que me ha motivado a hacer el proyecto con él.

Agradecer a mi familia, a mis amigos y, sobre todo, a mi madre toda la paciencia que ha tenido en mis momentos de estrés y agobio y por toda la ayuda recibida durante el desarrollo del trabajo.

## Resumen

En este proyecto de investigación, se han diseñado y simulado dos antenas RFID, que funcionan con chips diferentes y que resuenan a una frecuencia de 13.56 MHz, que es la frecuencia utilizada para la tecnología NFC.

Actualmente, encontramos este tipo de tecnología en tarjetas de crédito, llaves y etiquetas de ropa, que nos ayudan en nuestra vida cotidiana. Concretamente, este tipo de antenas en ropa y en la propia piel humana se están empezando a investigar, por lo que su cantidad en el mercado es reducida.

Una vez hecho el diseño de las antenas, se ha procedido a realizar sus respectivas simulaciones con el software ADS de Keysight Technologies y se han mostrado los resultados de las antenas con ambos chips.

Con los resultados obtenidos, en trabajos futuros, se implementará la antena diseñada con mejores resultados en un tejano y se realizarán las medidas oportunas para asegurar que no perjudica ni al ser humano y ni al medio ambiente.

## Abstract

In this research project, two RFID antennas have been designed and simulated, which work with different chips and resonate at a frequency of 13.56 MHz, which is the frequency used for NFC technology.

Currently, we find this kind of technology in credit cards, keys and clothing labels, which help us in our daily lives. Specifically, this type of antennas on clothes and on human skin itself, are beginning to be investigated, so their quantity on the market is reduced.

Once the design of the antennas has been made, their simulations have been carried out with Keysight Technologies' ADS software and the results of the antennas with both chips have been shown.

With the results obtained, in future work, the antenna designed with the best results will be implemented in a jean and the appropriate measures will be taken to ensure that it does not harm neither humans and the environment.

## Declaración de honor

I declare that,

she works in this Master Thesis / Degree Thesis (choose one) is completely my own work,

no part of this Master Thesis / Degree Thesis (choose one) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (choose one) related information

I'm providing in this document (select when it applies).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Paula Paez Morales

20-06-2020

\_\_\_\_\_

Student Name

\_\_\_\_\_

Signature

\_\_\_\_\_

Date

Title of the Thesis: ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN LECTOR NFC EN ROPA.

## Índice

Agradecimientos .....	pag 2
Resumen .....	pag 3
Abstract .....	pag 4
Declaración de honor.....	pag 5
Índice .....	pag 6-8
Lista de tablas .....	pag 9-10
Lista de figuras .....	pag 10-14
Lista de ecuaciones.....	pag 14-15
Lista de acrónimos .....	pag 15-17
1. Introducción .....	pag 18-21
1.1 Objetivo.....	pag 19
1.2 Alcance .....	pag 19-20
1.3 Requerimientos .....	pag 20
1.4 Justificación y utilidad.....	pag 21
2. Desarrollo.....	pag 22-30
2.1 Antecedentes y Estado del Arte.....	pag 23-28
2.2 Aplicaciones.....	pag 29-30
3. Planteamiento.....	pag 31-76
3.1 Bandas de frecuencia.....	pag 32-33
3.2 ISM.....	pag 33-34
3.3 Tecnología NFC.....	pag 35-47
3.3.1 RFID.....	pag 35-36
3.3.2 RFID vs NFC.....	pag 36
3.3.3 ¿Qué es la tecnología NFC? .....	pag 36-37
3.3.4 Características de la tecnología NFC.....	pag 37
3.3.5 NFC Fórum.....	pag 37
3.3.6 Seguridad.....	pag 37-38
3.3.7 Funcionamiento de las antenas NFC.....	pag 38-42
3.3.7.1 Modos de Funcionamiento.....	pag 39-42
3.3.8 NFC tags.....	pag 42-43

3.3.9 Comparando NFC con otras tecnologías inalámbricas.....	pag 44
3.3.10 Diseño.....	pag 45-47
3.3.10.1 Diseño de bobinas.....	pag 45-46
3.3.10.2 Valores típicos de una bobina.....	pag 47
3.4 Antenas textiles.....	pag 48-52
3.4.1 Materiales y técnicas de fabricación.....	pag 48-50
3.4.2 Topologías de antenas para tecnología NFC.....	pag 51-52
3.5 Parámetros de las antenas.....	pag 53-62
3.5.1 Impedancia.....	pag 53-54
3.5.2 Ancho de banda.....	pag 54-55
3.5.3 Patrón de radiación.....	pag 55-58
3.5.4 Polarización .....	pag 58-59
3.5.5 Eficiencia.....	pag 59
3.5.6 Directividad .....	pag 59-60
3.5.7 Ganancia.....	pag 60
3.5.8 Parámetros de dispersión.....	pag 61-62
3.6 SAR.....	pag 63-64
3.7 Materiales.....	pag 65-67
3.7.1 Tela.....	pag 65
3.7.2 Hilos.....	pag 66-67
3.8 Hardware.....	pag 68-70
3.8.1 MLX90129.....	pag 68-69
3.8.2 SL13A.....	pag 69-70
3.9 Software.....	pag 70-72
3.9.1 Advanced Design System (ADS) .....	pag 70-71
3.9.2 Microsoft Project.....	pag 72
3.9.3 Gerbview.....	pag 72
3.9.4 Digitizer EX.....	pag 72
3.10 Maquinaria .....	pag 73-76
3.10.1 Singer Futura XL-550.....	pag 73
3.10.2 RF Diagnostic Chamber de ROHDE & SCHWARZ.....	pag 74
3.10.3 Fieldfox N9916A Microwave Analyzer.....	pag 75
3.10.4 Agilent Technologies CalKit 85521A .....	pag 75
3.10.5 TENMA 72-7730A.....	pag 76

4. Diseño de una antena de prueba.....	pag 77-84
4.1 Antena Ideal.....	pag 78-79
4.2 Diseño artículo 1.....	pag 80-84
5. Metodología .....	pag 85-105
5.1 Cálculos teóricos .....	pag 86-89
5.1.1 Chip SL13A.....	pag 86-88
5.1.2 Chip MLX90129.....	pag 88-89
5.2 Diseño de la antena.....	pag 90-91
5.2.1 Chip SL13A.....	pag 91
5.2.2 Chip MLX90129.....	pag 91
5.3 Simulaciones.....	pag 92-101
5.3.1 Chip SL13A.....	pag 92-95
5.3.2 Chip MLX90129 .....	pag 96-101
5.4 Resultados .....	pag 102-105
5.4.1 Chip SL13A.....	pag 102-103
5.4.2 Chip MLX90129.....	pag 104-105
6. Procedimiento práctico .....	pag 106-108
6.1 Bordado de la antena.....	pag 107
7.1 Testeado y mediciones.....	pag 108
8. Diagrama de Gantt.....	pag 109-110
9. Presupuesto.....	pag 111-112
12. Conclusiones.....	pag 113-115
13. Trabajos futuros.....	pag 116-117
14. Bibliografía.....	pag 118-128
15. Anexos.....	pag 129-136



## Lista de tablas

Tabla 1: Información almacenada en la etiqueta NFC. Acción iniciada en el dispositivo NFC.....	43
Tabla 2: Valores K1 y K2 según la forma de la bobina. ....	47
Tabla 3: Parámetros del tejano [64]. ....	65
Tabla 4: Hilo Conductivo Shieldex Twisted Yarn.....	66
Tabla 5: Parámetros diseño antena 1.....	80
Tabla 6: Parámetros antena 1 (chip SL13A) .....	87
Tabla 7: Parámetros antena 1 modificados (chip SL13A) .....	88
Tabla 8: Parámetros antena 2 (chip MLX90129) .....	89
Tabla 9: Parámetros antena 1 (Chip SL13A) .....	91
Tabla 10: Parámetros antena 2 (Chip MLX90129) .....	91
Tabla 11: Parámetros cambio 1.1.....	93
Tabla 12: Parámetros cambio 1.2.....	94
Tabla 13: Parámetros cambio 1.10.....	95
Tabla 14: Parámetros cambio 2.1.....	97
Tabla 15: Parámetros cambio 2.2.....	98
Tabla 16: Parámetros cambio 2.3.....	99
Tabla 17: Parámetros cambio 2.4.....	100
Tabla 18: Parámetros cambio 2.5.....	101
Tabla 19: Presupuesto. ....	112
Tabla 20: Tabla de resultados. ....	114
Tabla 21: Parámetros cambio 1.3. ....	129
Tabla 22: Parámetros cambio 1.4. ....	130
Tabla 23: Parámetros cambio 1.5. ....	131
Tabla 24: Parámetros cambio 1.6. ....	132

Tabla 25: Parámetros cambio 1.7. ....	133
Tabla 26: Parámetros cambio 1.8. ....	134
Tabla 27: Parámetros cambio 1.9. ....	135

## Lista de Figuras

Figura 1: Funcionamiento de un sistema RFID. ....	24
Figura 2: Diferencias Código de barras y RFID. ....	25
Figura 3: Diferentes tecnologías y distancias de funcionamiento. ....	26
Figura 4: Funcionamiento de un sistema NFC. ....	26
Figura 5: Lector NFC y Sensor desarrollados por Akihito Noda de la Universidad de Niza con la Agencia de ciencia y tecnología de Japón.....	28
Figura 6: Tarjeta contactless. ....	29
Figura 7: Teléfono móvil con antena RFID para contactless. ....	29
Figura 8: Llave NFC. ....	30
Figura 9: Calcetines con NFC. ....	30
Figura 10: Uñas NFC. ....	30
Figura 11: Bandas de frecuencia. ....	33
Figura 12: UN-114 Aplicaciones de bucle inductivo (BOE). ....	34
Figura 13: Bandas de frecuencia RFID. ....	36
Figura 14: Dispositivos NFC. ....	37
Figura 15: Dispositivo NFC. ....	38
Figura 16: Modo Lectura/Escritura. ....	39
Figura 17: Modo <i>Peer to Peer</i> . ....	39
Figura 18: Modo emulación de tarjeta. ....	40
Figura 19: Modo carga inalámbrica. ....	40
Figura 20: Modo emulación de tarjeta Host. ....	41

Figura 21: Modo de emulación de tarjeta basada en elementos seguros. ....	41
Figura 22: Detección dispositivo NFC. ....	42
Figura 23: Línea de transmisión (antena+ chip). ....	45
Figura 24: Carta de Smith. ....	46
Figura 25: Formas de una bobina. ....	47
Figura 26: Lámina metálica unida a un textil. ....	48
Figura 27: Tela Nora Dell. ....	49
Figura 28: Técnica Woven Pattern. ....	49
Figura 29: Antena con ferrita. ....	51
Figura 30: pulsera identificación para el control de acceso (NTAG 213). ....	52
Figura 31: NFC tag Bullseye NTAG 216 para stickers, posters, marketing.....	52
Figura 32: Línea de transmisión. ....	53
Figura 33: Ancho de banda. ....	55
Figura 34: Coordenadas esféricas. ....	56
Figura 35: a) Patrón de elevación de un dipolo genérico b) Patrón de azimut de un dipolo genérico c) Diagrama de radiación en 3D. ....	56
Figura 36: Diagramas de radiación. ....	57
Figura 37: Lóbulos. ....	58
Figura 38: HPBW. ....	58
Figura 39: Línea de transmisión con 2 puertos. ....	61
Figura 40: SAR de un dispositivo móvil. ....	64
Figura 41: Tejano o denim. ....	65
Figura 42: Ovillo de hilo plateado Shieldex. ....	66
Figura 43: Ovillo de hilo Bekinox. ....	67
Figura 44: Ovillo de hilo Bekinox de acero inoxidable. ....	67

Figura 45: Esquema chip MLX90129. ....	68
Figura 46: Esquema chip SL13A. ....	69
Figura 47: ADS Momentum. ....	71
Figura 48: Microsoft Project. ....	72
Figura 49: Singer Futura XL-550. ....	73
Figura 50: Cámara anecoica. ....	74
Figura 51: Fieldfox N9916A Microwave Analyzer. ....	75
Figura 52: Calkit 85521A. ....	75
Figura 53: Tenma 72-7730A. ....	76
Figura 54: Esquema tanque LC. ....	78
Figura 55: Parámetro S21 de la antena ideal. ....	79
Figura 56: Parámetro S11 de la antena ideal. ....	79
Figura 57: Layout de la antena 1. ....	80
Figura 58: Sustrato de la antena 1. ....	81
Figura 59: Configuración de la simulación 1. ....	81
Figura 60: Esquema de la antena 1. ....	82
Figura 61: Parámetros S21 y S11 d la simulación de la antena 1.....	82
Figura 62: Esquema cálculo inductancia de la antena. ....	83
Figura 63: Fórmulas para el cálculo de la inductancia. ....	83
Figura 64: Gráfica de la inductancia de los valores de la antena. ....	83
Figura 65: Parámetro S11 de la simulación en ADS con 1 puerto. ....	84
Figura 66: Parámetro S11 obtenido en el artículo. ....	84
Figura 67: 'Datasheet' del chip SL13A. ....	86
Figura 68: 'Datasheet' del chip MLX90129. ....	88
Figura 69: Software Simulador RF eDesignSuite. ....	90

Figura 70: Sustrato final con hilo de plata y tejano. ....	90
Figura 71: Diseño de la antena para el chip SL13A. ....	91
Figura 72: Diseño de la antena para el chip MLX90129. ....	91
Figura 73: Esquema Simulación 1 del chip SL13A. ....	92
Figura 74: Parámetro S11 de la Simulación 1. ....	92
Figura 75: Cambio 1.1 de la antena para el chip SL13A. ....	93
Figura 76: Parámetro S11 del cambio 1.1.....	93
Figura 77: Cambio 1.2 de la antena para el chip SL13A. ....	94
Figura 78: Parámetro S11 del cambio 1.2.....	94
Figura 79: Cambio 1.10 de la antena para el chip SL13A.....	95
Figura 80: Parámetro S11 del cambio 1.10.....	95
Figura 81: Esquema Simulación 2 del chip MLX90129. ....	96
Figura 82: Parámetro S11 de la Simulación 2.....	96
Figura 83: Cambio 2.1 de la antena para el chip MLX90129. ....	97
Figura 84: Parámetro S11 del cambio 2.1.....	97
Figura 85: Cambio 2.2 de la antena para el chip MLX90129. ....	98
Figura 86: Parámetro S11 del cambio 2.2.....	98
Figura 87: Cambio 2.3 de la antena para el chip MLX90129.....	99
Figura 88: Parámetro S11 del cambio 2.3.....	99
Figura 89: Cambio 2.4 de la antena para el chip MLX90129.....	100
Figura 90: Parámetro S11 del cambio 2.4.....	100
Figura 91: Cambio 2.5 de la antena para el chip MLX90129.....	101
Figura 92: Parámetro S11 del cambio 2.5.....	101
Figura 93: Circuito cálculo inductancia SL13A con 1 puerto. ....	102
Figura 94: Valor de la inductancia para el chip SL13A con 1 puerto. ....	102

Figura 95: Parámetro S11 con 1 puerto (SL13A). .....	102
Figura 96: Parámetro S21 con 2 puertos (SL13A). .....	102
Figura 97: Circuito cálculo inductancia MLX90129 con 1 puerto. ....	104
Figura 98: Valor de la inductancia para el chip MLX90129 con 1 puerto. ....	104
Figura 99: Parámetro S11 con 1 puerto (MLX90129). .....	104
Figura 100: Parámetro S21 con 2 puertos (MLX90129). .....	104
Figura 101: Diagrama de Gantt. ....	110
Figura 102: Cambio 1.3 de la antena para el chip SL13A. ....	129
Figura 103: Parámetro S11 del cambio 1.3. ....	129
Figura 104: Cambio 1.4 de la antena para el chip SL13A. ....	130
Figura 105: Parámetro S11 del cambio 1.4. ....	130
Figura 106: Cambio 1.5 de la antena para el chip SL13A. ....	131
Figura 107: Parámetro S11 del cambio 1.5. ....	131
Figura 108: Cambio 1.6 de la antena para el chip SL13A. ....	132
Figura 109: Parámetro S11 del cambio 1.6. ....	132
Figura 110: Cambio 1.7 de la antena para el chip SL13A. ....	133
Figura 111: Parámetro S11 del cambio 1.7. ....	133
Figura 112: Cambio 1.8 de la antena para el chip SL13A. ....	134
Figura 113: Parámetro S11 del cambio 1.8. ....	134
Figura 114: Cambio 1.9 de la antena para el chip SL13A. ....	135
Figura 115: Parámetro S11 del cambio 1.9. ....	135

## Lista de ecuaciones

(1) Fórmula general sistema LC. ....	45
(2) Inductancia a partir de la forma de la antena. ....	46
(3) Cálculo de p. ....	46

(4) Fórmula impedancia. ....	53
(5) Impedancia con Resistencia y Reactancia. ....	53
(6) Impedancia como suma de Resistencia Óhmica y Resistencia de Radiación + Reactancia....	54
(7) Potencia entregada a la antena. ....	54
(8) Ancho de Banda. ....	55
(9) Rendimiento. ....	59
(10) Directividad. ....	60
(11) Ganancia. ....	60
(12) Coeficiente de reflexión de carga. ....	61
(13) Coeficiente de reflexión de entrada. ....	61
(14) Coeficiente de reflexión de la fuente. ....	62
(15) Coeficiente de reflexión de salida. ....	62
(16) Fórmulas cálculo parámetros S. ....	62
(17) Fórmulas cálculo a1, a2, b1, b2. ....	62
(18) SAR.....	63
(19) Cálculo de inductancia con el valor de la C del chip SL13A.....	86
(20) Cálculo de inductancia con los parámetros de diseño de la antena 1.....	87
(21) Cálculo de inductancia con los parámetros de diseño de la antena 1 modificados.....	87
(22) Cálculo de inductancia con el valor de la C del chip MLX90129.....	88
(23) Cálculo de inductancia con los parámetros de diseño de la antena 2.....	89

## Lista de acrónimos

ISM: Industrial, Scientific, Medical.

ADS: Advanced Design System.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ELF: Extremely Low Frequency (3-30 Hz)

VLF: Very Low Frequency (3-30 kHz)

LF: Low Frequency (125 kHz to 134 kHz).

HF: High Frequency (3 MHz to 300 MHz).

VHF: Very High Frequency (30 – 300 MHz).

UHF: Ultra High frequency (856 MHz to 960 MHz).

Paula Paez Morales

SHF: Super High Frequency (3 GHz to 30 GHz).

EHF: Extremely High Frequency (30 GHz to 300 GHz).

IoT: Internet of Things.

SAR: Tasa de absorción específica.

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio.

HPBW: Half Power Beam Width.

FNBW: First Null Beam Width.

FBW: Ancho de Banda Fraccional.

WLAN: Wireless Local Area Network.

NFC: Comunicación de Campo Cercano (Near Field Communication).

RFID: Identificación por radiofrecuencia (Radio Frequency Identification).

EPC: Electronic Product Code.

UCC: Empresa UCC.

EAN: European Article Number.

Wi-Fi: Fidelidad inalámbrica (Wireless Fidelity).

GPRS: General Packet Radio Service.

ISO: Organización Internacional de Estandarización.

IEC: Comisión electrotécnica Internacional.

ISO/IEC 14443: Estándar internacional relacionado con tarjetas y dispositivos de seguridad de identificación personal electrónicas [94].

GSM: Global System for Mobile.

RSV: Virus Sincital Respiratorio.

CNAF: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

BOE: Boletín Oficial del Estado.

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones.



Paula Paez Morales

API: Application Programming Interface.

NCI: Interfaz de Controlador NFC.

HCE: Host Card Emulation.

SIM: Módulo de identificación de abonado (Subscriber Identify Module) [93].

NDEF: NFC Data Exchange Format.

IrDa: Asociación de Datos Infra-rojos.

E-textile: Electro textiles.

AM: Amplitud Modulada.

RF: Radiofrecuencia.

TAG: Etiqueta RFID [92].

BK: Bekinox.

ASK: Amplitude Shift Keying.

EEPROM: ROM programable y borrable eléctricamente (electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) [91].

MoM: Momentos del Dominio de la Frecuencia.

N: Número de vueltas de la bobina

S: '*Spacing*', espacio entre líneas de la bobina.

LW: Ancho de línea de la bobina.

MoM: Momentos del Dominio de la Frecuencia.

EM: Electromagnético

ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

FCC: Comisión Federal de Comunicaciones.

## 1. Introducción

## 1.1 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es diseñar, simular, implementar y medir un lector NFC wearable, con el propósito de integrarlo en una prenda de ropa que pueda llevar cualquier persona y con la finalidad de obtener la temperatura corporal de la misma.

Para ello, se averiguará el funcionamiento de la antena del lector, cómo radiará, como afectará a nuestro cuerpo, etc.

Más tarde, se bordará el lector en un tejano. Asimismo, se mostrarán las simulaciones llevadas a cabo con el programa y se comprobará su funcionamiento una vez esté situado en el pantalón.

Las simulaciones se harán con el software ADS de Keysight Technologies y se registrarán los resultados para asegurar que la antena del lector funciona adecuadamente, es decir, se estudiará que los parámetros cumplan los requisitos establecidos. También se analizarán la eficiencia y la directividad con una banda de frecuencia ISM a 13.56 MHz para poder interactuar con tecnologías NFC.

Una vez realizadas las simulaciones, se bordará la antena del lector NFC con un hilo de plata en un sustrato tejano, teniendo en cuenta los límites establecidos del campo eléctrico inducido y radiado que acepta el cuerpo humano.

Finalmente, se verificarán los resultados obtenidos con las medidas tomadas con el equipamiento adecuado.

## 1.2 Alcance

Actualmente, nos encontramos en una sociedad con continuos cambios que han provocado la aparición de nuevas tecnologías totalmente necesarias en nuestro día a día. Por este motivo, también surge la necesidad de que, dichas tecnologías, sean fáciles de utilizar y cómodas para cualquier usuario.

Estas últimas décadas se ha investigado profundamente cómo introducir las antenas en los tejidos y en diferentes dispositivos, de manera que no perjudiquen ni la salud humana ni el medioambiente, con el objetivo de agilizar ciertos procesos cotidianos. Es un claro ejemplo la tecnología NFC, con la que se han creado tarjetas sin contacto (*'contactless'*) para poder realizar transacciones más rápidamente.

Para la realización del proyecto, se hará un estudio previo de las antenas para lectores NFC que se han fabricado en el sector textil y la forma que tienen. Sobre todo, se aprenderá a utilizar el software ADS y se simularán diferentes antenas con diferentes chips con sensores de temperatura.

Una vez hechos los cálculos previos teóricos, se diseñará la antena del lector NFC en el software indicado. A continuación, se simulará la antena junto con el chip seleccionado y se analizarán los resultados. Si se modificara cualquier parámetro de la antena para asegurar su correcto funcionamiento, se plasmará en la memoria del proyecto.

Posteriormente, se medirá la tasa de absorción (SAR), que indicará en nivel de seguridad del lector diseñado y cómo reaccionará al tejido humano. Finalmente, se implementará y se harán las mediciones correspondientes.

### 1.3 Requerimientos

Para llevar a cabo el proyecto, se simulará el diseño de las antenas para el lector NFC con el software ADS (Advanced Design System) y con el que se analizarán los diferentes parámetros de la antena detenidamente.

La antena deberá cumplir las especificaciones del parámetro S11, es decir, en la gráfica resultante de la simulación, se observará un pico de entre unos -25 dB o más decibelios a la frecuencia resonante establecida (13.56 MHz). Además, se tomará en consideración la eficiencia y que la tasa de absorción corporal se encuentre dentro de los límites establecidos por el gobierno.

Por otro lado, se tendrá en cuenta que el proyecto no cumplirá ninguna norma ISO, por lo que el tamaño de la antena no dependerá de la misma.

## 1.4 Justificación y utilidad

Cada vez se encuentran más dispositivos IoT que utilizamos en nuestro día a día porque tenemos, cada vez, más necesidades de mejorar nuestra calidad de vida y hacerla más eficaz y sencilla. Por este motivo, se busca la manera de aplicar las nuevas tecnologías en aparatos y objetos cotidianos.

En este trabajo, se ha estudiado la aplicación de las antenas bordadas en tejidos textiles para la obtención de la temperatura corporal de un sujeto.

Por otro lado, también se ha centrado el objetivo en la mejora de calidad de vida mencionado anteriormente, puesto que se ha añadido la antena a una prenda de ropa utilizada diariamente por todo el mundo: el tejanos.

Dada la situación actual, presenta una gran oportunidad para ofrecer un avance de este tipo. Igualmente, resulta muy útil en cualquier ámbito, ya sea industrial (para medir la temperatura de trabajadores/as), sanitario, deportivo e incluso para el control de acceso a diferentes recintos, pudiendo, de forma rápida y sencilla, tomar la temperatura de todas las personas asistentes.

La antena, se puede añadir a la prenda de ropa sin comprometer las características de la misma, de manera que se puede lavar.

Por parte del diseño, se podría esconder en alguna parte dónde se encuentre el logo de la marca o cualquier tipo de dibujo en dicha prenda.

El chip que lleva incorporado es prácticamente indetectable, debido a su pequeño tamaño. Además, se pueden extraer los datos necesarios con un teléfono móvil que interactúe con la tecnología NFC.

Si se sigue investigando este terreno, se podrán incorporar este tipo de antenas en la propia piel humana [1], tal y como se está estudiando actualmente, de manera que hará notoria la mejora del estilo de vida en muchos aspectos.

## 2. Desarrollo

En este apartado se explicará la evolución de la tecnología RFID hasta llegar a la NFC.

Por otro lado, se detallará la justificación del desarrollo de este proyecto y su utilidad una vez terminado.

## 2.1 Antecedentes y Estado del Arte

Fue en 1864 cuándo James Clerk Maxwell predijo la existencia de ondas electromagnéticas y Heinrich Hertz quién demostraría la existencia de las mismas mediante la fabricación de un dispositivo que producía y detectaba ondas en la región UHF, en 1888 [5].

La tecnología NFC se basa en la tecnología **RFID**, que apareció hace décadas, durante la 2ª Guerra Mundial [10], para poder enviar mensajes con fines de identificación y rastreo para poder distinguir a las aeronaves aliadas de las enemigas a **kilómetros** de distancia [2-3]. Los pilotos giraban los aviones al regresar a la base, de esta manera la señal que retornaba reflejada se modificaba por lo que se podía identificar a los aviones enemigos. Este sistema puede considerarse como el primer sistema RFID pasivo [5], mundialmente conocido como Radar. Tiene su utilidad a larga distancia y trabaja a 2.45 GHz o a frecuencia de microondas [4].

En 1977, empezaron a desarrollarse las primeras aplicaciones comerciales como la identificación de vagones de tren, los peajes automáticos o los sistemas de control de acceso. Como caso típico, se desarrolló el control de ganado con una etiqueta RFID pasiva que informaba si el animal se había vacunado o no [5].

La empresa Wal-Mart fue la impulsora de la tecnología RFID y continuaron investigando las diferentes aplicaciones de la tecnología RFID para diferentes frecuencias [5].

Recientemente se ha aumentado su producción gracias a que, la creación de un código de producto electrónico (EPC), hizo esta tecnología más atractiva.

El EPC (*'Electronic Product Code'*) es el estándar diseñado para asignar un identificador único a cada artículo. Consiste en cuatro secuencias de dígitos binarios:

- Un encabezado de ocho bits.
- El gestor EPC (28 bits).
- El tipo de producto (24 bits).
- El número de serie del producto (36 bits).

El EPCglobal INC supervisa el desarrollo del estándar. Es una empresa conjunta con la UCC, que regula el uso del código de barras en los EEUU y el EAN, que los regula en el resto del mundo [5].

La RFID se puede definir como una tecnología de identificación automática compuesta por etiquetas incorporadas en cualquier objeto o animales o personas y por un lector especializado en RFID que lee la información almacenada en las etiquetas y la transfiere a un ordenador, por ejemplo [3].

Una tag o etiqueta electrónica contiene un microchip y una antena que puede adherirse a cualquier producto. El microchip almacena un número de identificación como un EPC.

Como podemos seguir en la figura 1, el funcionamiento de un sistema RFID se trata de un **lector** que está conectado a una antena, la cual envía una serie de ondas de radiofrecuencias al **tag** que son captadas por la micro antena de este. Seguidamente, dichas ondas activan el **microchip**, el cual transmite a la antena del lector la información que tenga en su memoria. Para terminar, el lector recibe la información del tag y la envía a la base de datos, en la que previamente se han registrado las características del producto [5].

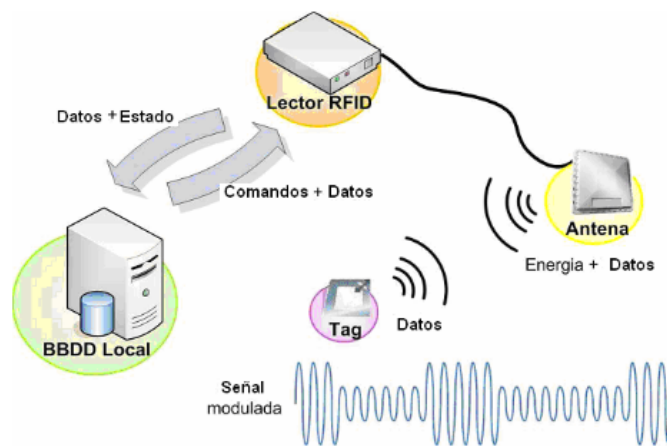


Figura 1: Funcionamiento de un sistema RFID [5]

La comunicación entre el lector y la etiqueta se realiza a través de señales de radiofrecuencia [5].

Los sistemas RFID pueden considerarse sucesores de los códigos de barras, en los que se reduce la carga de trabajo ya que los datos no se recogen manualmente y se puede almacenar más



información, como se ha comentado anteriormente. Dichas diferencias se pueden ver en la siguiente figura:

Características	Código de barras	RFID
Capacidad / Identificación	Espacio limitado / Estandarizada	Mayor cantidad de información / Unívoca por producto
Actualización Lectura	Sólo una lectura cada vez	Lectura / escritura simultánea
Tipo de lectura	Sólo en superficie	A través de diversos materiales
Flexibilidad	Requiere línea de visión para lectura	No requiere línea de visión para lectura
Precisión / Durabilidad	Requiere intervención humana / Puede estropearse fácilmente	100 % automático / Soporta ambientes agresivos

Figura 2: Diferencias Código de barras y RFID [6]

Desde 2014, todos los fabricantes de teléfonos inteligentes han estado ofreciendo conectividad **NFC** (Comunicación de Campo Cercano), que utiliza las propiedades electromagnéticas de la radiofrecuencia a través de **distancias muy cortas** para la transmisión de datos entre dos dispositivos o entre etiquetas y dispositivos. Existen etiquetas que actúan de forma pasiva, de manera que se alimentan de las ondas de radio electromagnéticas enviadas por el dispositivo periférico, que inicia la comunicación (lector) [3,9].

Los dispositivos NFC actúan a una frecuencia dentro del rango de la RFID. Sin embargo, la tecnología NFC ofrece más seguridad ya que, como podemos observar en la figura 3, los dispositivos solo interactúan a unos escasos centímetros, de manera que dificulta la extracción de información de los dispositivos. Así pues, incorpora una encriptación de datos más compleja.

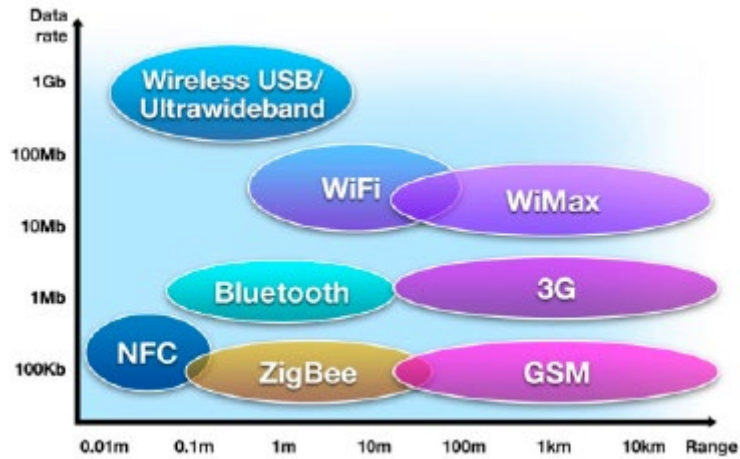


Figura 3: Diferentes tecnologías y distancias de funcionamiento [8]

La tecnología NFC podría ofrecer una conexión con cualquier otro sistema de comunicación inalámbrica (Bluetooth, Wi-Fi, GPRS, 4G, etc.) y permitir el emparejamiento de dispositivos con un simple toque (paradigma “TAP and PLAY”).

El funcionamiento de un sistema NFC se basa en el funcionamiento de un sistema RFID. Un **objetivo** o ‘target’ es un dispositivo que recibe, modifica y responde a la señal emitida por el **iniciador** o dispositivo de lectura/escritura RFID, que es quien inicia y controla el intercambio de información (equivalente al lector en los sistemas RFID). Cualquier dispositivo electrónico con NFC (exceptuando una etiqueta NFC) puede operar como Iniciador o como Objetivo. Todo el proceso lo podemos ver en la figura 4 [5, 11].

Las etiquetas contienen antenas y se sirven de la inducción electromagnética para comunicarse y alimentarse, ya que al aproximarse ambos dispositivos sus campos magnéticos entran en contacto. La distancia entre el lector RFID y el transpondedor se denomina **interfaz de área**.

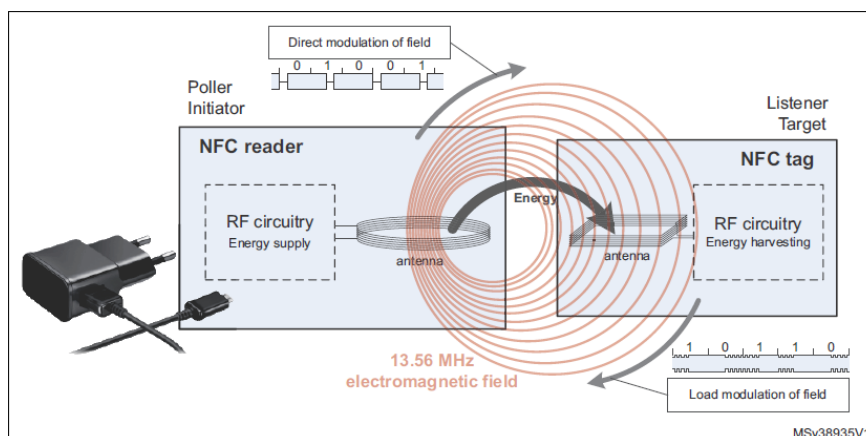


Figura 4: Funcionamiento dispositivo NFC [38]

Un dispositivo NFC puede comunicarse con cualquier tarjeta inteligente y lector existentes dentro del estándar ISO/IEC 1443 y con otros dispositivos NFC [5].

Actualmente, se encuentra en el pago sin contacto, los pasaportes electrónicos, el control de acceso a recintos y los sistemas de billetes de transporte público.

NFC es un radioenlace siempre activo que está impulsando el crecimiento para el emparejamiento simple, la lectura de diagnósticos, la programación de parámetros y mucho más [9].

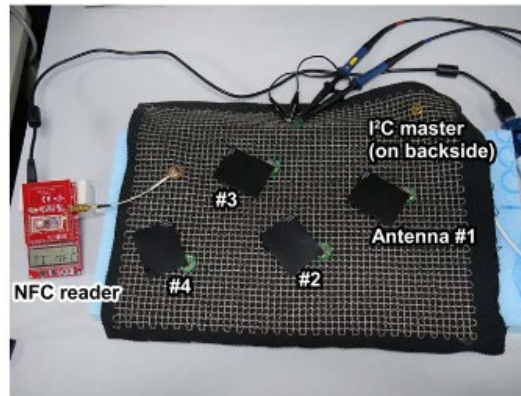
Tiene un gran impacto positivo en muchas de las actividades diarias, por lo que, últimamente, se está estudiando su aplicación en prendas de ropa para cualquier ámbito.

Las primeras investigaciones surgieron en 1993, dónde encontramos antenas para aplicaciones de radar fabricadas con polímeros, que resultaron ser un potencial sustitutivo para reemplazar a los metales en muchas aplicaciones de apantallamiento electrostático [10].

Más adelante, en 1999, se realizó un informe de investigación pública sobre antenas vestibles para quipos vestibles [12]. Desde entonces, la investigación sobre antenas '*wearables*' ha recibido un creciente interés entre los investigadores de universidad y de industria. La antena vestible, puede definirse como una antena diseñada y destinada a una parte de la ropa [10]. En este documento, se borda una antena textil de doble banda para aplicaciones '*wearables*', utilizándose la lana para implantar las antenas en las frecuencias GSM1900 y WLAN. Se obtuvo un resultado coherente, que dio pie a investigaciones posteriores. Como ejemplo, la llevada a cabo en 2004, en la que se estudiaron las antenas vestibles en la vecindad del cuerpo humano a frecuencia de WLAN (2.4 GHz) y en la que resultó que la impedancia y la radiación características de la antena no se veían afectadas por el cuerpo humano [12].

Estos últimos años se ha investigado sobre las antenas en ropa para aplicaciones NFC. En los primeros artículos publicados en IEEE en el 2017, se diseñó una antena puramente textil en forma de espiral para aplicaciones NFC en el cuerpo [13]. Dicha antena se cosió sobre algodón y poliéster con hilos de cobre y acero inoxidable. El resultado obtenido fue el deseado con las especificaciones mencionadas.

Finalmente, se encuentra un artículo del año 2019 dónde se empieza a investigar la tecnología de las antenas para NFC en aplicaciones en el cuerpo para medir y monitorear ciertas constantes vitales del ser humano [14]. En la figura 5 se puede observar el resultado de la fabricación del sistema.



*Figura 5: Lector NFC y Sensor desarrollados por Akihito Noda de la Universidad de Niza con la Agencia de ciencia y tecnología de Japón [14]*

## 2.2 Aplicaciones

Para las antenas NFC existen una infinidad de aplicaciones, muchas de ellas se encuentran en desarrollo. Actualmente, se pueden encontrar sistemas NFC desde el ámbito industrial y sanitario hasta la telefonía móvil, la moda y la seguridad.

Como muestra, en la figura 6, se encuentran las tarjetas de crédito 'contactless', que en su caso llevan la antena incorporada en el interior de la tarjeta, de manera que permite realizar cualquier pago sin necesidad de llevar dinero en efectivo. Evita los engorrosos momentos de tener que sacar la cartera o el monedero en el momento de pagar.



*Figura 6: Tarjeta contactless [15]*

Por otro lado, se pueden hallar este tipo de antenas en los dispositivos móviles, de manera que resulta aún más sencillo realizar las transacciones de una forma más eficiente y eficaz [16].



*Figura 7: Teléfono móvil con antena RFID para contactless [16]*

También hay en el mercado llaves con tecnología NFC que incorporan la antena en el llavero o el interior de la llave. Tienen infinidad de aplicaciones [17]:

- Uso privado (poner etiquetas en el hogar, oficina, coche, para activar ajustes o programas).

- Márquetin (V-Card, carteles inteligentes, anuncios, vallas publicitarias, para comunicar información y promoción)
- Corporativo (control de acceso, control de asistencia, fidelización, etc.)
- Social (etiquetas, geolocalización, vídeo, web, etc.)

ShopNFC



NFC Keyfobs

Figura 8: Llave NFC [19]

Semejante ocurre en la figura 18, en que se contempla otro tipo de aplicación muy útil, que surge en el ámbito sanitario, sector en el que se está investigando en profundidad su uso para prevenir diferentes enfermedades.

Como ejemplo, la empresa Owlet Care, ha creado unos calcetines para bebés que controlan la frecuencia cardíaca del mismo asegurándose de que no se interrumpa su sueño y su respiración [18].

Este dispositivo ayudará a identificar posibles problemas de salud, como irregularidades en el sueño, RSV, enfermedades respiratorias y defectos cardíacos.



Figura 9: Calcetines con NFC [18]

Para finalizar, en la figura 10, se observan unas uñas inteligentes llamadas JAKCOM N2, que permiten realizar pagos y desbloquear el teléfono, entre otras aplicaciones, de manera muy eficaz y con una sencilla configuración. No cuentan con materiales tóxicos, son compatibles con los sistemas operativos Android y IOS y contienen 106 KB/s de transmisión de datos.



Figura 10: Uñas con NFC [20]

### 3. Planteamiento

En el apartado del planteamiento se explicarán las bandas de frecuencia utilizadas, la tecnología RFID, la tecnología NFC y los modos de funcionamiento de la misma, el nivel de seguridad de los dispositivos NFC y el fórum NFC.

Por otro lado, también se analizarán los materiales y técnicas de fabricación de antenas textiles, los materiales utilizados en el proyecto y los pasos a seguir para el diseño de la antena a partir de cálculos teóricos.

A continuación, se comentarán los parámetros a tener en cuenta en el momento de diseñar y medir una antena, como los parámetros de dispersión y el SAR, por ejemplo.

Finalmente, se presentarán los chips seleccionados para llevar a cabo el proyecto, el software utilizado y la maquinaria que utilizaremos para fabricar la antena y para hacer las mediciones necesarias.

### 3.1 Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencia son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones. El uso de las diferentes bandas viene regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y puede variar dependiendo de la localización [21] .

En el caso de España, el CNAF contiene la atribución y uso a que se reserva cada una de las bandas de frecuencias en las que se divide el espectro radioeléctrico disponible para radiocomunicaciones, entre 8.3 kHz y 3000 GHz, para evitar interferencias y permitir un uso eficiente del espectro [22]

Por ejemplo, la HF, que comprende un rango desde 3 MHz hasta 30 MHz y es dónde se halla la radiodifusión de onda corta, el radar, la telefonía móvil y marina y antenas RFID (cómo la del proyecto), entre otras [23].



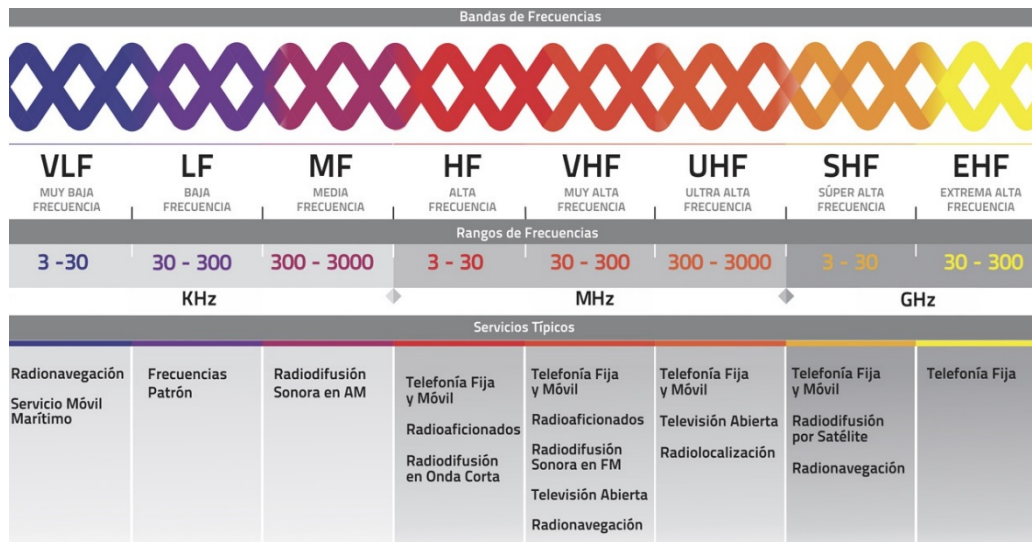


Figura 11: Bandas de frecuencia [84]

### 3.2 ISM

Las bandas de radio industriales, científicas y médicas son bandas de radio reservadas internacionalmente para el uso de la energía de radiofrecuencia para fines industriales, científicos y médicos de las telecomunicaciones. [24]

Las emisiones de los dispositivos de estas bandas pueden generar interferencias electromagnéticas y pueden interrumpir las comunicaciones de radio cuando utilizan la misma frecuencia. Por este motivo, los dispositivos se han limitado a ciertas bandas de frecuencia concretas [25].

La ITU es la organización que ha regulado estas frecuencias ‘no reguladas’.

Por otra parte, hay ciertos usos que nos son industriales, científicos y médicos, por ejemplo, las aplicaciones de identificación por radiofrecuencia (RFID), donde la banda más utilizada se encuentra en los 13.56 MHz que se aplica a sistemas que cumplen la ISO / IEC 14443 [94], incluidos pasaportes biométricos y tarjetas inteligentes sin contacto (*‘contactless’*).

El BOE, establece las frecuencias entre 13.553-13.567 MHz para dispositivos RFID y de vigilancia electrónica de artículos con un campo magnético de 42 dBμA/m a 10 m (figura 12) [26].

Frecuencia	Campo magnético	Notas
9-90 kHz	72 dB $\mu$ A/m a 10 m	
9-315 kHz	30 dB $\mu$ A/m a 10 m	Implantes médicos activos (<10% ciclo trabajo)
90-119 kHz	42 dB $\mu$ A/m a 10 m	
119-135 kHz	66 dB $\mu$ A/m a 10 m	
135-140 kHz	42 dB $\mu$ A/m a 10 m	
140-148,5 kHz	37,7 dB $\mu$ A/m a 10 m	
148,5 kHz-5 MHz	-15 dB $\mu$ A/m a 10 m	Campo máximo de -5 dB $\mu$ A/m a 10 m en banda de 10 kHz, campo máximo de -5 dB $\mu$ A/m a 10 m para ancho de banda >10 kHz
400-600 kHz	-8 dB $\mu$ A/m a 10 m	Para dispositivos RFID en 400-600 kHz. Campo máximo de -8 dB $\mu$ A/m a 10 m en banda de 10 kHz, campo máximo de -5 dB $\mu$ A/m a 10 m para ancho de banda >10 kHz
3155-3400 kHz	13,5 dB $\mu$ A/m a 10 m	
6765-6795 kHz	42 dB $\mu$ A/m a 10 m	
7350-8800 kHz	9 dB $\mu$ A/m a 10 m	
10,2-11,0 MHz	9 dB $\mu$ A/m a 10 m	
13,553-13,567 MHz	42 dB $\mu$ A/m a 10 m	Dispositivos genéricos de bucle inductivo
13,553-13,567 MHz	60 dB $\mu$ A/m a 10 m	Solo para dispositivos RFID y de vigilancia electrónica de artículos (EAS)
26,957-27,283 MHz	42 dB $\mu$ A/m a 10 m	
5-30 MHz	-20 dB $\mu$ A/m a 10 m	Campo máximo de -20 dB $\mu$ A/m a 10 m en banda de 10 kHz, campo máximo de -5 dB $\mu$ A/m a 10 m para ancho de banda >10 kHz

Figura 12: UN-114 Aplicaciones de bucle inductivo (BOE) [27]

## 3.3 Tecnología NFC

### 3.3.1 RFID

La Identificación por Radiofrecuencia es una tecnología que utiliza etiquetas electrónicas colocadas en objetos, personas o animales para transmitir la información de identificación a un lector electrónico por medio de ondas de radio [4].

Un sistema de RFID normalmente consta de dos componentes: etiquetas y lectores. Un lector pregunta a una etiqueta enviando una señal electromagnética, y luego la etiqueta devuelve su información de identificación única u otros datos adicionales (Figura 1).

Hay tres tipos de etiquetas RFID: **activas**, **semiactivas (o semi pasivas)** y **pasivas**, siendo su principal diferencia la fuente de energía de la etiqueta [29].

Las etiquetas **activas** y **semi pasivas** usan baterías internas para alimentar sus circuitos. Sin embargo, una etiqueta activa utiliza su batería para generar y enviar su señal de identificación por sí misma a un lector, mientras que una etiqueta semi pasiva depende de que el lector suministre su energía a través de la retrodispersión.

La etiqueta **pasiva** no necesita ninguna fuente de energía y utiliza la energía incidente del lector para enviar la señal de información correspondiente a través del mecanismo de retrodispersión.

Como es de esperar, el alcance de lectura de las etiquetas pasivas es mucho más corto que el de las activas, pero las RFID activas requieren un cambio de batería periódicamente [30].

Los sistemas RFID varían en diferentes rangos frecuenciales [4]:

- Baja frecuencia o LF: 125-134 kHz.
- Alta frecuencia o HF: 13.56 MHz.
- Ultra alta frecuencia o UHF: 856 MHz a 960 MHz.
- Microondas: 2.45 GHz.

Cómo se puede observar en la figura 13, las antenas para tecnología NFC, son un subgrupo de antenas RFID que actúan a 13.56 MHz.

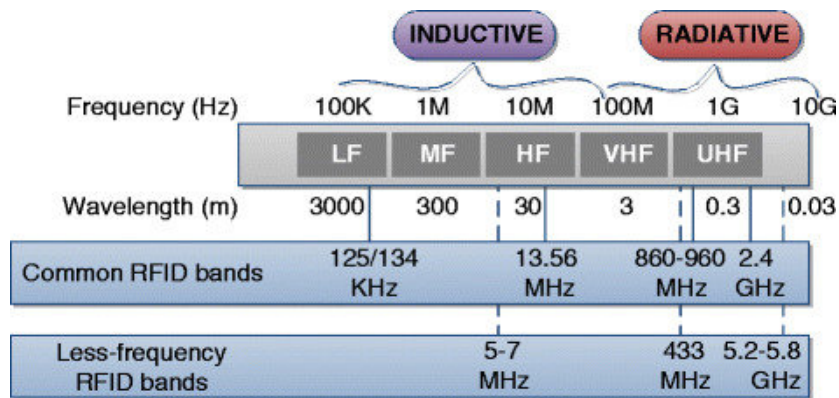


Figura 13: Bandas de frecuencia RFID [85]

### 3.3.2 RFID vs NFC

A pesar de que los sistemas NFC se basan en los RFID, los NFC proporcionan mayor seguridad y privacidad, considerando que pueden usarse a escasos centímetros (10 cm como mucho), por lo que dificultan el robo de información y la interceptación o mezcla de datos. En cambio, los RFID, permiten su uso a varios metros. De esta manera, son más susceptibles recibir ataques [8].

Otro punto a favor de los sistemas NFC, es que son bastante intuitivos y fáciles de utilizar, cómo el *'contactless'*. Es más, la mayoría de antenas no necesitan alimentación porque actúan de forma pasiva, a diferencia de otras antenas RFID, que si la necesitan.

Por estos motivos, en el proyecto se utilizarán las antenas RFID NFC (RFID pasiva), pues proporcionan todo lo necesario para obtener de manera sencilla, pero segura, la información que se requiere [28].

### 3.3.3 ¿Qué es la tecnología NFC?

La Comunicación de Campo Cercano (*'Near Field Communication'*), es un subconjunto de comunicación inalámbrica de corto alcance (10 cm) de la tecnología RFID, que utiliza una frecuencia base de 13.56 MHz. Está perfectamente diseñada para intercambiar datos entre dos dispositivos mediante un simple gesto táctil a pocos centímetros [25], como se ha explicado anteriormente.



Figura 14: Dispositivos NFC [31]

### 3.3.4 Características de la tecnología NFC

1. Transfiere la energía del dispositivo NFC a la etiqueta NFC (Figura 4).

Por este motivo, las etiquetas NFC, no necesitan ni baterías ni otras fuentes de alimentación para su funcionamiento, ya que dicha energía la proporciona el campo RF.

2. El dispositivo NFC envía información a una etiqueta NFC mediante la modulación de la señal del campo RF.
3. El dispositivo NFC recibe información de una etiqueta NFC mediante la detección de la modulación de la carga generada por la etiqueta NFC [32].

### 3.3.5 NFC Fórum

El fórum de NFC es una asociación sin ánimo de lucro formada por organizaciones de todo el mundo, en la que comparten sus conocimientos para fomentar el uso de la tecnología NFC y mejorarla día a día.[32]

Tiene una gran cantidad de miembros importantes que ayudan a desarrollar dicha tecnología. Algunos ejemplos son: Apple Inc., QUALCOM Inc., Sony, Visa...

### 3.3.6 Seguridad

La tecnología NFC está diseñada para una distancia de funcionamiento de unos pocos centímetros, lo que dificulta a los atacantes el registro de la comunicación entre un dispositivo NFC y la etiqueta NFC, en comparación con otras tecnologías, que tienen una distancia de funcionamiento de varios metros.

Como resultado, el nivel de seguridad es más alto en comparación con otros protocolos de comunicación inalámbrica. También, la tecnología NFC ha añadido la comunicación *Peer to Peer*, que es un mecanismo para cifrar todos los datos intercambiados y evitar que alguien los interprete [32].

La tecnología NFC es utilizada por varios protocolos de comunicación sin contacto existentes en el mercado, que utilizan diferentes codificaciones para la modulación de señal y de carga. El Fórum NFC, creó un conjunto de especificaciones que permiten la utilización de dichos protocolos. Como resultado, los dispositivos NFC pueden comunicarse con [32]:

- Lectores y tarjetas que cumplen con la norma ISO/IEC 14443 Tipo A.
- Lectores y tarjetas que cumplen con el estándar ISO/IEC 14443 Tipo B.
- Tarjetas que cumplen con la norma ISO/IEC 15693.
- Dispositivos que cumplen con la norma ISO/IEC 18092.
- Lectores y tarjetas que cumplen con el estándar JIS-X 6319-4.
- Etiquetas del NFC Fórum.
- Otros dispositivos del NFC Fórum.

### 3.3.7 Funcionamiento de sistemas NFC

El controlador NFC conectado a una antena transmite y recibe toda la información de la comunicación con el dispositivo NFC.

A continuación, las aplicaciones situadas en el Host del dispositivo utilizan la API NFC del sistema operativo de dicho dispositivo inician y gestionan las transacciones de la comunicación.

Para apoyar la implementación de los dispositivos interoperables NFC, el Fórum NFC ha definido la NCI y el Dispositivo Anfitrión del Dispositivo del Fórum NFC [32].

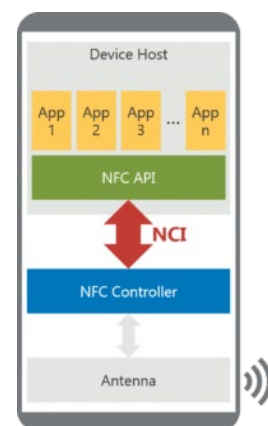


Figura 15: Dispositivo NFC [32]

### 3.3.7.1 Modos de funcionamiento

#### Modo Lectura/Escritura:

El dispositivo NFC funciona como un dispositivo lector sin contacto que es capaz de comunicarse con etiquetas o tarjetas sin contacto. Un uso habitual se produce en la lectura de carteles inteligentes, abriendo un sitio web específico de Internet [32].



Figura 16: Modo Lectura/Escritura [32]

#### Modo 'Peer-to-Peer'

Dos dispositivos NFC se aproximan para intercambiar datos. Este modo se utiliza para intercambiar fácilmente los datos de contacto de los usuarios del dispositivo [32].



Figura 17: 'Modo Peer to Peer' [32]

### Modo de emulación de tarjeta

El dispositivo NFC funciona como una tarjeta sin contacto que es capaz de comunicarse con un dispositivo lector sin contacto. Los casos típicos son los pagos con tarjetas 'contactless' para realizar cualquier compra [32].



Figura 18: Modo emulación tarjeta [32]

### Modo de carga inalámbrica

En este modo la comunicación se realiza para gestionar la transferencia de energía. El modo de carga inalámbrica NFC permite la transferencia sin contacto de hasta 1 W de potencia. Este modo cargará pequeños dispositivos de IoT con una fuente de alimentación limitada, como un auricular Bluetooth o un reloj inteligente, entre otros [32].

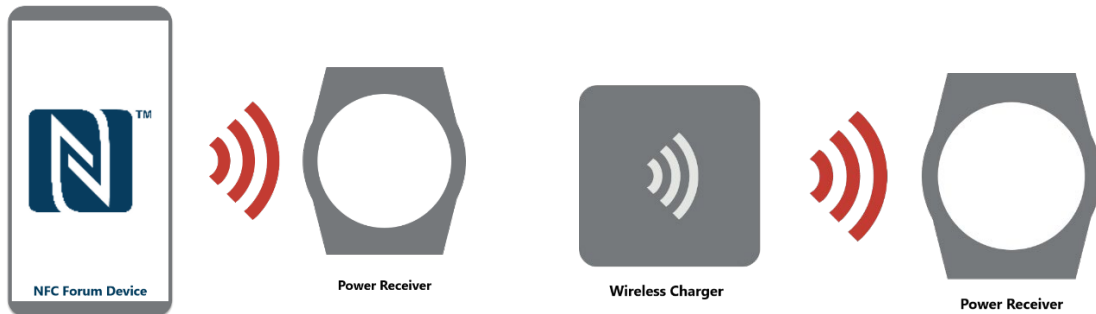


Figura 19: Modo carga inalámbrica [32]



### Emulación de la tarjeta de un Host

Con esta implementación, una aplicación HCE ubicada en el dispositivo anfitrión se encarga de emular la tarjeta sin contacto. Con esta configuración, el controlador NFC envía todos los comandos recibidos al dispositivo anfitrión. La aplicación HCE puede comunicarse con el dispositivo lector sin contacto utilizando la API de NFC [32].

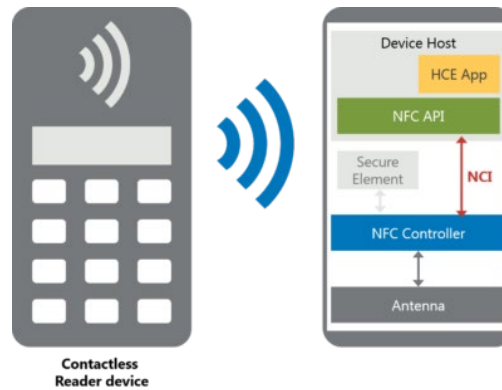


Figura 20: Modo emulación tarjeta Host [32]

### Emulación de tarjeta basada en elementos seguros

En este modo, la emulación de la tarjeta sin contacto se gestiona mediante un elemento seguro dentro del dispositivo NFC. Este elemento seguro puede ser un chip de seguridad integrado en el dispositivo NFC o una tarjeta SIM habilitada para NFC insertada en el dispositivo. En ambas soluciones, los comandos recibidos del lector serán enviados al elemento seguro para su procesamiento. Esta implementación permite el mismo nivel de alta seguridad para las transacciones que las proporcionadas por las soluciones de tarjetas inteligentes sin contacto [32].



Figura 21: Modo emulación tarjeta basada en elementos seguros [32]



Figura 22: Detección dispositivo NFC [32]

Estos modos de funcionamiento están disponibles al mismo tiempo que el dispositivo de Fórum NFC genera, periódicamente, un campo de RF para detectar un dispositivo remoto.

El dispositivo NFC iniciará un modo de operación de lectura/escritura, peer-to-peer o carga inalámbrica en el caso de que se detecte un dispositivo remoto. El resto del tiempo, el dispositivo NFC, escucha las peticiones de comunicación de los dispositivos lectores sin contacto remotos o de los dispositivos para foros de NFC y responde a sus peticiones de comunicación [32].

### 3.3.8 NFC tags

Las etiquetas del Fórum NFC, son tarjetas de memoria sin contacto, que albergan un mensaje llamado NDEF definido por una especificación del Fórum NFC. Actualmente, el Fórum NFC ha definido cinco tipos de etiquetas para permitir el uso de diferentes tarjetas de memoria como etiquetas NFC. Estos diferentes tipos de etiquetas NFC, se diferencian por el protocolo de comunicación subyacente y la estructura de datos para almacenar los mensajes NDEF, pero el comportamiento general resultante es idéntico.

Un dispositivo que lea el mensaje NDEF de una etiqueta NFC iniciará una acción específica según la información almacenada en este mensaje NDEF. Dado que en una etiqueta NFC puede almacenar mucha información, el dispositivo NFC puede desencadenar muchas acciones diferentes al leerla [32].

En la siguiente tabla se muestran algunos de los tipos de datos más utilizados y las acciones correspondientes típicas que inicia el dispositivo NFC:

Enlace de Internet (URL)	Mostrar el sitio web vinculado
Número de teléfono	Iniciar una llamada telefónica
Mensaje corto	Enviar un mensaje corto
Correo electrónico	Enviar un correo electrónico
Punto de interés	Muestra un mapa con el punto de interés
Dirección	Iniciar la navegación hacia esta dirección
Datos de contacto	Almacenar los datos de contacto en el Dispositivo de Foro NFC
Información de emparejamiento Bluetooth	Emparejarse con el dispositivo Bluetooth
Llaves Wi-Fi	Iniciar sesión en el router WLAN

*Tabla 1: Información almacenada en la etiqueta NFC. Acción iniciada en el dispositivo NFC [32]*

Para las acciones sensibles a la seguridad, el NFC Fórum también ha definido un mecanismo para añadir una firma al mensaje NDEF que permite al usuario verificar si el mensaje NDEF ha sido generado por una fuente de confianza.

### 3.3.9 Comparando NFC con otras tecnologías inalámbricas

Hay diferentes tecnologías inalámbricas en el mercado que están reemplazando a la conexión por cable. Estas tecnologías permiten una transferencia de datos con un alcance de hasta 100 metros. Es habitual, que los dispositivos receptores necesiten su propia fuente de alimentación debido a la mayor distancia de trabajo, por lo que el dispositivo receptor no puede ser alimentado por el campo de RF [32].

Otra consecuencia de la mayor distancia de trabajo, es la necesidad de configuración y emparejamiento para la comunicación por parte del usuario, ya que esta conexión no puede iniciarse con un simple gesto táctil. Para estas tecnologías inalámbricas, NFC proporciona un servicio adicional que puede simplificar el proceso de emparejamiento entre dos dispositivos. Ejemplos: Bluetooth, el Wi-Fi y la tecnología Zigbee [32].

En particular, la tecnología IrDa es una conexión de corto alcance (unos pocos metros) basada en el intercambio de datos a través de la luz infrarroja. Para hacer una conexión IrDA el usuario debe posicionar los dos dispositivos de comunicación dentro de una línea de visión. Para una mayor comunicación de datos con los dispositivos informáticos, esta tecnología fue sustituida por conexiones Bluetooth o Wi-Fi, por lo que la tecnología IrDa se utiliza hoy en día, principalmente, para dispositivos de control remoto. Al igual que las tecnologías inalámbricas descritas anteriormente, el receptor IrDA también debe tener su propia fuente de alimentación [32].

Los sistemas RFID utilizan una tecnología de comunicación similar a la NFC, pero utilizan otras frecuencias base para el campo de RF generado.

Todas las tecnologías mencionadas se utilizan en varios mercados, pero no se dirigen a la amplia gama de casos de uso que NFC ofrece a los consumidores.

En conclusión, como se ha podido analizar, la tecnología NFC ofrece una amplia gama de aplicaciones más eficientes y que, además, proporcionan un buen nivel de seguridad.

### 3.3.10 Diseño

#### 3.3.10.1 Diseño de bobinas

En el caso de una etiqueta NFC pasiva, el alcance de lectura depende de la potencia mínima de transmisión necesaria para operar en el circuito de la etiqueta. Por lo tanto, los principales objetivos del diseño son [35]:

- Minimizar la potencia disipada por la antena.
- Maximizar la eficiencia de la conversión entre la potencia electromagnética del lector y la potencia DC consumida por la etiqueta.

A continuación, se puede observar un circuito equivalente y simplificado para el microchip y la antena:

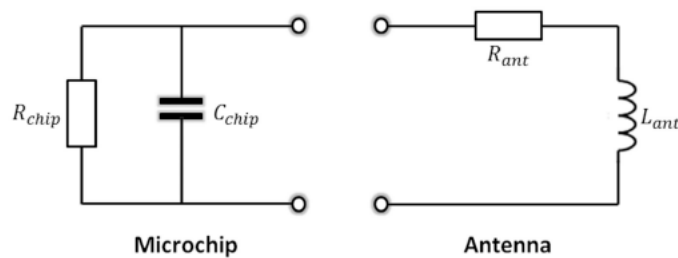


Figura 23: Línea de transmisión (antena+ chip)

La inductancia de la antena se puede derivar de la siguiente ecuación:

$$f_r = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L_{ant} C_{chip}}}$$

(1) Fórmula general sistema LC

Dónde  $f_r$  es la frecuencia resonante del circuito y  $C_{chip}$  es la capacitancia del chip.

Las etiquetas metálicas NFC disponibles en el mercado suelen estar diseñadas con un ancho de banda estrecho y un factor Q de alrededor de 30 – 40 para lograr una alta eficiencia de transmisión. Sin embargo, las etiquetas NFC textiles requieren, especialmente, un ancho de banda operativo relativamente amplio para ser capaz de tolerar el cambio de forma en la ropa y los efectos del cuerpo humano.

Las antenas se diseñan típicamente con forma de espiral rectangular o bobina, siguiendo la siguiente ecuación, que optimiza las dimensiones junto con la inductancia:

$$L_{ant} = K_1 \mu_0 N^2 \frac{d}{1 + K_2 p}$$

(2) Inductancia a partir de la forma de la antena

Dónde  $d$  es el diámetro de la bobina, que es el valor medio de los diámetros exterior e interior de la bobina ( $d_{out}$  y  $d_{in}$ ).  $N$  es el número de vueltas;  $K_1$  y  $K_2$  son parámetros que dependen de la disposición;  $\mu_0$  es la permeabilidad al espacio libre y  $p$  [35]:

$$p = \frac{d_{out} - d_{in}}{d_{out} + d_{in}}$$

(3) Cálculo de  $p$

Por otro lado, también se utiliza la **Carta de Smith**, que es un tipo de nomograma (instrumento gráfico de cálculo que permite el cómputo gráfico y aproximado de una función de cualquier número de variables) usado en ingeniería eléctrica e ingeniería de telecomunicaciones, que muestra cómo varía la impedancia compleja de una línea de transmisión a lo largo de su longitud. Se usa frecuentemente para simplificar la adaptación de la impedancia de una línea de transmisión con su carga [37].

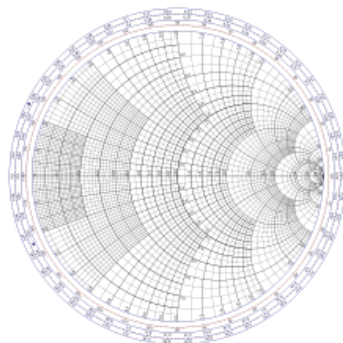


Figura 24: Carta de Smith [37]

### 3.3.10.2 Valores típicos de una bobina

Por un lado, los valores que tiene una bobina dependen de la  $C$  del chip que se vaya a utilizar, tal y como se ha visto anteriormente. Posteriormente, para la elaboración del diseño, se valoran el número de vueltas de la bobina, el diámetro que tenga y otros parámetros que dependen de la disposición de los componentes.

Por ejemplo, dependiendo de la forma que se quiera dar a la antena,  $K_1$  y  $K_2$  toman valores distintos [38]:

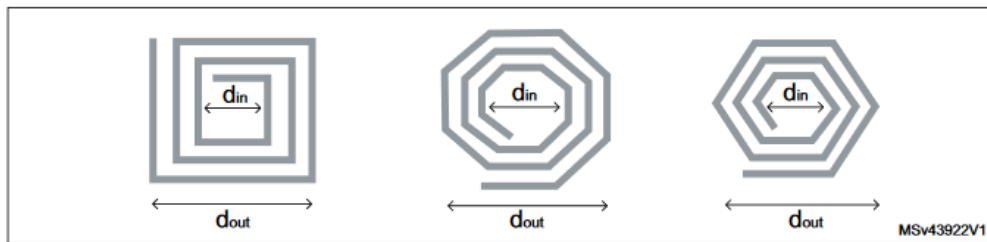


Figura 25: Formas de una bobina [38]

Layout	K1	K2
Cuadrada	2.34	2.75
Octagonal	2.25	3.55
Hexagonal	2.33	3.82

Tabla 2: Valores  $K_1$  y  $K_2$  según la forma de la bobina

Según la clase de antena que se requiera diseñar y la utilidad que se le dé, se deberá seguir una normativa u otra, por lo que nos será fácil encontrar los valores  $N$ ,  $d_{in}$  y  $d_{out}$  [38]. De esta manera, se calculará fácilmente la inductancia de la antena.

Por otro lado, utilizando herramientas de diseño como Advanced Design System y realizando unas simulaciones con los parámetros mencionados más adelante, se encontrará la  $L_{ant}$ , que además hará nuestro diseño más eficiente.

Para finalizar, aclarar que los valores típicos de las bobinas suelen estar sobre los  $\mu H$  (micro Henrios), debido a que los chips suelen tener una conductancia del orden de  $pF$  (pico Faradios).

### 3.4 Antenas textiles

#### 3.4.1 Materiales y técnicas de fabricación

Existen diferentes técnicas de producción de antenas, dependiendo del uso, la cantidad a producir y el tipo de antena.

En primer lugar, se encuentran las láminas metálicas delgadas unidas a un textil flexible (figura 26), una técnica rápida y práctica cuando se trata de fabricar una pequeña cantidad de antenas, por ejemplo, para fabricar prototipos. No obstante, tiene una serie de dificultades en el momento de integrar la antena al cuerpo, como la humedad y el movimiento: La lámina metálica puede despegarse del sustrato [40].

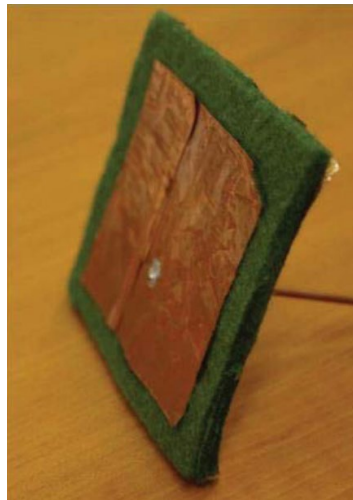
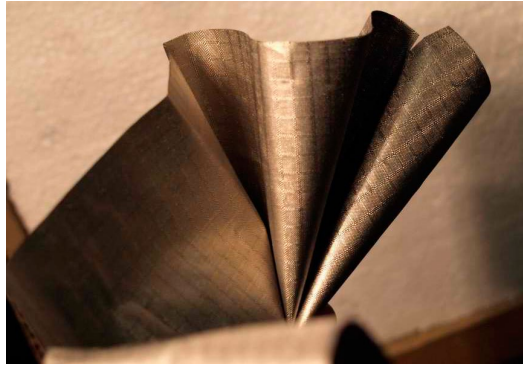


Figura 26: Lámina metálica unida a un textil [40]

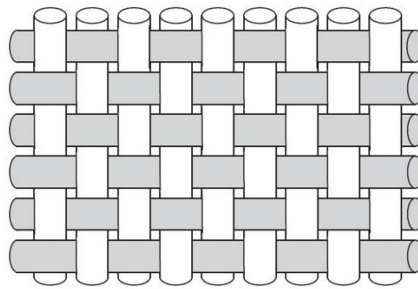
En segundo lugar, se estudia una técnica de fibras de tela conductora tejidas sobre textiles (*Electro-Textiles o E-Textiles*). En este caso, existe la posibilidad de automatización del proceso de fabricación, por lo que es una buena técnica para la producción en masa. El uso de telas conductoras puede dar como resultado antenas mucho más flexibles y resistentes, como la Nora Dell (figura 27), una tela conductora metálica tejida con fibras de níquel y plata, que proporcionan una resistividad muy baja al textil [40].





*Figura 27: Tela Nora Dell [86]*

Para esta técnica existen diferentes patrones de bordado, que determinan cuál es más eficiente en términos de conductividad.



*Figura 28: Técnica Woven Pattern [40]*

El patrón “*Woven Pattern*” (figura 28) es mejor debido a la estructura simple que tiene, que da a la corriente circulante un camino más simple y genera menos pérdidas [40].

En tercer lugar, se analizan las fibras conductoras bordadas en que, usando fibras conductoras, se pueden fabricar diferentes tipos de antenas, ya sea bordando la forma de esta sobre un sustrato textil o sobre E-textiles. Esta será la técnica escogida para el proyecto, ya que cumple con los requisitos específicos que queremos.

Finalmente, cabe mencionar las técnicas para tintas conductoras: Inyección de tinta y “*Screen pinte*” Antenas. El uso de tintas con propiedades conductoras se ha utilizado sobre papel, ya que se consideran no aptos para esta técnica. La técnica “*Screen Pinte*” consiste en el uso de una máscara, la cual sirve como molde, que deja la forma deseada en el sustrato. Por otro lado, el método de inyección de tinta, se realiza mediante una impresora especializada, que impregna

el sustrato con la tinta conductora. El material más utilizado son las nano partículas de plata que se utilizan para formar líneas conductoras de  $1\mu\text{m}$  aproximadamente. La dificultad de esta técnica reside en los poros de los textiles, que provocan que la antena deje de ser continua. Por otro lado, perjudican los lavados y los cambios de temperatura existentes en la ropa. Para evitar estos problemas, se sugiere aplicar una capa previa de interfaz sobre el textil de manera que el diseño adquiere robustez [40].

Para la elección del material del sustrato textil se deben tener en cuenta una serie de propiedades:

- Pocas pérdidas. Aumenta la eficiencia de la antena cuando esta se encuentra cerca del cuerpo humano.
- Flexibilidad. Se adapta mejor al cuerpo humano.
- Baja permitividad. Obtendremos una mayor ganancia y eficiencia de la antena.
- Ancho de la tela. Influye en el ancho de banda de la antena.

Algunos de los materiales más utilizados para los sustratos son: el Felt, el polar, el denim, la espuma de poliestireno y la Delinova 200 (ropa militar) [40].

La elección de hilos y tipos de hilados, para estas antenas NFC RFID, es un compromiso entre sus propiedades eléctricas y mecánicas. En otras palabras, se seleccionan para que no sólo sean conductores sino, también, estructuralmente estables bajo una posible flexión. Para cumplir estos requisitos, los hilos utilizados para construir las antenas NFC RFID se eligen como hilos de poliamida recubiertos de plata [66]. También se pueden utilizar hilos de acero inoxidable. Se cree que ambos materiales son las mejores opciones para que estos hilos conductores se apliquen en los artículos de vestir. Debido a la alta inercia de estos dos tipos de metal, no se verían muy afectados por el sudor o la humedad del usuario. Además, la plata y el acero inoxidable tienen una alta resistencia al agua y a los ácidos poco concentrados, por lo que el circuito textil sería aplicable a la limpieza en seco e incluso a la limpieza con agua suave [7].

### 3.4.2 Topologías de las antenas NFC

Se encuentran distintas formas de las antenas dependiendo de la aplicación que tenga. Variando su topología se utilizan parámetros diferentes para diseñarlas y se obtienen distintos resultados, como de polarización.

En general, este tipo de antenas para NFC son antenas **loop (o antena de cuadro)**, es decir, son antenas que consisten en lazos o bucles de cables, tubos u otros conductores eléctricos, con sus extremos conectados a una línea de transmisión [41].

Existen dos tipos de diseños: el *loop* pequeño o *loop* magnético, el primero, con un tamaño más pequeño que la longitud de onda, y la antena de loop de resonancia con una circunferencia similar a la longitud de onda. El loop pequeño se utiliza para receptores AM y frecuencias bajas. En cambio, el loop resonante se utiliza para alta frecuencia.

La antena loop está formada por una espira conductora con forma de circunferencia, de cuadrado, hexágono u octágono desde 30-40 mm a unos metros, dependiendo de la frecuencia y del rendimiento que se requiera. La antena se acopla a la línea de transmisión por medio de un eslabón o un acoplamiento capacitivo. Aunque pueda parecer que el loop forma un cortocircuito entre las dos terminales del equipo de radio, en realidad lo que ocurre es que la corriente al encontrarse un conductor resonante empieza a irradiar, dando el funcionamiento a la antena. Cuando el loop se ubica en posición vertical, la irradiación ocurre con mayor direccionalidad en un plano perpendicular al del alambre [41].

En la mayoría de ocasiones, la forma más utilizada es la cuadrada, dado que se usa para hacer tarjetas sin contacto, como ya se comentado. Igualmente, las podemos encontrar en una pegatina y las podemos utilizar de lector para cualquier aplicación [42]. Una estructura flexible y delgada y un diseño posterior de ferrita, que optimiza los campos magnéticos y que aumenta la fuerza resultante de la antena, son las principales características de estas antenas para NFC.

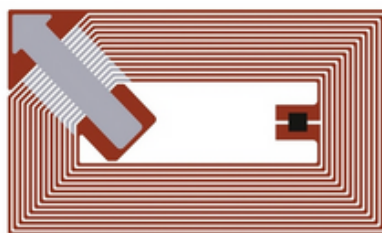


Figura 29: Antena con ferrita [43]

Este tipo de formas, como la de la figura 30, se suele utilizar para juegos y juguetes, medios y anuncios, aplicaciones de fidelidad, electrónica, emparejamiento y autenticación de productos [44].



*Figura 30: pulsera identificación para el control de acceso (NTAG 213) [44]*

Por otro lado, se pueden encontrar antenas con forma circular (figura 31), más utilizadas para electrónica y juegos, medios de comunicación y gestión de documentos y autenticación de productos [43].



*Figura 31: NFC tag Bullseye NTAG 216 para stickers, posters, marketing... [45]*

Ambos modelos pertenecen al grupo de tarjetas existentes en el mercado [46]:

- MIFARE Ultralight: Bajo coste. Útil para pósteres y aplicaciones NFC en general.
- NTAG203: Gran rendimiento.
- NTAG210: Bajo coste. Para aplicaciones NFC con URLs cortas. Disponibilidad limitada.
- NTAG213: Chip de nueva generación. Mejor fortaleza de escaneo (distancia relativa de escaneo del chip).
- NTAG215: Buena memoria, disponibilidad limitada.
- NTAG216: Gran cantidad de memoria, precio elevado. Adecuado para vCard y usos de memoria más grande [45].

### 3.5 Parámetros de las antenas

#### 3.5.1 Impedancia

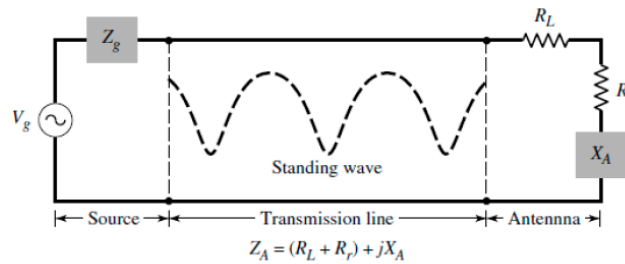


Figura 32: Línea de transmisión [51]

Es la impedancia en los terminales de la antena. Relaciona la tensión y la corriente en la entrada de la misma [50].

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

(4) Fórmula Impedancia

Dicha impedancia tiene una parte real ( $RA$ ), denominada Resistencia de Antena y una parte imaginaria ( $XA$ ), denominada Reactancia. Cuando se anula la reactancia de la entrada, la antena se denomina resonante [50].

Ambas partes (Resistencia y Reactancia) pueden variar según la frecuencia en la que se trabaje.

$$Z_A = R_A + jX_A$$

(5) Impedancia con Resistencia y Reactancia

Se define la Resistencia de Radiación ( $R_r$ ) como la relación entre la potencia total radiada por la antena y el valor eficaz de la corriente en la entrada, elevada al cuadrado [50].

Se define la Resistencia Óhmica, o Resistencia de Pérdidas, ( $R_L$ ) de una antena como la relación entre la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas y la corriente de sus terminales al cuadrado [49].

Por lo tanto, la Resistencia de la Antena, se puede considerar como la suma de la resistencia de radiación y la resistencia óhmica [50].

$$Z_A = (R_r + R_L) + jXA$$

(6) Impedancia como suma de Resistencia Óhmica y Resistencia de Radiación + Reactancia

Teniendo en cuenta la ley de Ohm, la potencia entregada a la antena ( $P_{in}$ ) es igual a la potencia radiada ( $P_r$ ) y a la potencia de pérdidas ( $P_L$ ) [53].

$$P_{in} = P_r + P_L = I^2 R_r + I^2 R_L$$

(7) Potencia entregada a la antena

Generalmente, las antenas están diseñadas para una impedancia de  $50\Omega$ . Si tanto el transmisor como el receptor están adaptados, es decir, si tienen la misma impedancia de entrada, obtendremos la máxima potencia de transmisión y las pérdidas serán mínimas. En cambio, si la antena tiene una impedancia de entrada diferente de  $50\Omega$ , hay una desadaptación y se producen reflexiones, por lo que la transmisión se ve afectada, a menos que se añada un circuito de adaptación de impedancia [52].

### 3.5.2 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena se define como la gama de frecuencias dentro de la cual el rendimiento de la antena, con respecto a alguna característica, se ajusta a una norma específica [54], es decir, es el rango de frecuencias en que la antena funciona con las especificaciones deseadas, por lo que los parámetros de la misma son similares a los que tendría si operara a la frecuencia central [51]. De esta manera, puede irradiar o recibir energía correctamente.

Estas frecuencias deben cumplir una serie de requisitos: presentar una ganancia dentro de los 3dB de ganancia máxima o un VSWR ('Voltage Standing Wave Ratio') con un valor VSWR < 1.5 [50].

El **VSWR** es una medida común que describe cómo de bien se ajusta la antena a la línea de transmisión o al receptor. Es un número real que siempre es mayor o igual a 1. Si el VSWR es 1,

nos indica que no hay pérdidas de desadaptación, en cambio, con valores más altos, más pérdidas obtenemos [51].

El ancho de banda se especifica a menudo en términos de su Ancho de Banda Fraccional. El FBW es la relación del rango de frecuencias dividido por la frecuencia central. La  $Q$  también se relaciona con el ancho de banda (el  $Q$  más alto es el ancho de banda más bajo, y viceversa) [48].

Se puede escribir como un porcentaje de la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central.

$$Bandwidth(\%) = \frac{f_h - f_l}{f_{center}} \cdot 100$$

(8) Ancho de Banda

Dónde  $f_h$  es la frecuencia máxima de la banda,  $f_l$  es la frecuencia mínima de la banda y  $f_{center}$  es la frecuencia central [48].

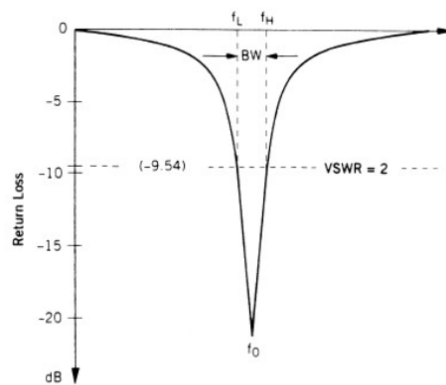


Figura 33: Ancho de banda [88]

### 3.5.3 Patrón de radiación

El patrón de radiación o patrón de antena definido por la IEEE, es la distribución espacial la radiación que caracteriza el campo electromagnético generado por una antena [54]. Dicho de otra manera, es una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena en varias direcciones, desde la antena a una distancia constante. También se puede expresar como una función matemática.

Se puede representar desde la óptica de la elevación o del azimut, de manera que el patrón de elevación, constituye la representación de la energía radiada por la antena vista desde el perfil y el patrón del azimut es la representación de la energía radiada vista desde un plano superficial [55].

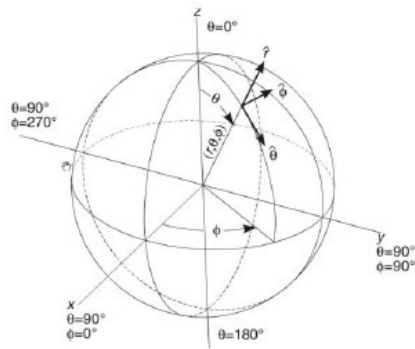


Figura 34: Coordenadas esféricas [87]

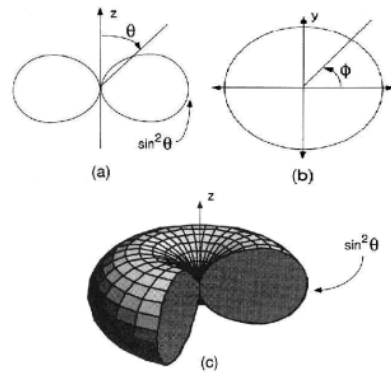


Figura 35: a) Patrón de elevación de un dipolo genérico b) Patrón de azimut de un dipolo genérico c) Diagrama de radiación en 3D [56]

De esta manera, se establece un sistema de coordenadas esféricas dónde, las variables angulares  $\theta$  y  $\phi$ , expresan el campo eléctrico con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia [53]. Como el campo magnético deriva directamente del eléctrico, su representación también podría llevarse a cabo, pero es más frecuente la primera. Como la densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico, la información que nos proporciona su representación gráfica es la misma que la del campo eléctrico [53].

El patrón de radiación se puede representar tanto de forma tridimensional como bidimensional, manteniendo así las variables  $\theta$  y  $\phi$  constantes.

Se pueden considerar diferentes casos en el estudio de los diagramas de radiación, dependiendo de la forma en que se represente la radiación de la antena [51]:

- Patrón isotrópico: Antena ideal, sin pérdidas. Irradia energía en todas direcciones.
- Patrón direccional: Irradia energía en una dirección concreta. Depende de la dirección angular en el plano de azimut y/o del plano de elevación.
- Patrón omnidireccional: Antena polarizada de forma vertical. Irradia energía de forma uniforme en todas direcciones.
- Patrón bidireccional: Irradia energía en dos direcciones.



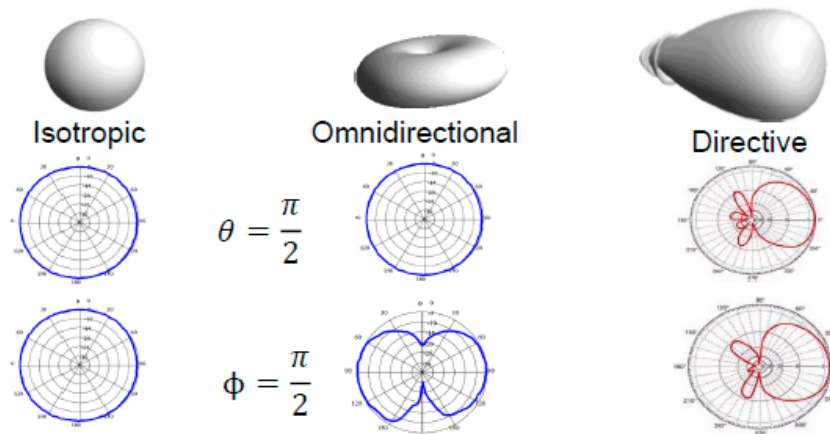


Figura 36: Diagramas de radiación [88]

Dentro de los diagramas radiación podemos definir como diagrama copolar aquel que representa la radiación de la antena con la polarización deseada y como contrapolar, al diagrama de radiación con polaridad contraria a la que ya tiene [53].

Conviene comentar que cuando la amplitud o amplitud relativa de un componente específico del vector de campo eléctrico se traza gráficamente, se denomina patrón de amplitud, patrón de campo o patrón de voltaje. Cuando se traza el cuadrado de la amplitud o amplitud relativa, se llama patrón de potencia.

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación: son:

- Dirección de apuntamiento: Es la dirección de máxima radiación, directividad y ganancia [58].
- Lóbulo principal: Margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- Lóbulos secundarios: Máximos relativos, de valor inferior al principal, que se encuentran en laterales y partes posteriores. Radian potencias indeseadas y pueden producir interferencias.
- Ancho de haz (HPBW – Half-Power Beamwidth): Intervalo angular de direcciones en que el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3dB por debajo del máximo, en otras palabras, la densidad de potencia radiada se reduce a la mitad de la potencia máxima (en la dirección principal) [57].

- Ancho de haz entre nulos (FNBW): Ancho del lóbulo principal completo, lo que significa la separación angular en las direcciones del espacio dónde el lóbulo principal toma un valor nulo [50].
- Relación de lóbulo principal a secundario (SLL): Cociente entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario (en dB) [50].
- Relación 'Front to Back': Cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección y el sentido opuesto o entre la máxima potencia radiada en un sentido y la potencia radiada en el sentido opuesto. Puede causar interferencias en radioenlaces. Se utiliza cuándo la interferencia hacia atrás es crítica para la elección de la antena a utilizar [57].

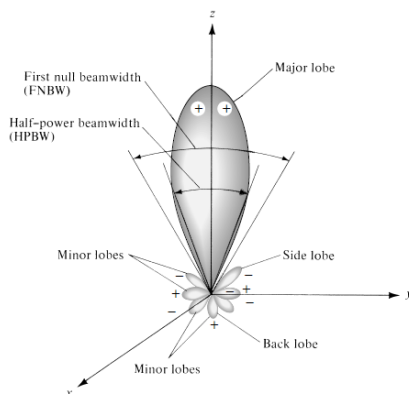


Figura 37: Lóbulos [50]

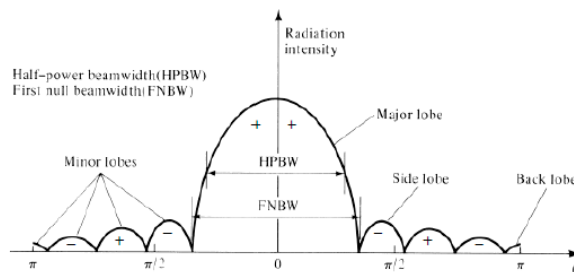


Figura 38: HPBW [50]

### 3.5.4 Polarización

Se define la polarización de una antena como la polarización de la onda transmitida (radiada) por la antena en una dirección concreta y que tiene una densidad de flujo de potencia, que da como resultado la máxima potencia disponible en los terminales de la antena [54].

La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico o magnético en función del tiempo, en una posición dada.

La polarización puede ser:

- Lineal: las variaciones del campo eléctrico se dan en una sola dirección. Se engloban las polarizaciones vertical y horizontal.

- Circular: el vector de campo eléctrico describe una trayectoria circular, cuya descripción depende del sentido de la rotación (Si gira en sentido horario, la polarización es a derechas. Si gira en sentido antihorario, la polarización es a izquierdas).
- Elíptica: las variaciones contienen una trayectoria elíptica.

La transmisión y la recepción dependerán del tipo de polarización, tal que la antena recibirá un tipo de ondas según su condición, en caso contrario, habrá pérdidas de potencia y, en consecuencia, de información [59].

### 3.5.5 Eficiencia

La eficiencia es la relación entre la potencia radiada y la entregada por la antena. También, se puede obtener a partir de la relación entre la ganancia y la directividad de la antena [51].

Siempre se busca tener la mayor eficiencia posible, por lo que se busca la mejor adaptación entre las distintas impedancias de las antenas. Si no se consigue, podemos tener problemas de transmisión, reflexiones y distorsiones en la señal.

Por otro lado, si la ganancia y la directividad son iguales obtendremos la máxima efectividad sin pérdidas [48,49,50-58].

$$\eta = \frac{P_r}{P_{in}} \rightarrow \eta = \frac{G}{D}$$

(9) Rendimiento

### 3.5.6 Directividad

La directividad se define cómo la relación entre la intensidad de radiación de una antena en una dirección concreta (normalmente, la máxima), a una distancia, y la intensidad de la radiación de la antena en todas direcciones (antena isotrópica) [53]. Es la zona del diagrama de radiación donde hay más concentración de intensidad de potencia, en comparación con el resto del patrón de radiación. Se tienen en cuenta las propiedades direccionales de la antena [51].

$$D(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{P_r / (4\pi r^2)}$$

(10) Directividad

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación [48,53].

### 3.5.6 Ganancia

Dado que las antenas constituyen elementos pasivos, el término ganancia describirá la relación entre la intensidad de radiación en una dirección y la intensidad de radiación que produciría una antena isotrópica. De esta manera, podemos medir la eficiencia con la que una antena envía y recibe señal en una dirección determinada. Por este motivo, cuanto más ganancia obtengamos mejor será la antena.

En el cálculo, la directividad considera la potencia radiada por la antena, en cambio, la ganancia considera la potencia incidente, por lo que se tienen en cuenta las pérdidas [49,52-54].

$$G(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{P_{in}/(4\pi r^2)}$$

(11) *Ganancia*

Encontramos dos tipos de ganancias de antena:

1. Ganancia total: Describe la eficiencia total de la antena. Suma de la eficiencia total y la directividad. También se define como la suma de las ganancias parciales para dos polarizaciones ortogonales cualesquiera.
2. Ganancia parcial: En una dirección determinada, la parte de la intensidad de radiación correspondiente a una polarización dividida por la intensidad que se obtendría si la potencia aceptada por la antena fuera radiada isotrópicamente [54].

### 3.5.8 Parámetros de dispersión

Los parámetros de dispersión, o parámetros S, describen el comportamiento eléctrico de redes eléctricas lineales cuando se someten a varios estímulos de régimen permanente por pequeñas señales [52]. Es decir, al no poder medir la tensión y la corriente a altas frecuencias, utilizamos dichos parámetros y damos más importancia a la línea de transmisión y la de potencia [51].

Por lo general, se pueden utilizar a cualquier frecuencia porque no consideran ni circuitos abiertos ni corto circuitos. Por el contrario, se basan en los niveles de potencia que se perciben en los terminales de la red de dos puertos. Con estos parámetros se puede relacionar los conceptos de potencias incidentes y reflejadas, para cada puerto.

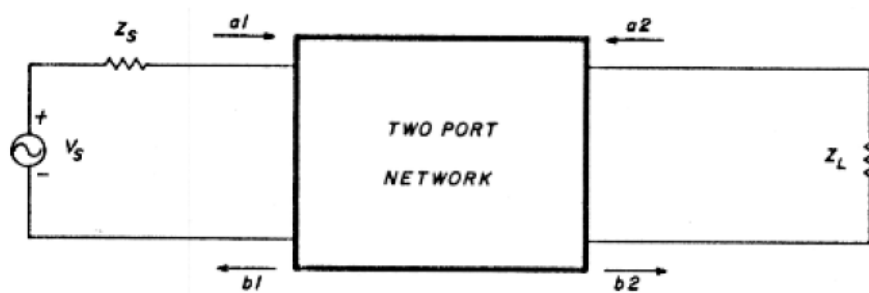


Figura 39: Línea de transmisión con 2 puertos [51]

$S_{11}$ : coeficiente de reflexión de la entrada, con la salida con carga adaptada, es decir,  $Z_L = Z_0$  (impedancia de carga igual a impedancia característica de la línea). Mide la cantidad de potencia que es reflejada en comparación con la cantidad de potencia que se está aplicando al puerto 1 [60].

Si la carga no está adaptada, la definición del coeficiente de reflexión de salida cambia:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

(12) Coeficiente de reflexión de carga

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$$

(13) Coeficiente de reflexión de entrada

$\Gamma_{in}$  es el coeficiente de reflexión en la entrada y  $\Gamma_L$  es el coeficiente de reflexión de la carga.

$S_{22}$  es el coeficiente de reflexión en la salida con la entrada adaptada, es decir,  $Z_S = Z_0$  (impedancia de la fuente igual a la impedancia característica de la línea). Si la carga no está adaptada, el coeficiente de reflexión a la entrada será:

$$\Gamma_S = \frac{Z_S - Z_0}{Z_S + Z_0}$$

(14) Coeficiente de reflexión de la fuente

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$$

(15) Coeficiente de reflexión de salida

$\Gamma_{out}$  es el coeficiente de reflexión a la salida y  $\Gamma_S$  es el coeficiente de reflexión de la fuente [40].

$S_{12}$  es la ganancia de transmisión inversa, con la entrada adaptada. Indica la amplificación de la red en sentido inverso (de la salida a la entrada) o, como se ha dicho, mide la potencia recibida en el puerto 1 en comparación con la enviada al puerto 2 [51,60].

$S_{21}$  es la ganancia de transmisión directa, con la salida terminada en carga adaptada. Indica la amplificación de la red en sentido directo (de la entrada a la salida). En otras palabras, mide la potencia recibida en el puerto 2 en comparación con la enviada al puerto 1.

$S_{22}$  mide la potencia reflejada en el puerto 2 en comparación a la cantidad de potencia que se envía al mismo puerto [60].

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

(16) Fórmulas cálculo parámetros S [60]

Dónde a1, a2, b1 y b2 valen:

$$a_1 = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}}(v_1 + Z_0 i_1) \quad a_2 = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}}(v_2 + Z_0 i_2)$$

$$b_1 = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}}(v_1 - Z_0 i_1) \quad b_2 = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}}(v_2 - Z_0 i_2)$$

(17) Fórmulas cálculo a1, a2, b1, b2 [60]

### 3.6 SAR

La tasa de absorción específica (*Specific Absorption Rate*) es una medida de la potencia máxima con la que un campo electromagnético de radiofrecuencia es absorbido por el tejido vivo (cuerpo humano), en watt por kilogramo. Dicho de otra manera, es la cantidad de vatios de potencia que absorbe el cuerpo humano por cada kilogramo de masa corporal específica para una determinada fuente de energía electromagnética, incluyendo otras formas de energía como el ultrasonido. La SAR se define en el rango de frecuencias de 100 kHz a 100 GHz, en concreto, para teléfonos móviles y resonancia magnética. Tiene en cuenta los parámetros de la energía, la conductividad eléctrica y la densidad de masa del material [61].

$$SAR = \frac{1}{V} \int \frac{\sigma(r)|E(r)|^2}{\rho(r)} dr$$

(18) SAR

Dónde  $\sigma$  es la conductividad eléctrica de la muestra,  $E$  es la media cuadrática del campo eléctrico,  $\rho$  es la densidad de la muestra y  $V$  es el volumen de la muestra.

Esta medida sirve para definir si un dispositivo se encuentra dentro del límite establecido por los diferentes países que marcan las tasas máximas, con el objetivo de comercializar dicho dispositivo sin perjudicar al ser humano a causa de la radiación [51].

El resultado del SAR dependerá de la forma que tenga la parte del cuerpo expuesta al campo, de la ubicación, de la geometría y de la potencia de la fuente de radiofrecuencia. Es necesario realizar pruebas con cada fuente específica y en la posición de uso más habitual para evitar riesgos. Por ejemplo, en el caso de los teléfonos móviles se deberán realizarse las pruebas en la cabeza, que es la parte del cuerpo más expuesta.

Para escoger el valor más restrictivo y seguro para el cuerpo humano (dentro del límite establecido), se elige el máximo nivel medio en la parte del cuerpo estudiada, así se asegura que no se sobrepasa el límite [61].

Siguiendo el ejemplo anterior (teléfono móvil), elegiremos el valor más alto que nos resulte el SAR, en la parte de la cabeza que más energía haya recibido.

Algunos gobiernos, basándose en el principio de precaución, han definido límites de seguridad para la exposición máxima a la energía de radiofrecuencia procedente de teléfonos móviles. En los Estados Unidos de América, la Comisión Federal de Comunicaciones exige que los teléfonos

Paula Paez Morales

presenten un valor de SAR igual o inferior a 1,6 vatios por Kilogramo (W/kg) medidos en un volumen de 1 gramo de tejido.

La Unión Europea fija como límite 2 W/kg, promediados en 10 gramos de tejido [61].

Como límite de exposición para el cuerpo entero, se ha fijado un tope de 0,08 W/kg promediado en toda la masa corporal.

La regulación para la medida del valor SAR y sus máximos admisibles es establecida por la ANSI, IEEE y la ICNIRP [61].



*Figura 40: SAR de un dispositivo móvil [62]*



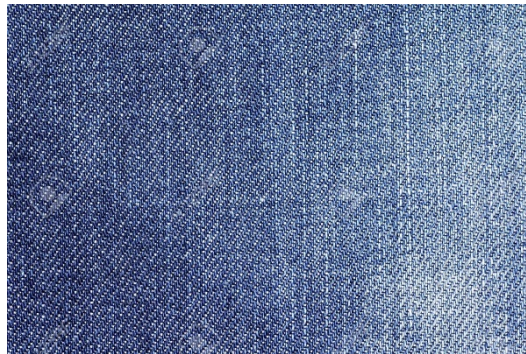
## 3.7 Materiales

### 3.7.1 Tela

Para el proyecto se utilizará el tejano o vaquero de tela de mezclilla, que es algodón asargado de trama blanca y urdimbre teñida de azul. Es una tela densa y resistente que absorbe la transpiración y la humedad fácilmente. A continuación, se pueden observar sus propiedades [63]:

<b>Thickness</b>	2.8 mm
<b>Dielectric Constant</b>	1.6
<b>Loss Tangent</b>	0.02

*Tabla 3: Parámetros del tejano [64]*



*Figura 41: Tejano o denim [63]*

### 3.7.2 Hilos

Para el proyecto se disponen de tres tipos de hilo, de los cuales se escogerá el que mejor convenga para bordar la antena.

#### ***Shieldex Conductive Twisted Yarn***

Hilo de Nylon 66 plateado 117/17 dtex de 2 capas. Útil para aplicaciones antimicrobianas, para prendas de vestir, textiles inteligentes e hilo para coser [65]

<b>Resistencia de línea</b>	<b>&lt;30<math>\Omega</math>/m</b>
<b>Rendimiento</b>	35.000 M/kg
<b>Tenacidad</b>	Promedio de 70 cN/tex
<b>Alargamiento</b>	40% (aprox.)
<b>Denier</b>	240/34f (S 620 550 tpm Z)
<b>Punto de fusión (F)</b>	492

*Tabla 4: Hilo Conductivo Shieldex Twisted Yarn*



*Figura 42: Ovillo de hilo plateado Shieldex [65]*

### **Bekinox BK**

Hilo de alta conductividad eléctrica para textiles antiestáticos con fibras de acero inoxidable. Introducido al tejido en una estructura de rejilla de, típicamente, 10 x 10 mm, que permite cumplir fácilmente las normas internacionales para atmósferas inflamables y explosivas y para la industria electrónica. También tiene una gran resistencia al lavado. Es un hilo altamente conductor que proporciona un control estático en una amplia gama de aplicaciones industriales. Por ejemplo: Cintas transportadoras, FIBC, telas filtrantes tejidas, etc. [66].



*Figura 43: Ovillo de hilo Bekinox [66]*

### **BK Stainless Steel**

Hilos de Bekinox de acero inoxidable mezclados con algodón o poliéster.



*Figura 44: Ovillo de hilo Bekinox de acero inoxidable [89]*

## 3.8 Hardware

### 3.8.1 MLX90129

Chip con un transpondedor de **13.56 MHz** utilizado, principalmente, para etiquetas de sensores de control médico y sanitario, monitoreo de cadena de frío, etiquetas de los **sensores de temperatura**, gestión y supervisión de activos (seguridad e integridad) y control y vigilancia industrial y residencial.

Por otro lado, tiene aplicaciones con y sin batería, por lo que lo se podrá utilizar para el proyecto, ya que no requiere alimentación constante. Por ello, únicamente utilizando una antena RFID como la nuestra, se convierte en un sensor de temperatura. Cabe destacar que tiene una interfaz SPI de funcionamiento para almacenar datos en la EEPROM.

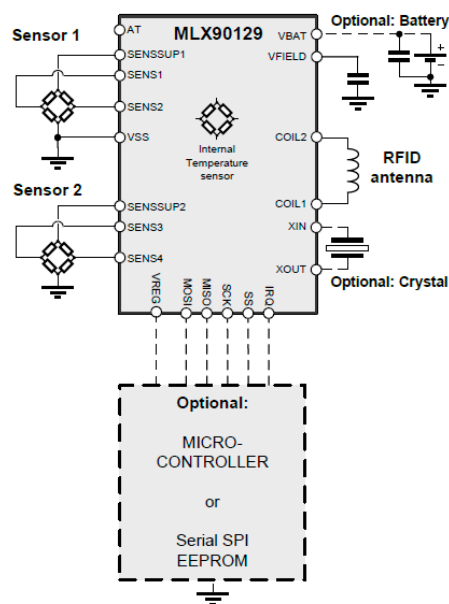


Figura 45: Esquema chip MLX90129 [68]

MLX90129 opera en un rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $105^{\circ}\text{C}$ , que es justo lo que se necesita para nuestra aplicación. La recuperación de datos se realiza a partir de la señal del lector con modulación de amplitud (ASK, Amplitude Shift Keying 10% o 100%). Desde el campo HF entrante, la interfaz RFID recupera el reloj y genera una fuente de energía para todos los bloques de construcción internos. El voltaje rectificado puede usarse para alimentar todo el dispositivo en aplicaciones sin batería. Así pues, tiene una capacidad de transferencia de datos de 26kbps y

es capaz de almacenar los datos en una EEPROM no volátil, externa de 4-kbits. También se puede almacenar en la memoria interna.

Como características destacables para nuestro proyecto, se observa que contiene un Capacitor resonante interno de **75 pF** y, como se ha comentado antes, mide temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $\pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [67].

### 3.8.2 SL13A

El SL13A es un chip de marcación semiactivo optimizado para una sola célula, etiquetas inteligentes alimentadas por batería con funcionalidad de sensor. Por otro lado, también soporta la operación completamente pasiva sin batería. Ideal para aplicaciones que utilizan baterías delgadas y flexibles, pero también se puede alimentar del campo RF (con ondas electromagnéticas de un lector de RFID). Tiene un sensor de temperatura totalmente integrado con una no linealidad de  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Varias de sus aplicaciones son: la vigilancia y el seguimiento de los productos sensibles a la temperatura, vigilancia de la temperatura de productos médicos, logística farmacéutica y vigilancia del transporte de mercancías frágiles.

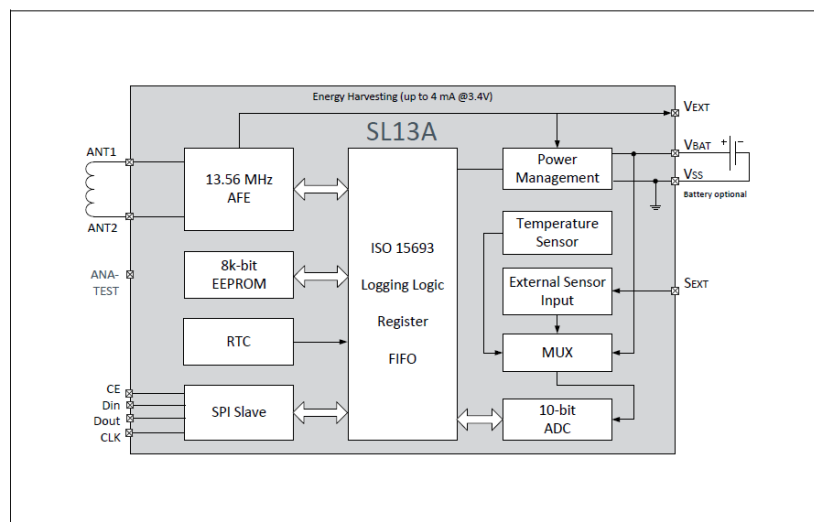


Figura 46: Esquema chip SL13A [69]

Vext es una tensión RF rectificada, para dar energía a circuitos externos. Está limitado a 3.4 V, cuando hay señal suficiente en la antena. La corriente máxima de salida es de 5mA y depende de la fuerza del campo RF. Además, se ha comprobado una temperatura de operación, con el diseño indicado, de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, también contiene una interfaz serial integrada (SPI) para leer y escribir la EEPROM incorporada y para establecer los parámetros.

Para acabar, podemos comentar que el sensor de temperatura puede medir la temperatura en un rango de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  con la precisión especificada anteriormente. La tensión de referencia para la conversión A/D se suministra desde una referencia *Bandgap* calibrada en el chip [68].

## 3.9 Software

### 3.9.1 Advanced Design System

Programa de *PathWave Design (Keysight Technologies)* para la simulación y el diseño de una gran variedad de dispositivos de telecomunicaciones. En la universidad se dispone de diversas licencias para poder utilizar el programa [69-71].

Este software realiza avanzadas simulaciones de alta frecuencia con una elevada precisión en diferentes modelos de circuitos con las librerías que posee ADS. Dispone de herramientas de análisis de circuitos para poder refinar nuestro circuito acuerdo con la necesidad existente. Por otro lado, implementa algoritmos de simulación y rutinas para reducir los tiempos de simulación respecto otros programas semejantes.

Se puede trabajar en dos ventanas diferentes:

- En el esquemático, dónde se conectan los componentes como se requiera y sobre el cuál se realizan análisis y simulaciones.
- El *Layout*, en que se puede observar el formato que tendrá el circuito diseñado a nivel impreso.

Ambas ventanas están interconectadas, de manera que los cambios realizados en una ventana se pueden actualizar en la otra.

Una gran ventaja de este programa es que dispone de una guía muy extensa y muy completa para orientar a los usuarios en el uso del software y en el diseño de distintos sistemas RF, microondas u otros sistemas de telecomunicación en general.

Para poder analizar los resultados de las simulaciones, se habilita una ventana de resultados dónde se pueden dibujar gráficas, cartas de Smith, módulos, fases, etc. Este apartado dispone de unas plantillas para poder facilitarnos el trabajo.

Para realizar las simulaciones de nuestra antena, se ejecutará un análisis de Parámetros S para obtener los parámetros de reflexión y transmisión de nuestro diseño. Su utilización se basa en la caracterización de componentes de RF, como la alta frecuencia y microondas, para realizar un análisis en unas condiciones determinadas de temperatura y polarización. Por otro lado, también permite la obtención de la impedancia (o admitancia), el retraso de grupo, la figura de ruido y permite simular los efectos de la conversión de frecuencia en circuitos con mezcladores.

A parte de la simulación de parámetros S, se deberá realizar una simulación electromagnética (EM) para analizar el comportamiento de la antena en un rango de frecuencias establecido y para comprobar su resonancia en la frecuencia que se requiera (en este caso, 13.56 MHz).

**Momentum 3D Planar EM Simulator** es un simulador electromagnético planar 3D que sirve para analizar circuitos pasivos, es decir, placas de circuitos multicapa, antenas, módulos multi chip y componentes de circuitos integrados de RF y microondas. Utiliza la tecnología del MoM para simular con precisión los efectos EM complejos, incluyendo el acoplamiento y la parasitación. Permite mejorar el rendimiento del diseño y aumentar la confianza de que los productos fabricados cumplirán las especificaciones [90].

Para poder realizar una buena co-simulación con los chips, se deberá hacer una simulación de parámetros S en el esquemático de ADS.

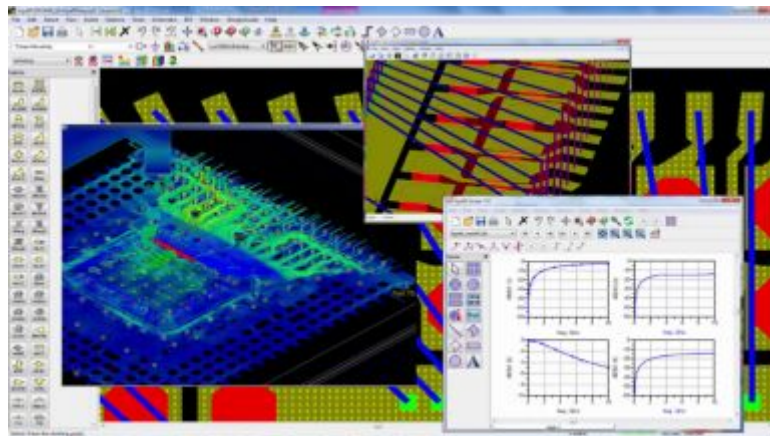


Figura 47: ADS Momentum [90]

### 3.9.2 Microsoft Project

Software para la administración del proyecto desarrollado por Microsoft para asistir a administradores de proyectos en el desarrollo de planes, asignación de tareas, dar seguimiento al proceso, administrar el presupuesto y analizar cargas de trabajo.

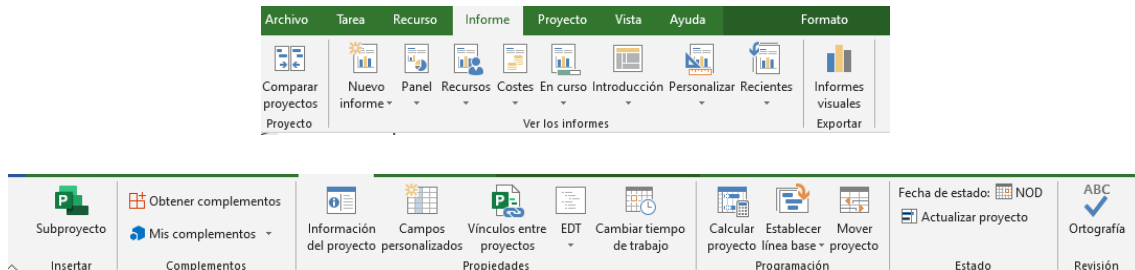


Figura 48: Microsoft Project

Como se ha detallado anteriormente, permite gestionar los días y horas de trabajo y puede calcular los días necesarios para realizar todo el proyecto, teniendo en cuenta las horas establecidas para trabajar [72].

### 3.9.3 Gerbview

Gerbview permitirá visualizar nuestro diseño de la antena, ya sea impreso o en el ordenador. También, disminuye el riesgo de errores durante la fabricación de la misma, por lo que se reducirán los fallos al exportar el diseño final de la antena del programa de ADS.

Tiene la capacidad de convertir archivos en formato TIFF, JPEG, PNG, BMP, ODB++ a un PDF con capas o a formatos DXF o SVG, entre otros [73].

### 3.9.4 Digitizer EX

Software compatible con las máquinas de bordado para facilitar la fabricación de la antena.

Ofrece la posibilidad de trabajar con modelos y distintas funciones que facilitarán el trabajo para poder crear el diseño de una forma precisa. Por ejemplo, se podrán ajustar los parámetros necesarios, como los colores, las texturas y los patrones de bordado, de manera que se podrá personalizar completamente nuestro diseño. [74]

Se podrá conectar entre la máquina y el ordenador directamente, por lo que se enviará el diseño de manera sencilla [74].



## 3.10 Maquinaria

### 3.10.1 Singer Futura XL-550

La Singer Futura XL – 550 es una máquina de coser y de bordar programable (Figura 34) y editable gracias a la conexión USB que posee para poder conectarla al ordenador.

Una de las características a destacar es el espacio que proporciona para bordar diferentes tamaños de hojas de enganche con diferentes programaciones de aguja. Permite realizar hasta 217 programas de puntadas y 13 posiciones de aguja [51].

De esta manera, se podrá configurar libremente los diferentes parámetros de bordado como el espaciado de puntada, la longitud de puntada, la densidad de bordado, la velocidad, la tensión, los refuerzos y los bordes emplumados [75].



*Figura 49: Singer Futura XL-550 [75]*

### 3.10.2 RF Diagnostic Chamber de ROHDE & SCHWARZ

RF Diagnostic Chamber (Figura 50) es una cámara anecoica, que también se puede definir como una cámara aislada del exterior de cualquier fuente de ruido o influencia electromagnética externa, diseñada para poder absorber las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas en cualquiera de sus superficies como el techo, el suelo o las paredes laterales [76].

Esta cámara puede analizar un amplio rango de frecuencias, desde los 400 MHz hasta los 10 GHz, cubriendo todos los estándares inalámbricos importantes.

Aunque no cubra la frecuencia a la que se trabaja (13.56 MHz) y se tenga menos absorción, esta cámara será necesaria para analizar nuestra antena de forma aislada.



*Figura 50: Cámara anecoica [76]*

### 3.10.3 Fieldfox N9916A Microwave Analyzer

Analizador de microondas portátil. Realiza funciones como analizador de antenas, de cables, de redes vectoriales y espectros de radiofrecuencia con un ancho de banda de 30 kHz a 14 GHz. La entrada está adaptada con una impedancia de 50  $\Omega$ , mide los 4 parámetros S simultáneamente y se pueden realizar mediciones más precisas ( $\pm 0.5$  dB) sin necesidad de calentarlo previamente. Tiene una salida USB por la que exportar los resultados obtenidos [77].



Figura 51: Fieldfox N9916A Microwave Analyzer [77]

### 3.10.4 Agilent Technologies CalKit 85521A

Kit de calibración para en analizador Fieldfox N9916A Microwave Analyzer, en circuito abierto, cerrado y con carga. Tiene una impedancia de entrada de 50  $\Omega$  [78].



Figura 52: Calkit 85521A [78]

### 3.10.5 TENMA 72-7730A

Este multímetro digital o tester, es un instrumento portátil para medir magnitudes eléctricas activas de forma directa, para corriente continua o alterna.

Tiene diferentes funciones de medición: Intensidad, Tensión, Capacidad, Frecuencia, Resistencia y Temperatura [79].



*Figura 53: Tenma 72-7730A [79]*

## 4. Diseño de una antena de prueba

En este apartado, se diseñará una antena siguiendo un artículo publicado en el IEEE de *Rubén Del-Rio-Ruiz, Juan-Manuel López-Garde y Jon Legarda Macon [36]*.

Primeramente, se hará una simulación ideal con los datos del proyecto, para asegurar de que los resultados obtenidos son similares a los del artículo [36]. Seguidamente, se recreará el diseño de la antena que se encuentra en el documento, se aprenderá a utilizar el software de ADS y se compararán las simulaciones que se realicen con las del artículo mencionado [36], para ver si son similares o no. De esta manera, se confirmará que los procedimientos que se han llevado a cabo durante la simulación son correctos y que también se habrá entendido funcionamiento del software.

## 4.1 Antena Ideal

En primer lugar, se ha diseñado una antena ideal basándose en el documento [36].

Para llevar a cabo esta primera prueba, se han utilizado los mismos valores de bobina y condensador que hay en el documento mencionado anteriormente y se ha diseñado el siguiente circuito:

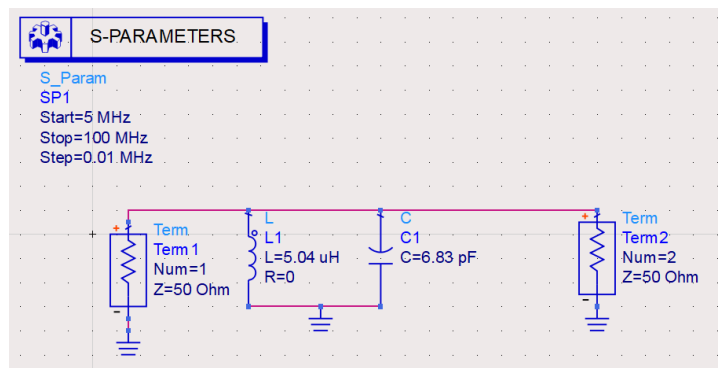


Figura 54: Esquema tanque LC

Como se ha comentado antes, los puertos de entrada y salida están adaptados a 50  $\Omega$  cada uno.

Tras la simulación de los parámetros S, se ha obtenido el siguiente resultado:

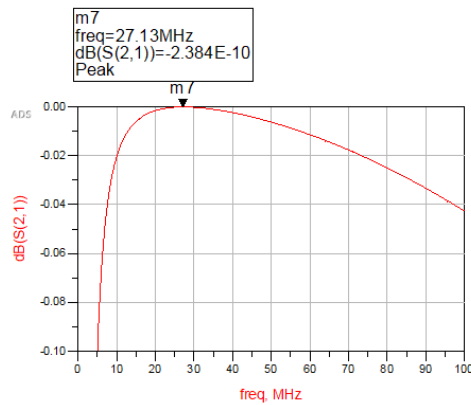


Figura 55: Parámetro S<sub>21</sub> de la antena ideal

En la figura 55, se observa que en la frecuencia de resonancia (27.13 MHz) tenemos un pico de transmisión de  $-2.38E-10$  dB.

Mientras que, para observar las pérdidas (S<sub>11</sub>) se ve un pico en -102.605 dB, por lo que se tienen pocas pérdidas, en comparación al resultado en el resto del espectro de frecuencias. Esto se puede apreciar en la figura 56.

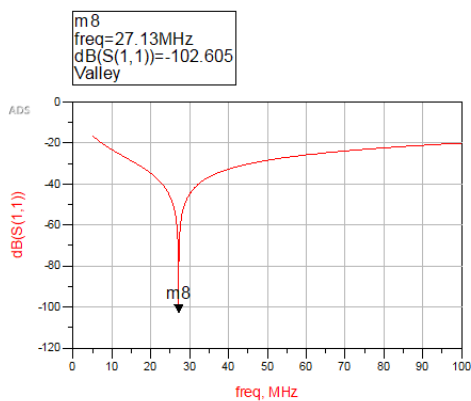


Figura 56: Parámetro S<sub>11</sub> de la antena ideal

En este caso, en el artículo de referencia, obtienen un resultado diferente al requerido en el proyecto, ya que no resuena a la frecuencia objetivo, es decir a 13.56 MHz. En el artículo [36] resuena a una frecuencia de 13.56 MHz, mientras que, a nosotros, con los mismos datos, resuena a 27.13 MHz. Esto puede deberse a que las simulaciones se hayan hecho diferentes o a que se haya utilizado un software diferente con otros parámetros que no se mencionan en el documento.

## 4.2 Diseño artículo 1

A continuación, después del análisis de la bobina ideal, se ha recreado la bobina diseñada en el documento [36], con los mismos parámetros que se detallan en el texto (tabla 5) para comprobar el funcionamiento del sistema y para observar si los resultados que obtenemos son parecidos.

<b>Ancho</b>	40 mm
<b>Spacing</b>	0.6 mm
<b>Ancho de línea</b>	0.6 mm
<b>N (número de vueltas)</b>	13

Tabla 5: Parámetros diseño antena 1

Para llevar a cabo esta tarea, se ha creado la bobina en el *layout* del software. De esta manera, hemos dibujado la forma igual a la bobina del proyecto (figura 57).

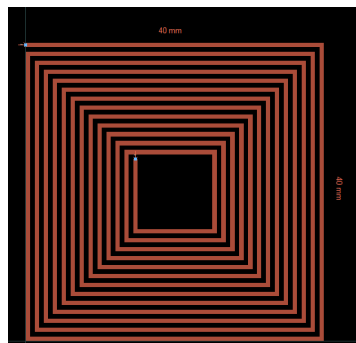


Figura 57: Layout de la antena 1



Seguidamente, se ha creado el sustrato con el material dieléctrico (**FR4**) y el conductor (**Cobre**) indicados en el texto [36].

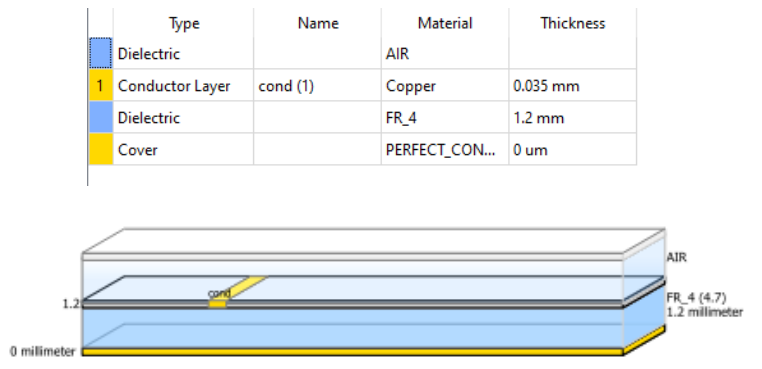


Figura 58: Sustrato de la antena 1

Antes de finalizar el diseño, se ha creado el modelo de la bobina y toda la configuración necesaria para simular la bobina correctamente.

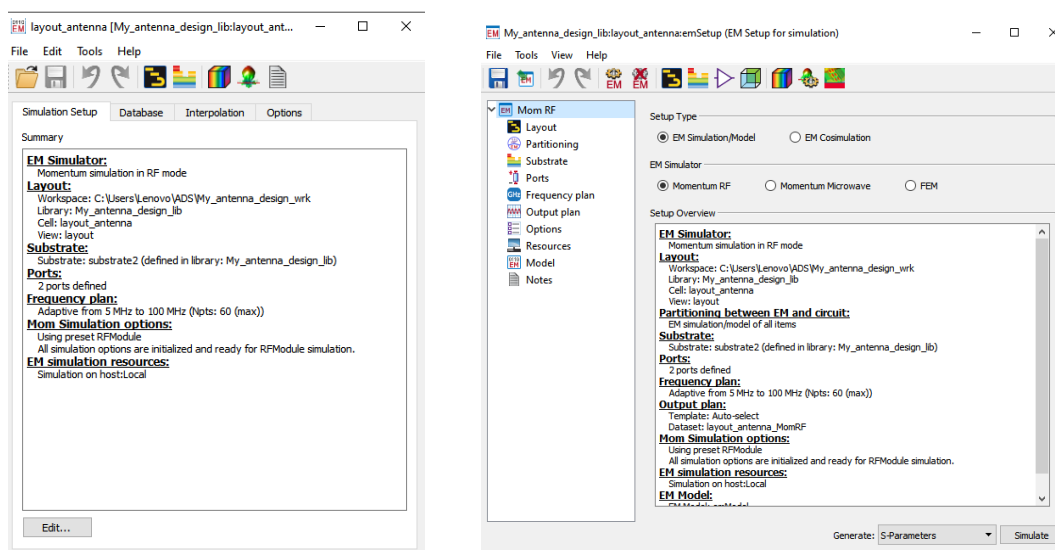


Figura 59: Configuración de la simulación 1

Finalmente, se ha sustituido la bobina diseñada con el layout por la bobina ideal anterior. De forma que obtenemos el siguiente circuito:

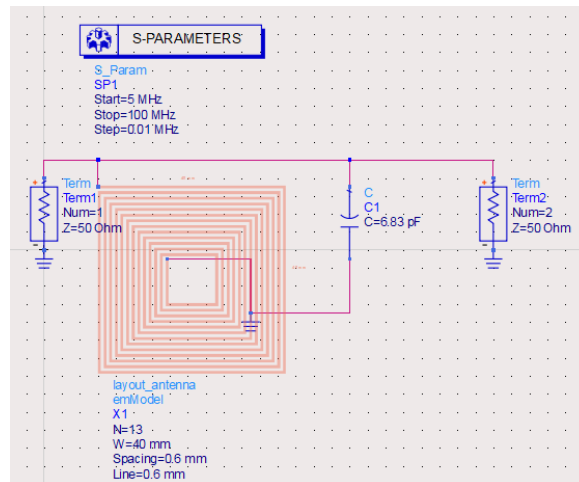


Figura 60: Esquema de la antena 1

Tras la simulación, se han obtenido los siguientes resultados de los parámetros de transmisión y de pérdidas:

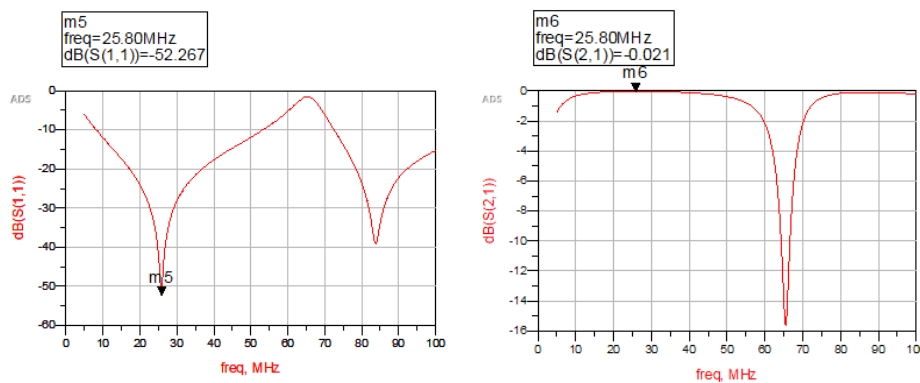


Figura 61: Parámetros  $S_{21}$  y  $S_{11}$  de la simulación de la antena 1

Como se puede observar en la figura 61, hay un pico de transmisión de  $-0.021$  dB ( $S_{21}$ ) y uno de pérdidas de  $-52.267$  dB ( $S_{11}$ ).

Esta simulación es diferente a la que obtuvieron en el artículo [36], ya que puede que hayan hecho algún pequeño cambio que no mencionan, pero el objetivo de este entrenamiento se ha cumplido, es decir, se ha encontrado el pico de resonancia de la antena.

Para finalizar este primer diseño, se ha medido el valor de la antena con una simulación de la misma.

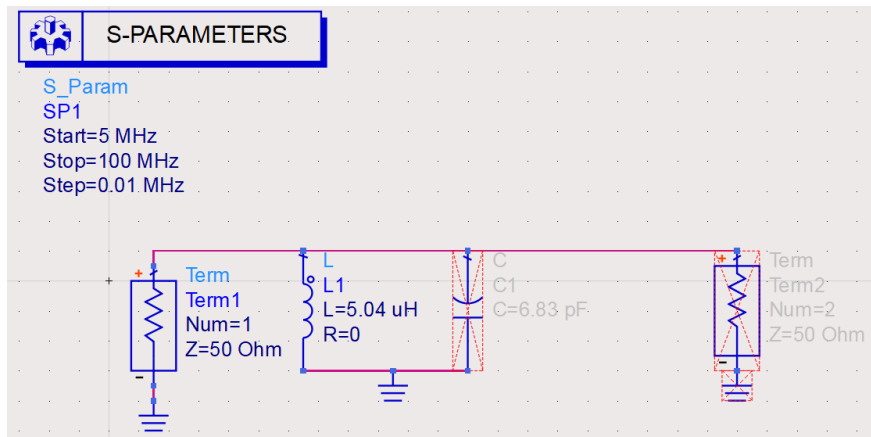


Figura 62: Esquema cálculo inductancia de la antena

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la inductancia son las siguientes:

$$\text{Eqn } myz = \text{stoz}(S(1, 1))$$

$$\text{Eqn } Qfac = (2 * \pi * \text{freq}) * L / R$$

$$\text{Eqn } L = \text{imag}(myz) / (2 * \pi * \text{freq})$$

$$\text{Eqn } R = \text{real}(myz)$$

Figura 63: Fórmulas para el cálculo de la inductancia

- Estas fórmulas serán utilizadas durante todo el proyecto para extraer de las simulaciones los valores de la inductancia.

Y se han obtenido los siguientes resultados:

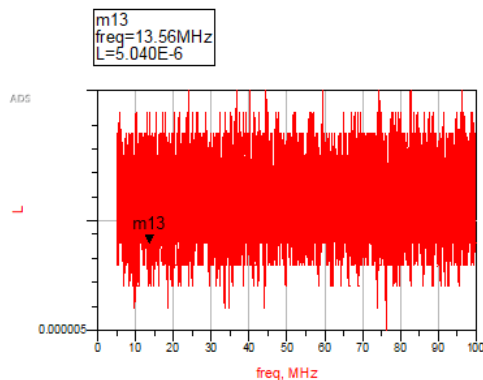


Figura 64: Gráfica de la inductancia de los valores de la antena

Como se puede apreciar con el marcador de la gráfica de la figura 64, el valor de la inductancia apenas ha variado (5.040 uH), respecto al calculado en el documento anteriormente indicado, ya que hemos simulado un caso ideal.

Para terminar, hemos analizado el parámetro S11 con un puerto. De esta manera, se ha podido comparar el resultado obtenido con nuestra simulación respecto al detallado en el documento mencionado al principio (apartado 4.1).

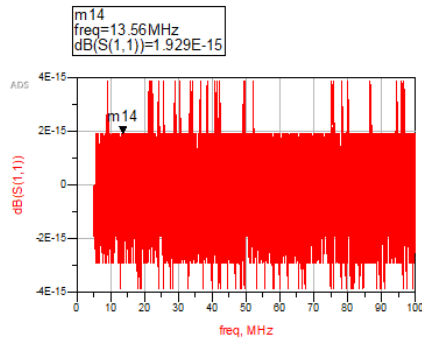


Figura 65: Parámetro S11 de la simulación en ADS con 1 puerto.

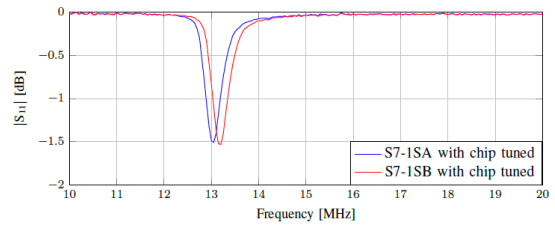


Figura 66: Parámetro S11 obtenido en el artículo.

Como se puede apreciar, la figura 65 es diferente de la figura 66. Esto es debido a algún posible cambio que hayan hecho en el documento y que no hayan mencionado en el mismo.

Para continuar con el proyecto, se ajustará la antena a nuestras necesidades, debido a la variación en la capacitancia de los chips que necesitamos.

Para ello, primeramente, se calcularán las dimensiones de la antena y la forma que tendrá.

## 5. Metodología

En este apartado se explicará cómo se han diseñado las diferentes antenas para ambos chips. Luego, se detallará cómo se han realizado las simulaciones y se analizarán los resultados obtenidos.

## 5.1 Cálculos teóricos

### 5.1.1 Chip SL13A

Primeramente, se deberá calcular el valor que tendrá la bobina en conjunto con la capacitancia del chip para que resuene a la frecuencia establecida (figura 67). Cabe mencionar que se ha reducido toda la circuitería del chip al valor de su capacitancia para reducir la complejidad de las simulaciones.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$t_{RTC-AF}$	Real-Time Clock, Accuracy over the specified temperature range		-3		+3	%
$EW_{CYC}$	EEPROM Erase/Write Cycles	$T = 25^{\circ}C$	10,000			Cycles
$t_{DR}$	EEPROM Data Retention Time	$T = 55^{\circ}C$	10			Years
$t_{E/W}$	EEPROM Erase/Write Time	$T_A = 0^{\circ} \text{ to } 55^{\circ}C$	4	6	8	ms
$C_T$	Internal Tuning Capacitor	Between ANT1 and ANT2 pins		25		pF

Figura 67: 'Datasheet' del chip SL13A [68]

Se aplicará la siguiente fórmula:

$$L_{ant} = \frac{1}{(2 * \pi * f_{res})^2 * C_{chip}}$$

$$L_{ant} = \frac{1}{(2 * \pi * 13.56 * 10^6)^2 * 25 \text{ pF}} = 5.51 \mu H$$

(19) Cálculo de inductancia con el valor de la C del chip SL13A

Para calcular el tamaño de la antena, se utilizarán las fórmulas de los apartados 3.3.10.1 y 3.3.10.2 con los siguientes parámetros:

<b>Din</b>	43 mm
<b>Dout</b>	60 mm
<b>d</b>	51.5 mm
<b>p</b>	0.165 mm
<b>N</b>	6

Tabla 6: Parámetros antena 1 (chip SL13A)

Utilizando la ecuación 2 para el cálculo de la impedancia de la antena y los parámetros seleccionados en la tabla, se calcula:

$$L_{ant} = 2.34 * 4 * \pi * 10^{-7} * 6^2 * \frac{51.5 \text{ mm}}{1 + 2.75 * 0.165 \text{ mm}} = 5.519 \mu H$$

(20) Cálculo de inductancia con los parámetros de diseño de la antena 1

A continuación, se deberá establecer cuál será el ancho de línea y el espacio entre las vueltas de la antena para que coincida con la distancia interior de la antena (43 mm).

Para ello, teniendo en cuenta el número de espacios y el número de vueltas se ha calculado que se necesita un espacio entre líneas de 0.8 mm y un ancho de línea de 0.75mm. Para evitar que descuadren números en el momento de diseñar la antena en el programa de ADS, se utilizará un espacio entre líneas ('Spacing') de 0.8 mm y un ancho de línea de 0.7mm. Por lo que, resulta:

$$L = 2.34 * 4 * \pi * 10^{-7} * 6^2 * \frac{51.8 \text{ mm}}{1 + 2.75 * 0.158 \text{ mm}} = 5.49 \mu H$$

(21) Cálculo de inductancia con los parámetros de diseño de la antena 1 modificados

<b>Din</b>	43.6 mm
<b>Dout</b>	60 mm
<b>d</b>	51.8 mm
<b>p</b>	0.158 mm
<b>N</b>	6

Tabla 7: Parámetros antena 1 modificados (chip SL13A)

Los cálculos se han hecho utilizando las ecuaciones 1 y 2 y siguiendo las indicaciones de los apartados 3.3.10.1 y 3.3.10.2.

### 5.1.2 Chip MLX90129

Siguiendo los pasos del chip anterior, se reducirá la complejidad del circuito del chip al valor de su capacitancia, de esta manera serán más sencillas las simulaciones (figura 68).

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Internal resonance capacitance	Once trimmed	72	75	77	pF
Minimum coil AC voltage (for operation)			3		V <sub>pp</sub>
Maximum voltage on Coil1, Coil2	Induce voltage on VFIELD is below 6V			7	V <sub>pp</sub>
ISO/IEC 15693-3 data rate			26		Kbits/s
Vfield external Capacitor			100		nF

Figura 68: 'Datasheet' del chip MLX90129 [67]

En primer lugar, se calculará el valor que deberá tener la bobina en conjunto con la capacitancia de ese chip, tal y como se ha hecho en el caso anterior:

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f_{res})^2 * C_{chip}}$$

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * 13.56 * 10^6)^2 * 75 \text{ pF}} = 1.83 \mu\text{H}$$

(22) Cálculo de inductancia con el valor de la C del chip MLX90129



Para calcular el tamaño de la antena, se usarán las fórmulas de los apartados 3.3.10.1 y 3.3.10.2 con los siguientes parámetros:

<b>Din</b>	28.4 mm
<b>Dout</b>	50 mm
<b>d</b>	39.2 mm
<b>p</b>	0.275 mm
<b>N</b>	4

*Tabla 8: Parámetros antena 2 (chip MLX90129)*

Utilizando la fórmula 2 para el cálculo de la impedancia de la antena y los parámetros seleccionados en la tabla, se calcula:

$$L = 2.34 * 4 * \pi * 10^{-7} * 4^2 * \frac{39.2 \text{ mm}}{1 + 2.75 * 0.275 \text{ mm}} = 1.84 \mu H$$

*(23) Cálculo de inductancia con los parámetros de diseño de la antena 2*

A continuación, se establecerá cuál será el ancho de línea y el espacio entre las vueltas de la antena para que coincida con la distancia interior de la antena (39.2 mm).

Para ello, teniendo en cuenta el número de espacios y el número de vueltas se ha calculado que se necesita un espacio entre líneas de 2 mm y un ancho de línea de 1.2 mm.

Los cálculos se han hecho utilizando las ecuaciones 1 y 2 y siguiendo las indicaciones de los apartados 3.3.10.1 y 3.3.10.2.

## 5.2 Diseño de la antena

Para la orientación en las simulaciones y las modificaciones, se ha utilizado el software de guía de ST Microelectronics: *eDesignSuite* (figura 69). No obstante, se hicieron los cálculos necesarios con las ecuaciones 1 y 2 para comprobar que se obtenía un resultado coherente entre el teórico y el del software de diseño [81].

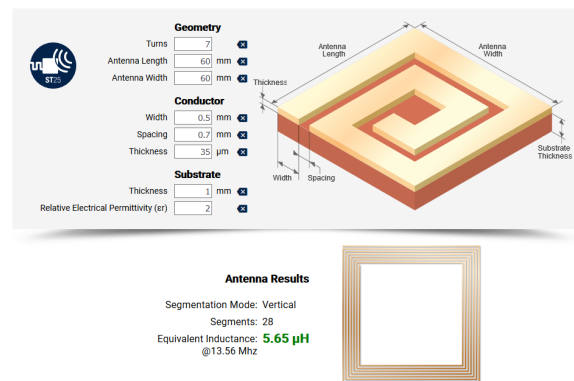


Figura 69: Software Simulador RF eDesignSuite [80]

Todos los diseños de las antenas se simularán con un sustrato tejano (figura 70), que es un sustrato de un pantalón denim de **Poliéster y Algodón** con una anchura de 2.8 mm del cual se crearán 2 capas de material dieléctrico (tejano o denim) para evitar un cortocircuito.

El hilo utilizado para todas las simulaciones será el de plata [65] de Shieldex. Quedará el siguiente sustrato:

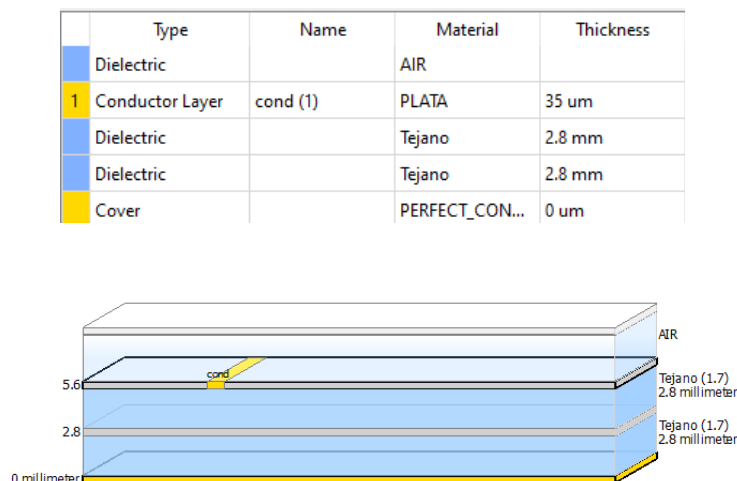


Figura 70: Sustrato final con hilo de plata y tejano.

### 5.2.1 Chip SL13A

Con los cálculos mostrados en el apartado 5.1.1, se cambia la forma de la antena, el número de vueltas y otros parámetros para obtener un valor de **5.51 uH** y que resuene con el chip **SL103A**, que tiene un condensador de **25 pF**.

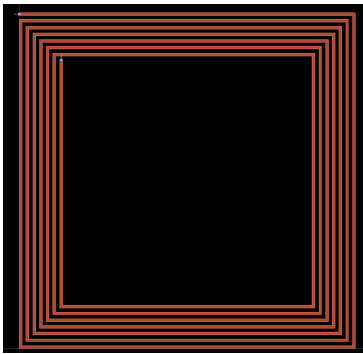


Figura 71: Diseño de la antena para el chip SL13A

Número de vueltas	7
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	0.7
Ancho del conductor (mm)	0.5

Tabla 9: Parámetros antena 1 (Chip SL13A)

### 5.2.2 Chip MLX90129

Siguiendo los pasos para el chip SL13A, se utilizarán los cálculos del apartado 5.1.2 para diseñar la antena con el chip **MLX90129**.

En este caso, el chip tiene una capacitancia de **75 pF** y la inductancia de la antena debe valer **1.83 uH**.

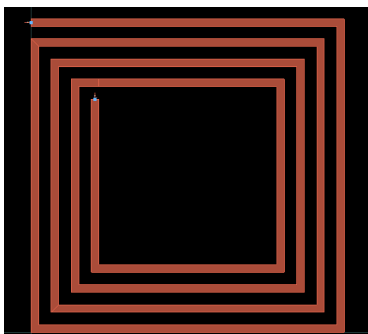


Figura 72: Diseño de la antena para el chip MLX90129.

Número de vueltas	4
Ancho de la antena (mm)	50
Largo de la antena (mm)	50
Spacing (mm)	2
Ancho del conductor (mm)	1.2

Tabla 10: Parámetros antena 2 (Chip MLX90129)

## 5.3 Simulaciones

### 5.3.1 Chip SL13A

Una vez diseñada la antena con los cálculos teóricos, se hará el esquemático del circuito de interconexión entre la bobina y el condensador del chip en cuestión.

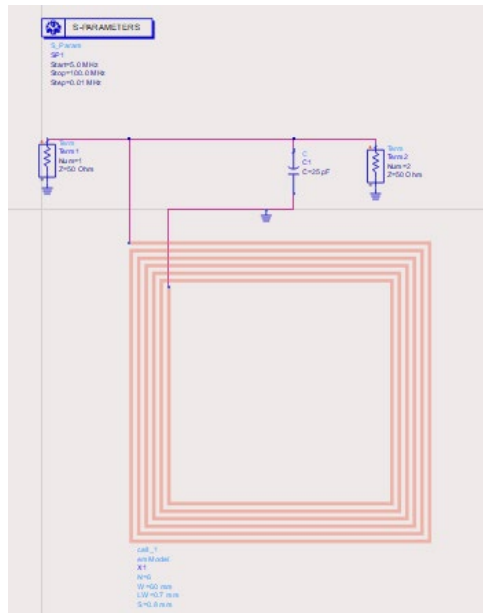


Figura 73: Esquema Simulación 1 del chip SL13A

Una vez ejecutada la simulación con el primer diseño de la antena, se han obtenido los siguientes resultados:

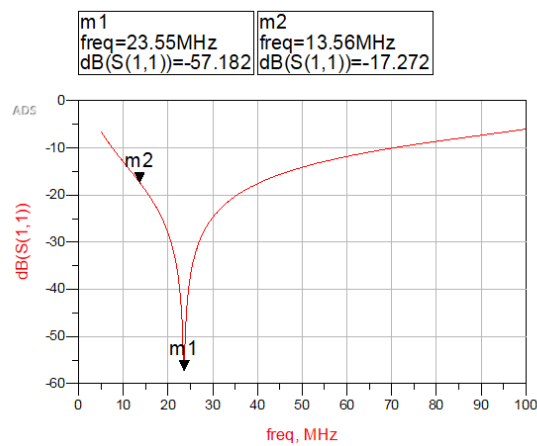


Figura 74: Parámetro S11 de la Simulación 1

Como se puede observar en la figura anterior, el parámetro S11 es más pequeño a la frecuencia de 23.55 MHz, es decir, como no resuena a la frecuencia de 13.56 MHz, hay más reflexiones a esa frecuencia, por lo que se deberá cambiar la forma de la antena para obtener mejores resultados.

### Cambio 1.1

Para observar hacia dónde se podía mover el pico de resonancia, se ha aplicado un cambio brusco al tamaño de la antena:

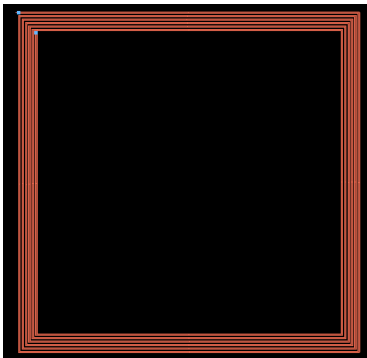


Figura 75: Cambio 1.1 de la antena para el chip SL13A.

Número de vueltas	6
Ancho de la antena (mm)	150
Largo de la antena (mm)	150
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Tabla 11: Parámetros cambio 1.1

Con este cambio, los resultados son los siguientes:

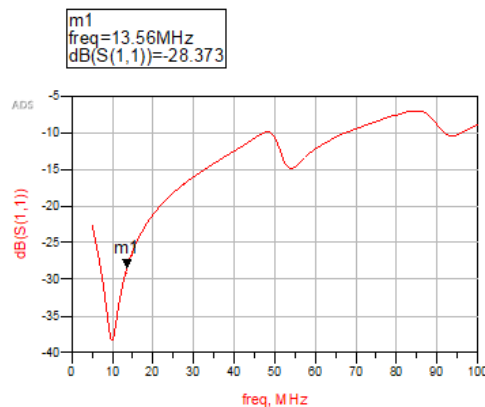
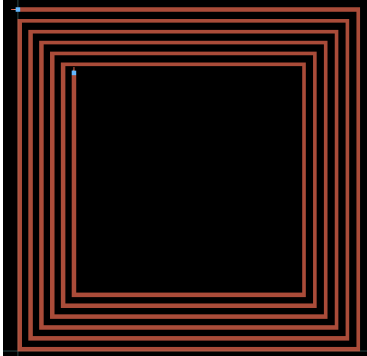


Figura 76: Parámetro S11 del cambio 1.1

Analizando el resultado de la figura 76, se observa que, la frecuencia de resonancia del pico, ha disminuido demasiado, por lo que, la antena, deberá ser más pequeña.

*Cambio 1.2*

En el siguiente cambio, se mantuvo el tamaño inicial de la antena, pero se cambió el espaciado entre las líneas del material conductor.



Número de vueltas	6
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	1.2
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 77: Cambio 1.2 de la antena para el chip SL13A

Tabla 12: Parámetros cambio 1.2

Tras esta simulación se obtuvo el resultado mostrado a continuación:

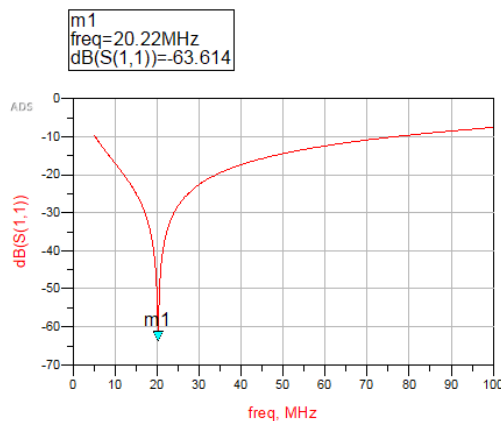
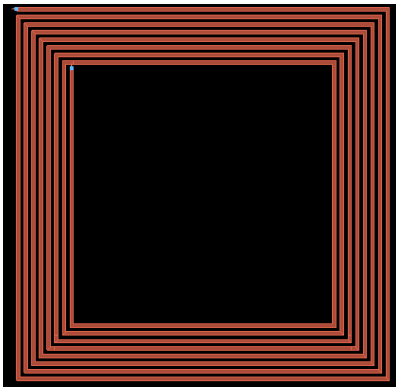


Figura 78: Parámetro S11 del cambio 1.2

Como se analiza en la figura anterior, el pico de resonancia se encuentra más cerca de los 13.56 MHz, pero no lo suficiente.

Tras una serie de variaciones más, visibles en el apartado de **Anexos**, se consiguió un muy buen resultado.

Cambio 1.10



Número de vueltas	8
Ancho de la antena (mm)	73.5
Largo de la antena (mm)	73.5
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 79: Cambio 1.10 de la antena para el chip SL13A

Tabla 13: Parámetros cambio 1.10

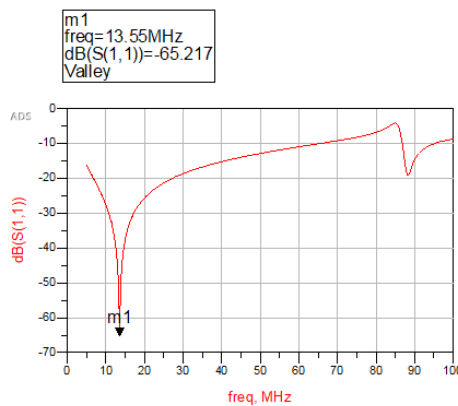


Figura 80: Parámetro S11 del cambio 1.10

En este último caso, se mantuvo la distancia entre los conductores y no se aumentó el ancho de línea, sin embargo, se hizo un poco más grande la antena y le se dio 2 vueltas más. De esta forma, el valor de la inductancia aumentaba y el pico se ajustaba a los 13.55 MHz, que, aunque no son los 13.56 MHz que se buscan, la diferencia entre ambas frecuencias es escasa, por lo que no hay una variación notable entre el parámetro S11 de una y otra.

### 5.3.2 Chip MLX90129

Siguiendo los pasos del chip anterior, se simulará el siguiente chip y se realizarán los cambios necesarios para asegurar un buen funcionamiento.

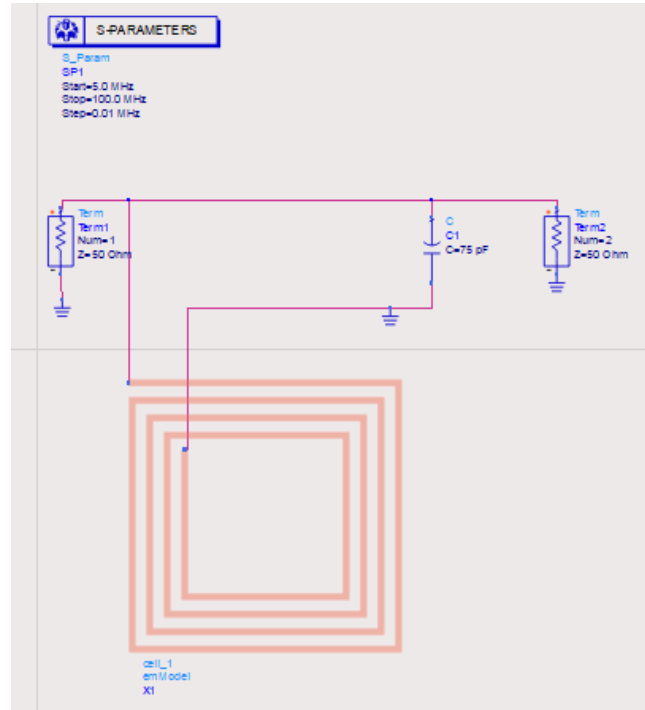


Figura 81: Esquema Simulación 2 del chip MLX90129

Una vez ejecutada la simulación con el primer diseño de la antena, se obtuvieron los siguientes resultados:

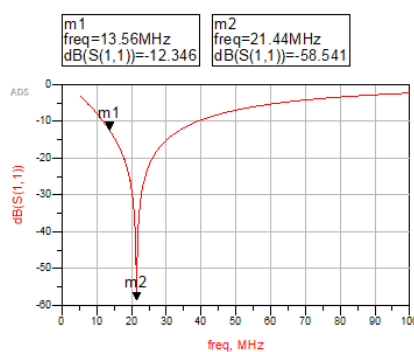


Figura 82: Parámetro S11 de la Simulación 2

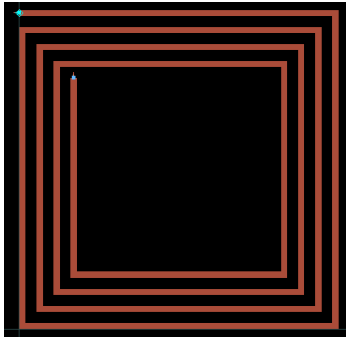
Como se puede comprobar en la figura 82, el parámetro S11 es más pequeño a la frecuencia de 23.55 MHz, lo que significa que no resuena a la frecuencia de 13.56 MHz. Por ello, aparecen



más reflexiones a esa frecuencia y se debe cambiar la forma de la antena para obtener mejores resultados.

### Cambio 2.1

Para observar hacia dónde se podía mover el pico de resonancia, se ha hecho más grande el tamaño de la antena.



Número de vueltas	4
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	2
Ancho del conductor (mm)	1.2

Figura 83: Cambio 2.1 de la antena para el chip MLX90129

Tabla 14: Parámetros cambio 2.1

Con este cambio, los resultados son los siguientes:

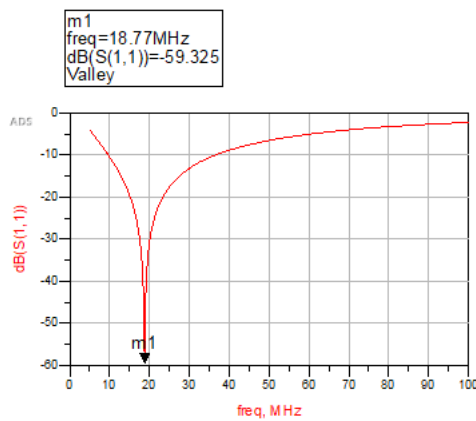
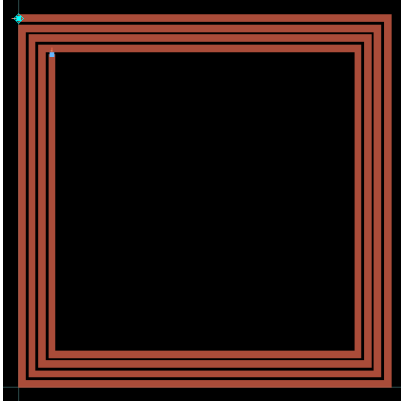


Figura 84: Parámetro S11 del cambio 2.1

Analizando el resultado de la figura 84, se observa que ha disminuido demasiado la frecuencia de resonancia, por lo que, la antena, deberá ser más grande.

### Cambio 2.2

En el siguiente cambio, se mantuvo el tamaño de 60 mm del cambio anterior, pero se cambió el espaciado entre las líneas del material conductor.



Número de vueltas	4
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	0.4
Ancho del conductor (mm)	1.2

Figura 85: Cambio 2.2 de la antena para el chip MLX90129

Tabla 15: Parámetros cambio 2.2

Tras esta simulación el resultado fue el mostrado a continuación:

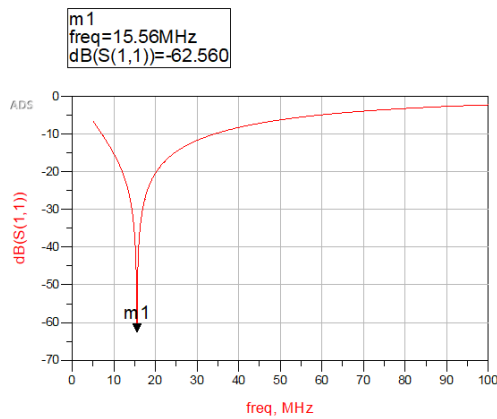
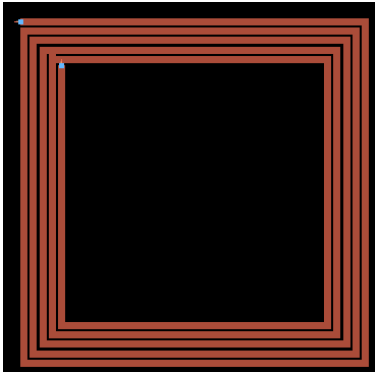


Figura 86: Parámetro S11 del cambio 2.2

Como se puede observar en la figura anterior, el pico de resonancia se encuentra más cerca de los 13.56 MHz, pero aún se debe disminuir un poco más.

### Cambio 2.3

En este cambio, se dejó el tamaño de 60 mm y se aumentó el número de vueltas.



Número de vueltas	5
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	0.4
Ancho del conductor (mm)	1.2

Figura 87: Cambio 2.3 de la antena para el chip MLX90129

Tabla 16: Parámetros cambio 2.3

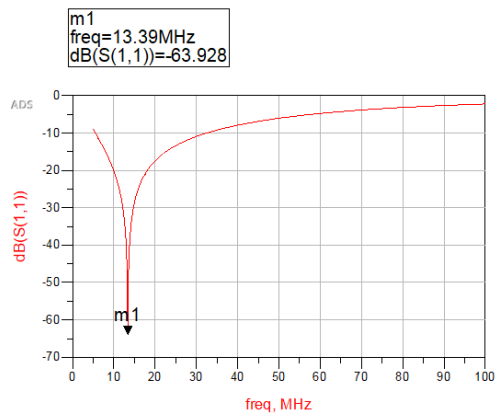
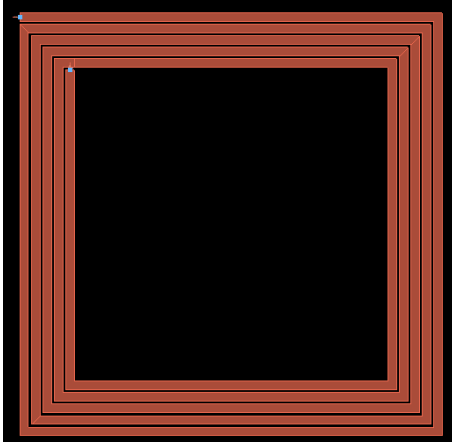


Figura 88: Parámetro S11 del cambio 2.3

En la figura 88, el pico de resonancia se encuentra ha bajado demasiado, pero se encuentra en 13 MHz. Ahora es el momento de realizar pequeños ajustes.

### Cambio 2.4

A continuación, se varió ligeramente el tamaño de la antena, haciéndolo un poco más pequeño.



Número de vueltas	5
Ancho de la antena (mm)	59
Largo de la antena (mm)	59
Spacing (mm)	0.4
Ancho del conductor (mm)	1.2

Figura 89: Cambio 2.4 de la antena para el chip MLX90129

Tabla 17: Parámetros cambio 2.4

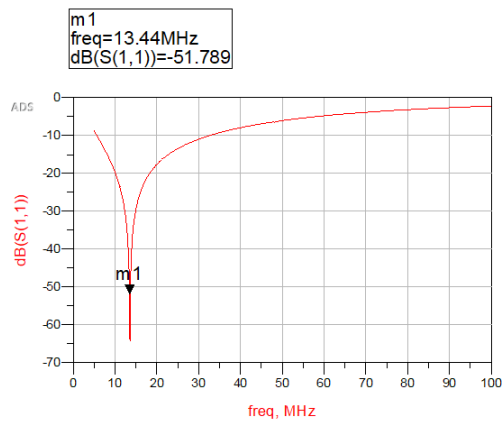
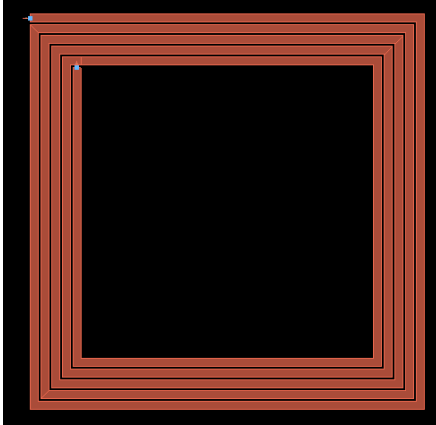


Figura 90: Parámetro S11 del cambio 2.4

En la figura 90, el pico se sitúa muy cerca de los 13.56 MHz. Con unos ajustes más se obtendrá el resultado que desea.

### Cambio 2.5

Para tener más precisión, se redujo el tamaño de la antena muy poco y se obtuvieron los siguientes resultados:



Número de vueltas	5
Ancho de la antena (mm)	58.9
Largo de la antena (mm)	58.9
Spacing (mm)	0.4
Ancho del conductor (mm)	1.2

Figura 91: Cambio 2.5 de la antena para el chip MLX90129

Tabla 18: Parámetros cambio 2.5

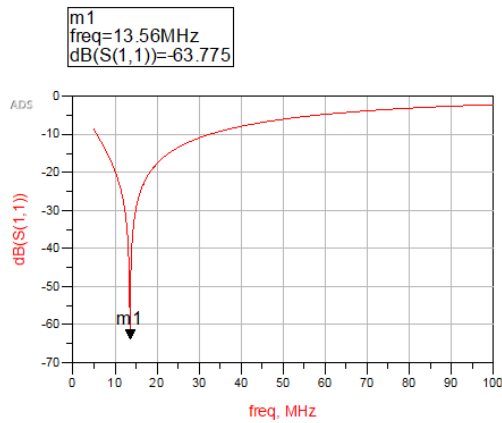


Figura 92: Parámetro S11 del cambio 2.5

En esta ocasión, el pico de resonancia estaba en la frecuencia deseada, por lo que se consideró finalizada la parte de correcciones del diseño.

## 5.4 Resultados

### 5.4.1 Chip SL13A

Una vez hechas las simulaciones de la antena, dónde se ha encontrado el pico de resonancia a los 13.55 MHz, se midió el valor real de la antena y así se pudo comparar con el valor teórico obtenido y se analizó el circuito con 1 puerto. Asimismo, se estudió el resultado del valor de transmisión (S21).

Con las fórmulas de la figura 63 y siguiendo los pasos del apartado 4.2, se puede calcular el valor de L. En otras palabras, eliminando el condensador del esquema y simulando la bobina sola, se pudo obtener el valor de L, tal y como se ve en las figuras 93 y 94.

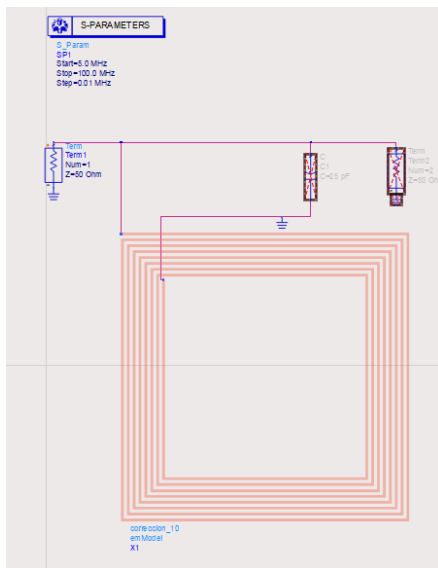


Figura 93: Circuito cálculo inductancia SL13A con 1 puerto.

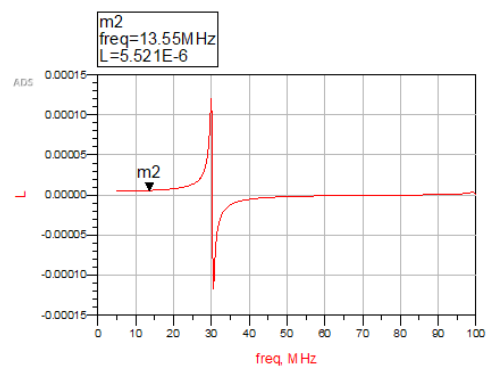


Figura 94: Valor de la inductancia para el chip SL13A con 1 puerto.

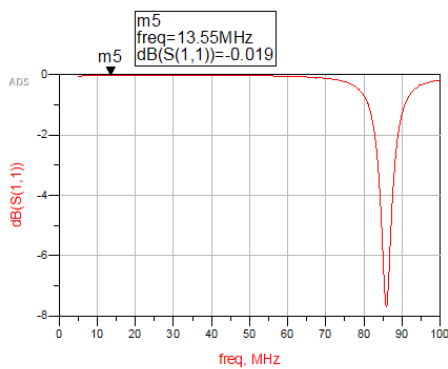


Figura 95: Parámetro S11 con 1 puerto (SL13A).

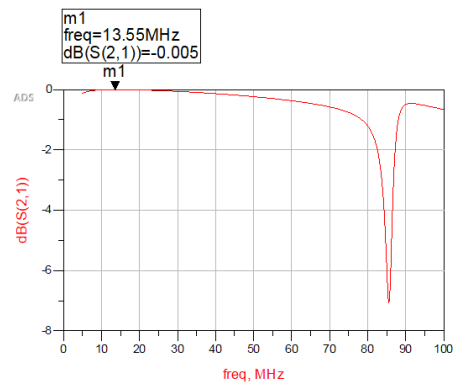


Figura 96: Parámetro S21 con 2 puerto (SL13A).

Analizando los valores obtenidos en las gráficas mostradas, se puede resaltar que el valor de la inductancia  $L$  (5.521  $\mu\text{H}$ ) es un poco diferente del calculado en la teoría (5.51  $\mu\text{H}$ ). Esto es debido a que no es ideal, ya que depende del material conductor y del sustrato donde se sitúe, entre otros parámetros. Por el contrario, se ha ajustado para que funcione con un chip conectado a la misma y así puedan interactuar con la tecnología NFC. Por ello, se observa que se tienen muy pocas pérdidas, pero un correcto valor de transmisión.

### 5.4.2 Chip MLX90129

Para el segundo chip, se realizará el análisis de la misma manera para los parámetros mencionados en el apartado anterior: Valor de la inductancia L, parámetro S11 con 1 puerto y parámetro de transmisión S21 con 2 puertos.

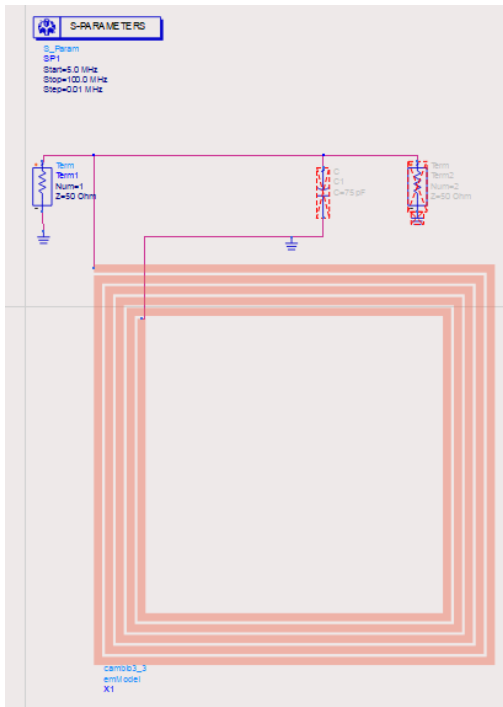


Figura 97: Circuito cálculo inductancia MLX90129 con 1 puerto.

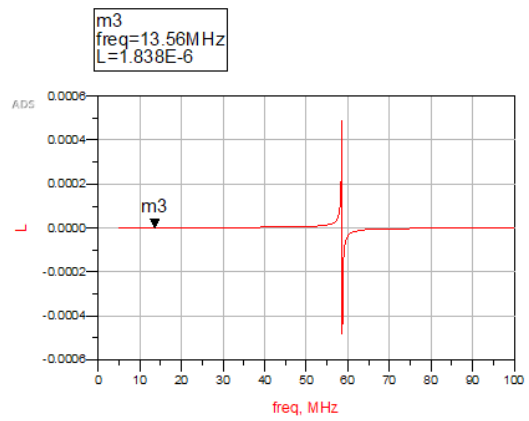


Figura 98: Valor de la inductancia para el chip MLX90129.

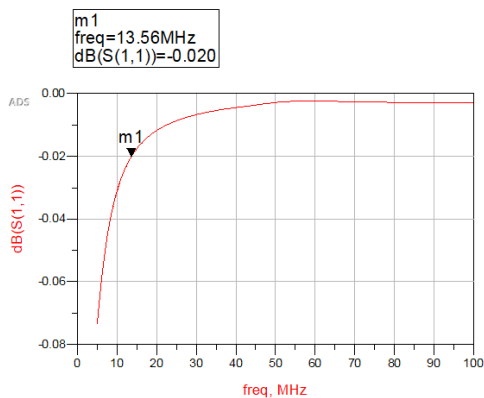


Figura 99: Parámetro S (1,1) con 1 puerto (MLX90129).

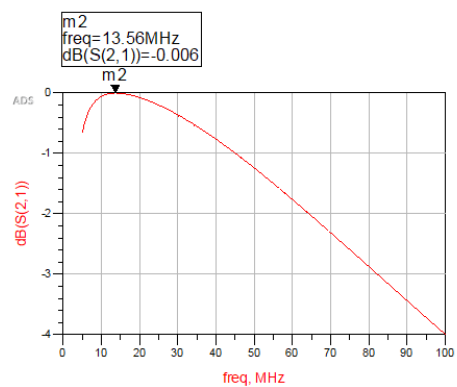


Figura 100: Parámetro S (2,1) con 2 puertos (MLX90129)



Paula Paez Morales

Con los resultados obtenidos tras las simulaciones con el chip MLX90129, se confirma que el valor de la inductancia (1.838 uH) es muy similar al obtenido con el cálculo teórico, como se ha podido ver en el caso anterior. No obstante, el parámetro S21 es ligeramente inferior. En consecuencia, el parámetro S11 simulado con 1 puerto también lo es.

## 6. Procedimiento práctico

En este apartado, se explicará cómo se implementará la antena en el tejano y como se harán las mediciones, aunque actualmente no se puedan llevar a cabo, se podrá utilizar para trabajos futuros.

## 6.1 Bordado de la antena

Cómo se ha indicado anteriormente, no se ha podido llevar a cabo el bordado de la antena, pero se detallarán los pasos que se seguirán más adelante a continuación.

Primeramente, se recortará una sección del tejano para poder coser la antena al mismo. Igualmente, se tensará la tela con tal de facilitar el proceso de bordado de la antena con la máquina de coser [51].

En segundo lugar, se exportará el archivo 2D Gerber, que es a representación de la antena en 2D y que contiene los elementos de la capa que se tenga en  $z = 0$  y se convertirá a JPG con el programa Gerview, con el objetivo de representar la antena de la mejor forma posible.

Seguidamente, se importará el archivo JPG al software *Digitizer Ex*, en el que su función será crear los bordados importando las imágenes que simulan las puntadas en 3D. Por otro lado, este software también ofrece la posibilidad de hacer la configuración de las características del bordado, con tal de asegurar que la máquina no tenga problemas de bordado. El programa *Digitizer Ex*, indicará las puntadas hechas y las totales después de introducir las órdenes a la máquina [51].

Cabe destacar que se situará el hilo de plata en el ovillo inferior de la máquina para bordar la antena de la mejor manera posible [51].

## 6.2 Testeado y mediciones

Una vez bordada la antena, se harán las medidas oportunas para verificar el correcto funcionamiento de la antena, la ganancia, la directividad y el valor del SAR, entre otros parámetros a comprobar.

Para poder medir el SAR se utilizará un software externo al ADS: el CST Studio Suite.

Primeramente, se comprobará la continuidad con el tester, mirando que todos los puntos de la antena estén conectados.

En segundo lugar, para analizar el parámetro  $S_{11}$ , se colocará un trozo de cinta adhesiva de cobre para que el conector haga contacto con la parte de alimentación de la antena y masa. Para obtener resultados más fiables, se soldará, el conector, con un cable conductor añadiendo estaño sobre la cinta adhesiva de cobre con tal de no quemar la antena [51].

Una vez se obtenga el parámetro  $S_{11}$ , se utilizará la cámara anecoica para aislar la antena del exterior y para evitar interferencias. Después, mediante el analizador, se medirá el parámetro  $S_{21}$  y aplicando el parámetro de pérdidas ( $S_{11}$ , extraído antes) se calculará la ganancia de la antena y se creará una tabla con la ganancia a distintas frecuencias.

Para poder realizar todo el proceso, se colocará la antena encima de una base de **Porexpan** totalmente recta (a  $0^\circ$ ) y a una cierta altura. Seguidamente, la cámara enviará toda la información al analizador y este proporcionará la gráfica resultante [51].

## 7. Diagrama de Gantt

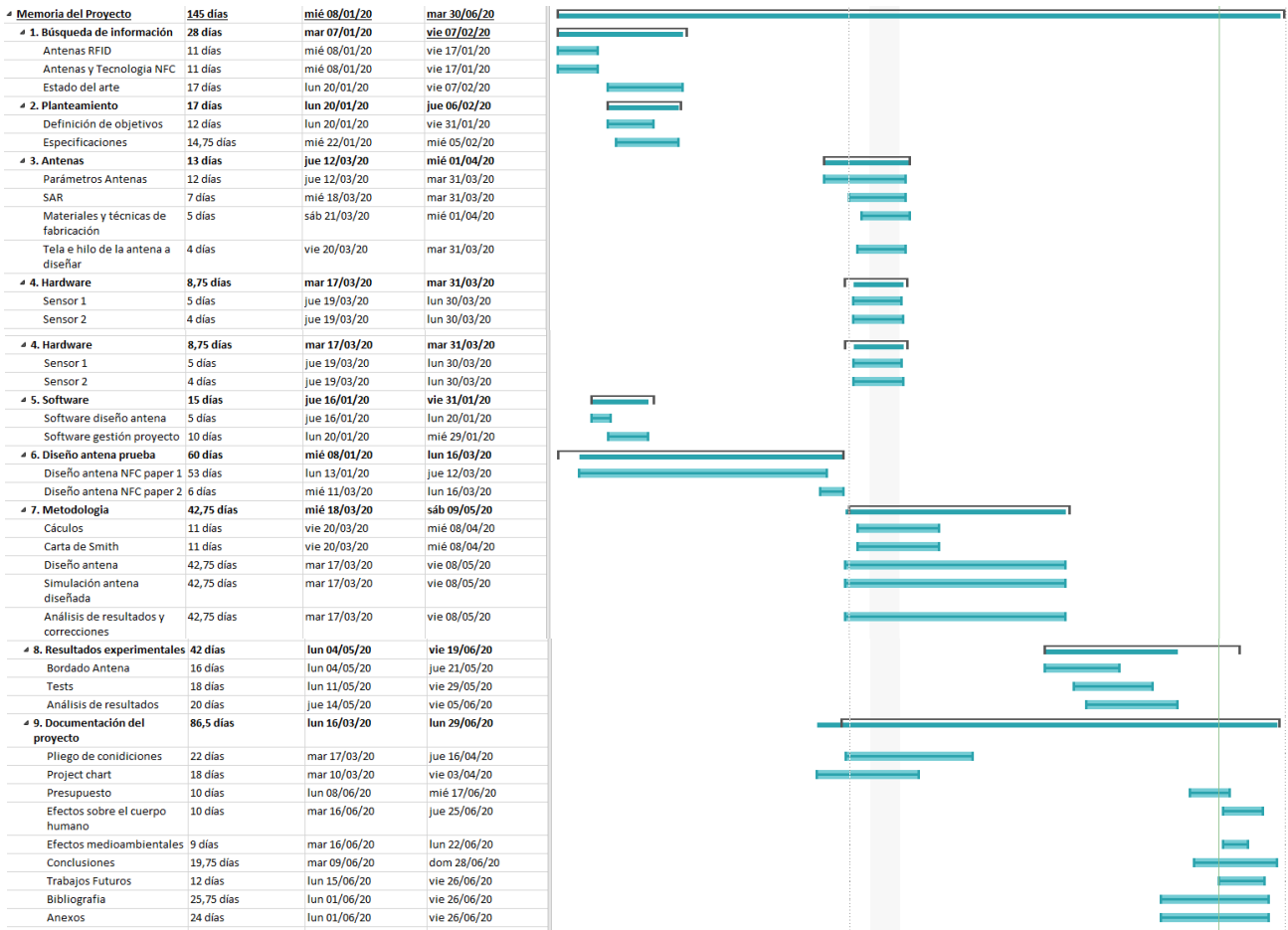


Figura 101: Diagrama de Gantt

## 8. Presupuesto

Materiales	Tejano	16,96 €
	Hilo de plata (ovillo)	488,19 €
	Cable de cobre (1430 metros)	22,17 €
	Estaño (100 g)	7,92 €
	Conectores	2,02 €
	Cinta adhesiva de cobre	22,30 €
Hardware	Chip SL13A	2,28 €
	Chip MLX90129	8,28 €
Software	ADS (Licencia Académica)	- €
	Digitizer Ex	310,00 €
	GerbView	75,56 €
	Microsoft Project	24,95 €
Maquinaria	Singer Futura XL-550	1.450,00 €
	Soldador	18,99 €
	Ordenador	1.899,00 €
	Cámara Anecoica RF Diagnostic Chamber de ROHDE & SCHWARZ	19.320,00 €
	Fieldfox N9916A Microwave Analyzer	15.461,00 €
	Tenma	142,00 €
	Calibration Kit de Agilent Technologies CalKit 85521A	3.233,00 €
Trabajo Ingeniera	600 h (aprox.) a 10 €/h	6.000,00 €
<b>TOTAL</b>		<b>48.504,62 €</b>

Tabla 19: Presupuesto



## 9. Conclusiones

El objetivo principal del proyecto era diseñar, simular, implementar y medir una antena textil para tecnología NFC sobre la ropa. No se han podido cumplir todos los objetivos debido a la situación excepcional que se ha vivido estos últimos meses por el COVID-19, que no nos ha permitido asistir al laboratorio de la universidad para llevar a cabo la parte práctica, al encontrarnos en Estado de Alarma y en confinamiento.

Por otro lado, en el trabajo, se han diseñado dos antenas que trabajan con chips diferentes que contienen sensores de temperatura. La antena calculada teóricamente ha sido muy similar a la obtenida tras las simulaciones con el sustrato escogido, el tejano, que es la prenda de ropa más utilizada a nivel global. La antena simulada teóricamente en un tanque LC siguiendo el documento [36], se ha llevado los mejores resultados debido a que es ideal. Sin embargo, las antenas que se han diseñado con los chips SL13A y MLX90219 para resonar a 13.56 MHz también han resultado ser buenas para la aplicación que se les quiere dar.

<b>Parámetros</b>	<b>SL13A</b>	<b>MLX90129</b>
<b>N</b>	8	5
<b>Ancho antena (mm)</b>	73.5	58.9
<b>Largo antena (mm)</b>	73.5	58.9
<b>S (mm)</b>	0.8	0.4
<b>LW (mm)</b>	0.7	1.2
<b>S11 (dB)</b>	-65.217	-63.775
<b>S21 (dB)</b>	-0.005	-0.006

*Tabla 20: Tabla de resultados*

En la tabla anterior se puede ver el parámetro S11 obtenido en las simulaciones con 2 puertos del chip MLX90129, que ha resultado ser más grande (-63.775 dB) que el SL13A, pero lo suficientemente pequeño para asegurar pocas pérdidas. El parámetro S21, simulado con 2 puertos también, ha resultado elevado (-0.006 dB) y cercano a 0 dB, por lo que se ha obtenido una buena transmisión.

El chip SL13A ha ofrecido mejores resultados, ya que el parámetro S11, simulado con 2 puertos, resultaba ser más pequeño (-65.217 dB) que el del chip MLX90129 y el parámetro de transmisión S21, simulado con 2 puertos, ha proporcionado una mejor transmisión (-0.005 dB) porque es más grande que el chip anterior.

Por lo tanto, podemos concluir que se han cumplido los objetivos de diseño y simulación de una antena que resuena a 13.56 MHz en combinación con los chips SL13A y MLX90129 y que funciona correctamente con tecnología NFC.

Para finalizar, algunos inconvenientes que se han encontrado en el momento de desarrollar el trabajo han sido la falta de especificaciones en las simulaciones de algunos documentos cómo el utilizado en el proyecto [36]. También, en la búsqueda de documentación, nos hemos encontrado con que existe infinidad de información que debíamos valorar y seleccionar correctamente para conseguir realizar las simulaciones correctamente y para poder redactar de la manera más precisa posible todo el proyecto.

## 10. Trabajos Futuros

Actualmente, se pueden encontrar algunos estudios de antenas textiles y las diferentes de aplicaciones que tienen este tipo de antenas. Es destacable el hecho de que se están realizando estudios de antenas aplicadas directamente sobre el cuerpo humano, por lo que tienen un gran potencial de investigación.

Como se ha podido comprobar, una antena real no se comporta como en la teoría, ya que necesita variar el tamaño para interactuar con la tecnología NFC.

En este trabajo se hubiera bordado la antena y se hubieran realizado las medidas necesarias para confirmar el buen funcionamiento de la antena y que no resulta peligrosa para el ser humano. Debido al COVID-19, no se ha podido asistir al laboratorio para hacer las actividades mencionadas anteriormente.

Por este motivo, en futuros trabajos, se podrá bordar la antena a un tejano con un hilo de plata [65], ya que se ha comprobado que es efectivo para este tipo de aplicaciones.

Por otro lado, también se podrán realizar las medidas correspondientes de la antena para comprobar su eficiencia, directividad y ganancia. Después, se podrá medir el SAR, para poder analizar su efecto sobre el cuerpo humano y el medio ambiente.

Finalmente, se podrá programar una aplicación para poder captar la temperatura medida por el sensor que se escoja y, de esta manera, poder redactar un artículo sobre el funcionamiento de la antena diseñada. También, se podrá investigar la obtención de más parámetros médicos.

## 11. Bibliografía

[1] Antenas en la piel:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/admt.201800628>

[2] State of Art of NFC:

<https://www.oreilly.com/library/view/the-art-and/9781786300577/chapter01.xhtml>

[3] Anne-Marie Lesas, Serge Miranda (2017). *The Art and Science of NFC Programming*

[4] RFID – Wikipedia:

<https://es.wikipedia.org/wiki/RFID>

[5] Montero, R. (2017). *Estudio de tecnología de comunicación de campo cercano, NFC*. 155.

[6] Código de barras y RFID:

<https://www.evaluandoerp.com/comparacion-tecnologias-rfid-codigo-barras/>

[7] Jiang, Y., Xu, L., Pan, K., Leng, T., Li, Y., Danoon, L., & Hu, Z. (2019). e-Textile embroidered wearable near-field communication RFID antennas. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 13(1), 99–104. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2018.5435>

[8] Want, R. (2011). Near field communication. *IEEE Pervasive Computing*, 10(3), 4–7. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2011.55>

[9] Dolgui, A., & Proth, J. M. (2008). RFID technology in supply chain management: State of the art and perspectives. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 17(1 PART 1). <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.1399>

[10] Wong, T. C. P., Anderson, B. C. A. P., & Wright, P. V. (n.d.). A-

[11] Comunicación NFC:

<https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/nfc-near-field-communication/#c207812>

[12] Salonen, P., Rahmat-Samii, Y., Hurme, H., & Kivikoski, M. (2004). Dual-band wearable textile antenna. *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*, 1, 463–466. <https://doi.org/10.1109/aps.2004.1329674>

[13] Zhong, J., Kiourti, A., Sebastian, T., Bayram, Y., & Volakis, J. L. (2017). Conformal Load-Bearing Spiral Antenna on Conductive Textile Threads. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 230–233. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2570807>

[14] Noda, A. (2019). Wearable NFC Reader and Sensor Tag for Health Monitoring. *BioCAS 2019 - Biomedical Circuits and Systems Conference, Proceedings*, 1–4.

<https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2019.8919200>

[15] Tarjeta sin contacto:

<https://www.adslzone.net/2016/03/28/tienes-tarjeta-contacless-cuidado-podrias-pagar-sin-darte-cuenta/>

[16] RFID HANDBOOK: *Fundamentals and applications in contactless smart cards*, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication – Books Google

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jAszZEQYa9wC&oi=fnd&pg=PT6&dq=near+field+communication&ots=2JpFjiUUNp&sig=2wSI4K1JG5ylW9WCNLEK3HY5ink#v=onepage&q=near%20field%20communication&f=false>

[17] Aplicaciones NFC: Smart-Tec:

<https://www.smart-tec.com/en/products/rfid-nfc-emblems>

[18] Calcetines NFC:

<https://owletbabycare.co.uk/>

[19] Shop NFC:

<https://www.shopnfc.com/es/>

[20] Uñas NFC:

<https://www.elgrupoinformatico.com/noticias/jakcom-smart-nail-las-unas-nfc-que-todo-mundo-puede-tener-t76446.html>

[21] Bandas de frecuencia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas\\_de\\_frecuencia#cite\\_note-1](https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas_de_frecuencia#cite_note-1)

[22] Espectro:

<https://avancedigital.gob.es/espectro/Paginas/cnaf.aspx>



Paula Paez Morales

[23] ITU:

[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.431-8-201508-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.431-8-201508-I!!PDF-S.pdf)

[24] Banda ISM:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Banda\\_ISM](https://es.wikipedia.org/wiki/Banda_ISM)

[25] BOE frecuencias:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-4845>

[26] Near Field Communication – Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Near\\_field\\_communication](https://es.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication)

[27] BOE:

<https://www.boe.es/eli/es/o/2017/10/25/etu1033>

[28] NFC y RFID:

<https://sites.google.com/site/nfcvsrfid/nfc-vs-rfid>

[29] Radio Frequency Identification – Wikipedia:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_identification](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification)

[30] Tipos de RFID:

<https://nextpoints.com/tipos-tag-rfid/>

[31] Imagen NFC:

<https://blog.masmovil.es/nfc-todo-lo-que-puedes-hacer/>

[32] Tecnología NFC - NFC Fórum

<https://nfc-forum.org/>

[33] Aplicaciones de las antenas NFC: ST Microelectronics

[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/technical\\_note/f9/a8/5a/0f/61/bf/42/29/DM00190233.pdf/files/DM00190233.pdf/jcr:content/translations/en.DM00190233.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/technical_note/f9/a8/5a/0f/61/bf/42/29/DM00190233.pdf/files/DM00190233.pdf/jcr:content/translations/en.DM00190233.pdf)

Paula Paez Morales

[34] Dipole RFID – Empresa:

<https://www.dipolerfid.es/Tag-RFID>

<https://www.dipolerfid.es/tecnologia-RFID>

<https://www.dipolerfid.es/blog/categor-a-1/Tipos-Sistemas-RFID>

[35] Diseño y medidas antena NFC RFID – ST Microelectronics:

Tags, R. (2019). *How to design an antenna for dynamics NFC tags. Application note. February*, 1–20.

[36] Del-Rio-Ruiz, R., Lopez-Garde, J. M., Macon, J. L., & Rogier, H. (2018). Design and performance analysis of a purely textile spiral antenna for on-body NFC applications. *2017 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications, IMWS-AMP 2017, 2018-January(September)*, 1–3.  
<https://doi.org/10.1109/IMWS-AMP.2017.8247427>

[37] Carta de Smith:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Carta\\_de\\_Smith](https://es.wikipedia.org/wiki/Carta_de_Smith)

[38] Formas de las antenas: ST Microelectronics:

Nfc, D., Nfc, D., Nfc, T. D., Nfc, D., & March, T. (2019). *Application note. How to design an antenna for dynamic NFC tags. March*, 1–26.

[39] Montero, R. (2017). *Estudio de tecnología de comunicación de campo cercano, NFC*. 155.

[40] Ignacio, C., & Guerra, V. (n.d.). Carlos Ignacio Valderrama Guerra Diseño antena textil para aplicaciones de alto riesgo Escuela de Ingeniería Eléctrica Diseño antena textil para aplicaciones de alto riesgo.

[41] Antenas loop:

<https://www.studocu.com/co/document/universidad-popular-del-cesar/ingenieria-ambiental/informe/78890506-antenas-loop/2009250/view>

[42] Antenas con ferrita:

<https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/antenas-para-nfc/>

Paula Paez Morales

[43] NTAG 213:

<https://www.dipolerfid.com/RFID-Tags/NFC-Tag-Smartrac-Midas-NXP-NTAG-213>

[44] Productos NFC:

<https://www.nfcwork.com/nfc-product/fabric-nfc-wristband-ntag-213-180-byte-fully-printed/>

[45] NTAG 216:

<https://www.dipolerfid.com/RFID-Tags/nfc-tag-smartrac-bullseye-nxp-ntag-216>

[46] NFC TAGS:

<https://www.bq.com/es/etiquetas-nfc>

[47] Objetos NFC:

<https://www.nfcwork.com/nfc-products/>

[48] Teoría de antenas:

<http://www.antenna-theory.com/>

[49] Ferrando Miguel; Valero Alejandro. (2005). Parámetros de Antenas. Universidad Politécnica Valencia, 1–16.

[http://www.upv.es/antenas/Documentos\\_PDF/Notas\\_clase/Tema\\_1.PDF](http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF)

[50] John Wiley, SONS INC. *ANTENNA THEORY*. (n.d.).

[51] Irene Nus Santos. Trabajo de Final de Grado, T. D. E. F. D. E. (2019). *WEARABLE SIGFOX PARA APLICACIONES IOT*.

[52] Butler, J., Pietrosemoli, E., & Zenaro, M. (2013). *Redes inalámbricas en los países en desarrollo*.

<http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>

[53] Boris, S. B., & Boris, S. B. (n.d.). *Miguel Ferrando Bataller*.- UPC Commons

[54] Society, P. (2013). IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas IEEE Antennas and Propagation Society (Vol. 2013). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2014.6758443>

[55] Patrón de radiación:

Paula Paez Morales

<https://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/115012664088-UniFi-Introduction-to-Antenna-Radiation-Patterns>

[56] Patrón de radiación antenas:

<https://www.monografias.com/trabajos98/parametros-fundamentales-antenas/parametros-fundamentales-antenas.shtml>

[57] Diagrama de radiación:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Antena#Diagrama\\_de\\_radiaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Antena#Diagrama_de_radiaci%C3%B3n)

[58] Eficiencia:

<http://todoantenas.weebly.com/eficiencia.html>

[59] Vielma, M. (2005). *Introducción a las Antenas Contenido*. 45.

[http://www.catlog.net/\\_Descarregas/03-Tecnic/Antenas/Teoria Antenas.pdf](http://www.catlog.net/_Descarregas/03-Tecnic/Antenas/Teoria Antenas.pdf)

[60] Parámetros de dispersión:

Hernández, A. (2014). *Capítulo 2: Teoría básica de antenas*. 14–29.

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/hernandez\\_a\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo2.pdf)

[61] SAR:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa\\_de\\_absorci%C3%B3n\\_espec%C3%ADfica](https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_de_absorci%C3%B3n_espec%C3%ADfica)

[62] Mediciones SAR:

G, A. F. R. (2015). *Protocolo de pruebas para evaluar el SAR (Tasa de Absorción Específica) producido por terminales móviles*. 119–127.

[63] Tela – Vaquero o *denim*:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Pantal%C3%B3n\\_vaquero](https://es.wikipedia.org/wiki/Pantal%C3%B3n_vaquero)

[64] Tabla propiedades Tejano:

Paula Paez Morales

Survey, A. (2012). *Textile Materials for the Design of Wearable Antennas* :15841–15857.  
<https://doi.org/10.3390/s121115841>

[65] Hilo *Shieldex*:

Properties, C., & Properties, T. (2005). Technical data sheet Technical data sheet. *Cell*, 123(May), 98–99.

[66] Hilo *Bekinox*:

Bekinox, B. (n.d.). *Highly electrically conductive spun yarn for anti-static textiles*.

[67] Chip MLX90129:

Melexis. (2017). *MLX90129: 13,56MHz sensor tag/datalogger IC*. 1–60. [www.melexis.com](http://www.melexis.com)

[68] Chip SL13A:

AMS. (2014). *SL13A - Smart Sensory Tag Chip For Unique*.

[69] Software ADS:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Design\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Design_System)

[70] Path Wave Design:

[https://en.wikipedia.org/wiki/PathWave\\_Design](https://en.wikipedia.org/wiki/PathWave_Design)

[71] Keysight Technologies:

Keysight. (2016). Planar Electromagnetic (EM) Simulation in ADS. *Keysight*, 1–30.

[72] Microsoft Project:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Project](https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Project)

[73] Gerbview:

[https://www.gerbview.com/index.html?gclid=EAIaIQobChMI-z1qrPz6QIVSPIRCh3p5ALcEAAAYASAAEgJe4\\_D\\_BwE](https://www.gerbview.com/index.html?gclid=EAIaIQobChMI-z1qrPz6QIVSPIRCh3p5ALcEAAAYASAAEgJe4_D_BwE)

[74] Digitizer EX:

Paula Paez Morales

<http://www.ena.com/es-es/software.php?software=506>

[75] Singer Futura XL – 550:

<https://www.singer.com/Futura-XL-550-Embroidery-Machine>

[76] RF Diagnostic Chamber de ROHDE & SCHWARZ:

[https://www.rohde-schwarz.com/es/producto/dst200-pagina-de-inicio-producto\\_63493-11087.html](https://www.rohde-schwarz.com/es/producto/dst200-pagina-de-inicio-producto_63493-11087.html)

[77] Fieldfox N9916A Microwave Analyzer:

<https://www.keysight.com/en/pdx-x201925-pn-N9916A/fieldfox-handheld-microwave-analyzer-14-ghz/>

[78] Agilent Technologies CalKit 85521A:

<https://www.keysight.com/en/pd-2171664-pn-85521A/4-in-1-oslt-mechanical-calibration-kit-dc-to-265-ghz-type-35-mm-f-50-ohm?cc=US&lc=eng>

[79] TENMA 72-7730A:

<https://es.farnell.com/tenma/72-7730a/multimeter-dig-hand-held-19999/dp/2100035>

[80] Software eDesign Suite de ST Microelectronics:

<https://eds.st.com/antenna/#/>

[81] RFID vs NFC:

<https://sites.google.com/site/nfcvsrfid/nfc-vs-rfid>

[82] Antena omnidireccional:

[https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html)

[83] Diseño, Y., Un, C. D. E., & Rfid, S. (n.d.). *SIMULACIÓN DE UN SISTEMA*. UPC Commons

[84] Imagen bandas de frecuencia:

<http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/>

[85] Imagen frecuencias RFID:

[https://www.researchgate.net/publication/282360207\\_Enhancing\\_RFID\\_indoor\\_localization\\_with\\_cellular\\_technologies/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/282360207_Enhancing_RFID_indoor_localization_with_cellular_technologies/figures?lo=1)

[86] Técnicas fabricación y tela Nora Dell:

Tsolis, A., Whittow, W. G., Alexandridis, A. A., & Vardaxoglou, J. Y. C. (2014). *Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities*. May. <https://doi.org/10.3390/electronics3020314>

[87] Mohamed El Boutchi, Polit, U., Superior, C. E., & Industrial, E. (2016). *Diseño y Medición de una Antena Wearable*.

[88] Vielma, M. (2005). *Introducción a las Antenas Contenido*. 45.

<http://www.catlog.net/Descarregas/03-Tecnic/Antenas/TeoriaAntenas.pdf>

[89] BK Stainless Steel:

<http://old.swicofil.com/bekintex.html>

[90] ADS Momentum:

<https://www.keysight.com/en/pc-1887116/momentum-3d-planar-em-simulator?cc=US&lc=eng>

[91] <https://es.wikipedia.org/wiki/EEPROM>

[92] <https://es.wikipedia.org/wiki/TAG>

[93] [https://es.wikipedia.org/wiki/Tarjeta\\_de\\_red](https://es.wikipedia.org/wiki/Tarjeta_de_red)

[94] [https://es.wikipedia.org/wiki/ISO\\_14443](https://es.wikipedia.org/wiki/ISO_14443)

[95] [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_global\\_para\\_las\\_comunicaciones\\_m%C3%B3viles](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles)

[96] Lazaro, A., Villarino, R., & Girbau, D. (2018). A survey of NFC sensors based on energy harvesting for IoT applications. *Sensors (Switzerland)*, 18(11).

<https://doi.org/10.3390/s18113746>

Paula Paez Morales

[97] Precio máquina de coser:

<https://www.maquinasdecoserdioni.com/singer-maquina-de-bordar-singer-xl-550.html>

[98] Precio tela tejana:

[https://www.telas.es/81-3987-003\\_tela-vaquera-clasica-2.html?gclid=EAlaIqobChMI7eyS\\_pmO6gIVhYKyCh0JYgdEEAYYA\\_iABEgLi0PD\\_BwE](https://www.telas.es/81-3987-003_tela-vaquera-clasica-2.html?gclid=EAlaIqobChMI7eyS_pmO6gIVhYKyCh0JYgdEEAYYA_iABEgLi0PD_BwE)

[99] Precio multímetro:

<https://es.farnell.com/tenma/72-7730a/multimeter-dig-hand-held-19999/dp/2100035>

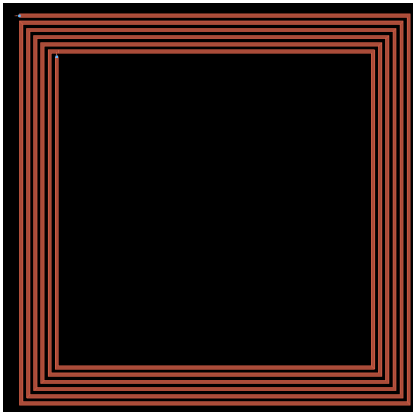


## 12. Anexos

## Simulaciones chip SL13A

### Cambio 1.3

En el siguiente cambio, probamos a aumentar el tamaño inicial de la antenna, manteniendo el resto de parámetros.



Número de vueltas	6
Ancho de la antena (mm)	82
Largo de la antena (mm)	82
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 102: Cambio 1.3 de la antena para el chip SL13A

Tabla 21: Parámetros cambio 1.3

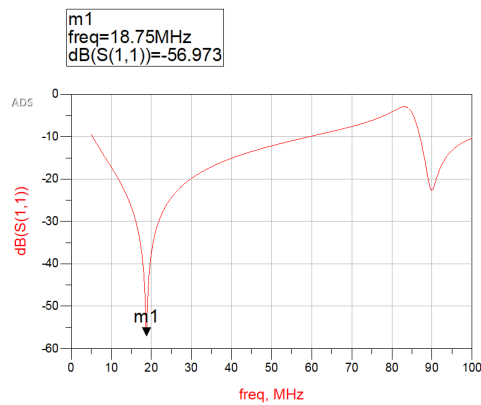
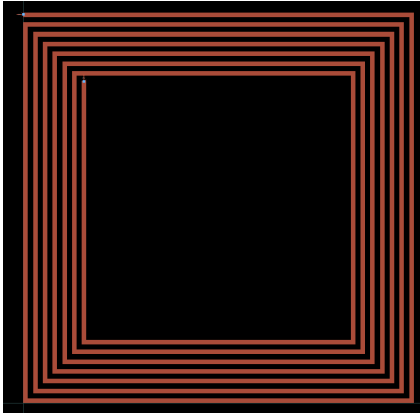


Figura 103: Parámetro S11 del cambio 1.3

Como podemos ver en la figura X, el pico de resonancia se encuentra más cerca de los 13.56 MHz, pero debemos seguir mejorando la antena.

### Cambio 1.4

A continuación, optamos por mantener el tamaño inicial de la antena, pero aumentamos el número de vueltas.



Número de vueltas	7
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 104: Cambio 1.4 de la antena para el chip SL13A

Tabla 22: Parámetros cambio 1.4

Los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que pensamos que el pico se situaría mucho más cerca de los 13.56 MHz y no fue así. Vimos como el cambio fue menos notable, por lo que nos decantamos por otros cambios en las futuras simulaciones.

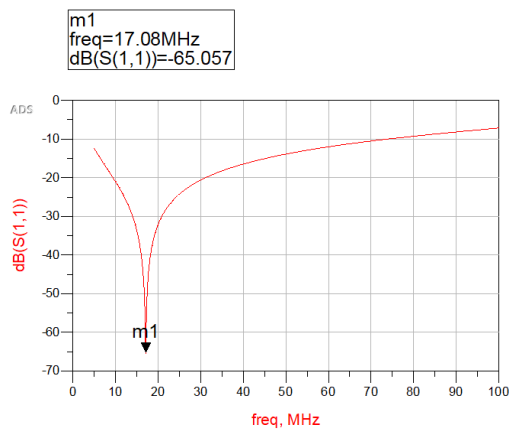
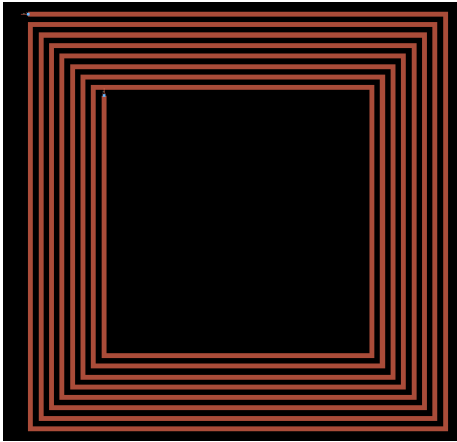


Figura 105: Parámetro S11 del cambio 1.4

### Cambio 1.5

En el siguiente cambio, seguimos aumentando el número de vueltas.



Número de vueltas	8
Ancho de la antena (mm)	60
Largo de la antena (mm)	60
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 106: Cambio 1.5 de la antena para el chip SL13A

Tabla 23: Parámetros cambio 1.5

Tras esta simulación obtuvimos el resultado mostrado a continuación:

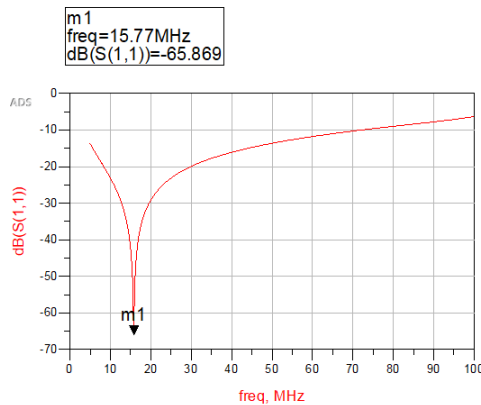
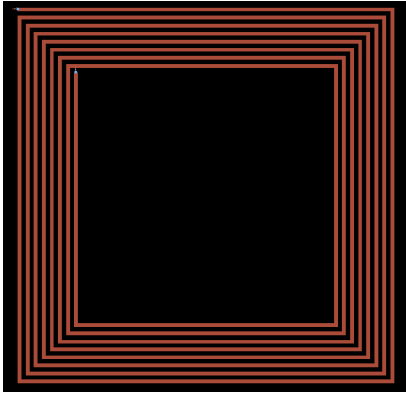


Figura 107: Parámetro S11 del cambio 1.5

Como podemos ver en la figura anterior, el pico de resonancia se encuentra a la izquierda de los 13.56 MHz. Debemos buscar otra solución, ya que hemos sobrepasado la frecuencia que queríamos.

### Cambio 1.6

A continuación, seguimos aumentando el tamaño de la antena y seguimos manteniendo el resto de características de la bobina.



Número de vueltas	8
Ancho de la antena (mm)	70
Largo de la antena (mm)	70
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 108: Cambio 1.6 de la antena para el chip SL13A

Tabla 24: Parámetros cambio 1.6

Los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que pensamos que el pico se situaría mucho más cerca de los 13.56 MHz y no fue así. Vimos como el cambio fue menos notable, por lo que nos decantamos por otros cambios en las futuras simulaciones.

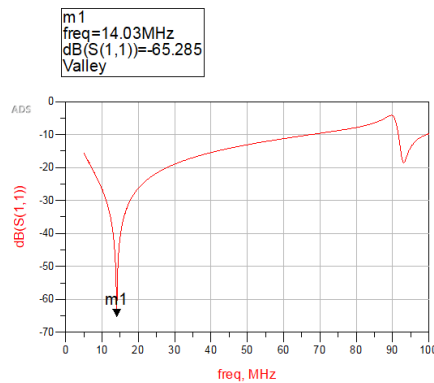
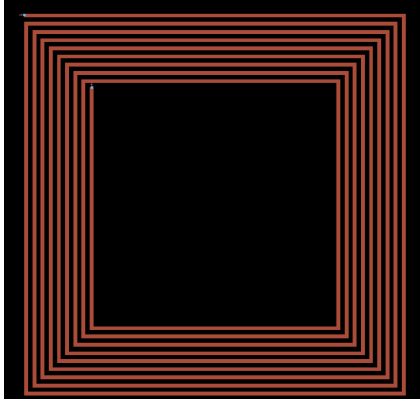


Figura 109: Parámetro S11 del cambio 1.6

### Cambio 1.7

A continuación, seguimos aumentando el número de vueltas de la antena y seguimos manteniendo el resto de características de la bobina.



Número de vueltas	9
Ancho de la antena (mm)	70
Largo de la antena (mm)	70
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 110: Cambio 1.7 de la antena para el chip SL13A

Tabla 25: Parámetros cambio 1.7

Ahora observamos que el pico se ha acercado más a los 13.56 MHz. Con unos ajustes más llegaremos a la frecuencia deseada.

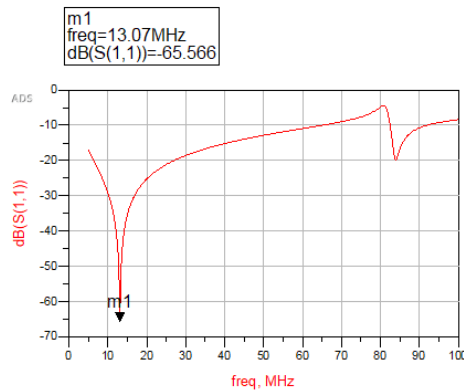
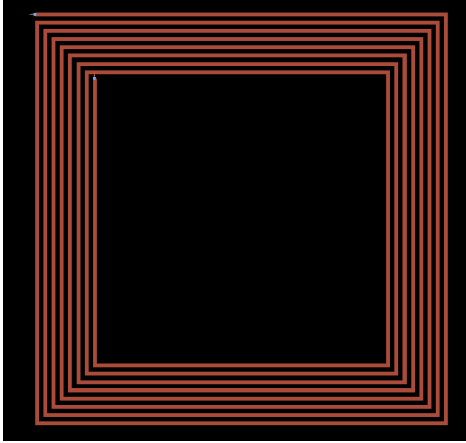


Figura 111: Parámetro S11 del cambio 1.7

### Cambio 1.8

A continuación, seguimos aumentando el tamaño de la antena pero reducimos el número de vueltas.



Número de vueltas	8
Ancho de la antena (mm)	75
Largo de la antena (mm)	75
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 112: Cambio 1.8 de la antena para el chip SL13A

Tabla 26: Parámetros cambio 1.8

Los resultados se acercaron más a la frecuencia que queríamos.

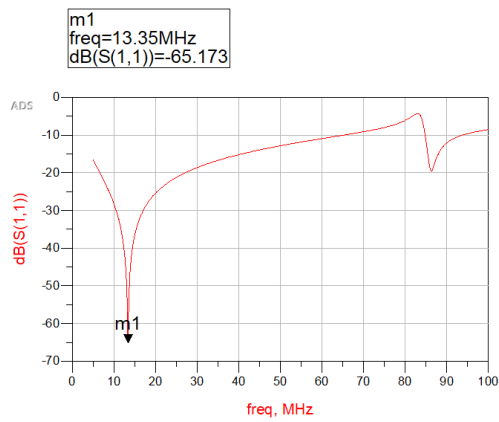
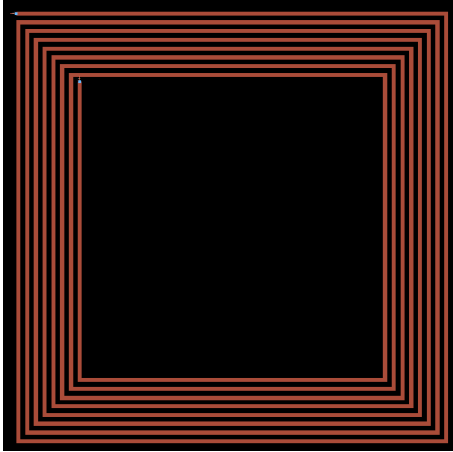


Figura 113: Parámetro S11 del cambio 1.8

### Cambio 1.9

Para el penúltimo cambio, aumentamos minuciosamente el tamaño de la antena, manteniendo el número de vueltas y el resto de parámetros.



Número de vueltas	8
Ancho de la antena (mm)	74
Largo de la antena (mm)	74
Spacing (mm)	0.8
Ancho del conductor (mm)	0.7

Figura 114: Cambio 1.9 de la antena para el chip SL13A

Tabla 27: Parámetros cambio 1.9

Tras observar el parámetro S11 de esta simulación, concluimos que con una leve variación en el tamaño de la antena llegaríamos a los 13.56 MHz.

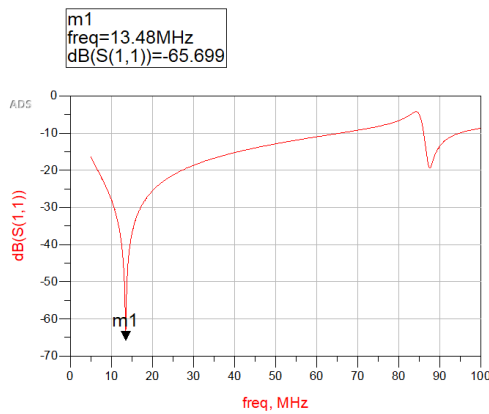


Figura 115: Parámetro S11 del cambio 1.9