

**Conchita Poveda Rodríguez**

**TRAZABILIDAD DEL ESTADO DE ALIMENTOS  
UTILIZANDO TAGS UHF**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**Dirigido Antonio Ramón Lázaro Guillén**

**Grado en Ingeniería Telemática**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona**

**2015**



## **Agradecimientos**

A Dios por hacer del día a día un regalo, por rodearme de personas que me quieren y me hacen crecer como persona. Por guiarme en todas las decisiones tomadas y hacer que las situaciones difíciles sean más llevaderas.

Agradecer a Antonio Lázaro, tutor de este proyecto, su dedicación, guía, ayuda, paciencia y por transmitirme los conocimientos necesarios para llevar a cabo este proyecto. Y a todos los profesores de la carrera, por su aportación en mi formación profesional.

A mi familia por su apoyo, ánimos y consejos en todo momento. Por sus oraciones en mis exámenes y trabajos. En especial a mi madre y hermano, que aguantando mi cansancio y estrés han sido mis animadores personales en este largo y duro trayecto. A mis compañeros y amigos de curso, por hacer el día a día más ameno y distraído, entre bromas y debates.

A Elise por tantos años de amistad, escuchándome cuando lo necesitaba y consolándome en los momentos críticos. Por esas charlas eternas, consejos y risas aseguradas tan cercanas a pesar de la distancia.

Y como no, a María y Clara por tantas conversaciones, risas e intensivos en la biblioteca que junto a todos los momentos compartidos formarán parte de los buenos recuerdos de la vida universitaria.

Por todo y más, muchas gracias.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
1.1	Motivación.....	10
1.2	Objetivos.....	10
1.3	Introducción a los tags RFID.....	11
1.3.1	<i>Definición</i> .....	11
1.3.2	<i>Comienzos</i> .....	12
1.3.3	<i>Componentes y funcionamiento de un sistema RFID</i> .....	12
1.3.4	<i>El RFID frente al código de barras</i> .....	13
1.3.5	<i>Bandas de frecuencia</i> .....	14
1.3.6	<i>Tipos</i> .....	15
1.3.7	<i>Aplicaciones</i> .....	16
<b>2</b>	<b>Tags diferenciales</b> .....	<b>18</b>
2.1	Potencia recibida del tag.....	18
2.2	Potencia recibida del Lector .....	19
<b>3</b>	<b>Medida de permitividades en materiales</b> .....	<b>20</b>
3.1	Caracterización de permitividad dieléctrica utilizando una sonda coaxial..	20
3.2	Medidas de permitividad caso 1 (Lomo).....	24
3.3	Medidas de permitividad caso 2 (carne de pollo).....	26
<b>4</b>	<b>Diseño y pruebas previas de los tags utilizados</b> .....	<b>28</b>
4.1	Diseño tags .....	28
4.2	Simulaciones de los tags.....	35
4.2.1	<i>Simulaciones en ADS</i> .....	37
4.2.2	<i>Simulaciones en HFSS</i> .....	50
<b>5</b>	<b>Medidas con sistema RFID</b> .....	<b>54</b>
5.1	Lector CAEN RFID.....	55
5.2	Escenario 1 .....	57
5.3	Escenario 2 .....	60
<b>6</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras</b> .....	<b>64</b>
6.1	Conclusiones.....	64
6.2	Líneas futuras .....	64
<b>7</b>	<b>Referencias</b> .....	<b>66</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Frecuencia de operación RFID Europa y EE.UU.....	14
<b>Tabla 2.</b> Parámetros modelo Debye.....	23
<b>Tabla 3.</b> Comparación resultados permitividad.....	27
<b>Tabla 4.</b> Capacidad de memoria del chip Murata.....	28
<b>Tabla 5.</b> Características de los tags utilizados.....	35
<b>Tabla 6.</b> Comparación simulación permitividad de la carne.....	50
<b>Tabla 7.</b> Tabla de especificaciones técnicas.....	56
<b>Tabla 8.</b> Características de los tags del Escenario 1.....	57
<b>Tabla 9.</b> Diferencia RSSI para cada pareja de tags del Escenario 1.....	60
<b>Tabla 10.</b> Diferencia RSSI entre las parejas de tags antes y después de degradarse la carne del Escenario 1.....	60
<b>Tabla 11.</b> Características de los tags del Escenario 2.....	60
<b>Tabla 12.</b> Diferencia RSSI para cada pareja de tags del Escenario 2.....	63
<b>Tabla 13.</b> Diferencia RSSI entre las parejas de tags antes y después de degradarse la carne del Escenario 2.....	63

## Índice de Figuras

<b>Fig.1.1</b> Esquema RFID .....	13
<b>Fig.3.1</b> Esquema de la sonda indicando el plano de calibración del analizador (A-A') y el plano del extremo de la sonda (plano B-B'). (b) Circuito equivalente de la admitancia de una sonda coaxial rellena de dieléctrico (plano B-B'). (c) Circuito equivalente incluyendo el término de radiación. ....	20
<b>Fig.3.2</b> Capacidad en el vacío $C_0$ medida en función de la frecuencia. ....	22
<b>Fig.3.3</b> Relación $C_f/C_0$ medida en función de la frecuencia.....	23
<b>Fig.3.4</b> Permitividades (parte real y imaginaria) de materiales típicos en función de la frecuencia obtenidos a partir de los modelos de Debye. ....	24
<b>Fig.3.5</b> Media de la permitividad en el caso 1 (lomo).....	25
<b>Fig.3.6</b> Medida de la permitividad en el caso 1 (lomo) en 10 puntos distintos.....	25
<b>Fig.3.7</b> Desviación de la permitividad medida en el caso 1 (lomo) .....	26
<b>Fig.3.8</b> Media de la permitividad en el caso 2 (pollo).....	26
<b>Fig.3.9</b> Medida de la permitividad en el caso 2 (pollo) en 10 puntos distintos.....	27
<b>Fig.3.10</b> Desviación de la permitividad medida en el caso 2 (pollo) .....	27
<b>Fig.4.1</b> Diseño tag de 32 mil adaptado con capa de aire (tag 1 y 2) .....	29
<b>Fig.4.2</b> Tag fabricado de 32 mil adaptado con capa de aire (tag 1 y 2) .....	29
<b>Fig.4.3</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tags 1 y 2.....	29
<b>Fig.4.4</b> Ganancia y eficiencia Tag 1 y 2.....	30
<b>Fig.4.5</b> Diseño tag de 64 mil adaptado con capa de aire (tag 3) .....	30
<b>Fig.4.6</b> Tag fabricado de 64 mil adaptado con capa de aire (tag 3) .....	30
<b>Fig.4.7</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tag 3 .....	31
<b>Fig.4.8</b> Ganancia y eficiencia Tag 3.....	31
<b>Fig.4.9</b> Diseño tag de 32 mil reducido, adaptado a la carne (tag 4).....	32
<b>Fig.4.10</b> Tag fabricado de 32 mil reducido, adaptado a la carne (tag 4).....	32
<b>Fig.4.11</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tag 4 .....	32
<b>Fig.4.12</b> Ganancia y eficiencia Tag 4.....	33
<b>Fig.4.13</b> Capa de carne ADS .....	33
<b>Fig.4.14</b> Diseño tag de 32 mil reducido, adaptado sin material (Tag 5) .....	34
<b>Fig.4.15</b> Tag fabricado de 32 mil reducido, adaptado sin material (Tag 5).....	34
<b>Fig.4.16</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tag 5 .....	34
<b>Fig.4.17</b> Ganancia y eficiencia Tag 5.....	35
<b>Fig.4.18</b> Tag de 32 mil de grosor adaptado con una capa de carne.....	36
<b>Fig.4.19</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación.....	36
<b>Fig.4.20</b> Ganancia y eficiencia .....	36
<b>Fig.4.21</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad $43,5i - 18j$ .....	37
<b>Fig.4.22</b> Ganancia y eficiencia con permitividad $43,5i - 18j$ .....	38
<b>Fig.4.23</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad $40i - 18j$ .....	38
<b>Fig.4.24</b> Ganancia y eficiencia con permitividad $40i - 18j$ .....	39
<b>Fig.4.25</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad $37i - 17,9j$ .....	39
<b>Fig.4.26</b> Ganancia y eficiencia con permitividad $37i - 17,9j$ .....	40
<b>Fig.4.27</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad $34i - 17,8j$ .....	40
<b>Fig.4.28</b> Ganancia y eficiencia con permitividad $34i - 17,8j$ .....	41

<b>Fig.4.29</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 31i – 17.7j	41
<b>Fig.4.30</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 31i – 17.7j	42
<b>Fig.4.31</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 30.6i – 17.6j	42
<b>Fig.4.32</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 30.6i – 17.6j	43
<b>Fig.4.33</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 43.5i – 18j	44
<b>Fig.4.34</b> Ganancia y eficiencia 43.5i – 18j	44
<b>Fig.4.35</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 40i – 18j	45
<b>Fig.4.36</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 40i – 18j	45
<b>Fig.4.37</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 37i – 17.9j	46
<b>Fig.4.38</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 37i – 17.9j	46
<b>Fig.4.39</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 34i – 17.8j	47
<b>Fig.4.40</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 34i – 17.8j	47
<b>Fig.4.41</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 31i – 17.7j	48
<b>Fig.4.42</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 31i – 17.7j	48
<b>Fig.4.43</b> Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 30.6i – 17.6j	49
<b>Fig.4.44</b> Ganancia y eficiencia con permitividad 30.6i – 17.6j	49
<b>Fig.4.45</b> Tag en el simulador HFSS	50
<b>Fig.4.46</b> Campo electromagnético tag adaptado sin material	51
<b>Fig.4.47</b> Representación campo electromagnético tag de 32 mil de sustrato	51
<b>Fig.4.48</b> Representación campo electromagnético tag de 64 mil de sustrato	51
<b>Fig.4.49</b> Ganancia con los tags adaptados sin material	52
<b>Fig.4.50</b> Ganancia con el coeficiente de desadaptación, todos con el Material 1	52
<b>Fig.4.51</b> Ganancia sin el coeficiente de desadaptación, todos con el Material 1	53
<b>Fig.4.52</b> Ganancia con el coeficiente de desadaptación, un tag con Material 2	53
<b>Fig.5.1</b> Montaje real de las pruebas	55
<b>Fig.5.2</b> Diagrama del sistema	55
<b>Fig.5.3</b> Ion R4300P Reader	56
<b>Fig.5.4</b> Interfaz de comunicación entre el Lector y el PC	56
<b>Fig.5.5</b> Potencia recibida por los tags en la misma polarización (Escenario 1)	58
<b>Fig.5.6</b> Potencia RSSI en la misma polarización (Escenario 1)	58
<b>Fig.5.7</b> Potencia recibida por los tags en la polarización cruzada (Escenario 1)	59
<b>Fig.5.8</b> Potencia RSSI en la polarización cruzada (Escenario 1)	59
<b>Fig.5.9</b> Potencia recibida por los tags en la misma polarización (Escenario 2)	61
<b>Fig.5.10</b> Potencia RSSI en la misma polarización (Escenario 2)	61
<b>Fig.5.11</b> Potencia recibida por los tags en la polarización cruzada (Escenario 2)	62
<b>Fig.5.12</b> Potencia RSSI en la polarización cruzada (Escenario 2)	62



# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

Hoy en día existen varios métodos que gestionan la calidad de los alimentos. En este proyecto se pretende obtener la caducidad de los alimentos mediante la tecnología RFID. Aprovechando el gran interés generado en diferentes sectores por su implementación, se estudiará la viabilidad de utilizar las propias etiquetas para la detección de la degradación del alimento. A partir de lecturas de las etiquetas integradas en el envase se pretende determinar si ese producto sigue en buen estado o por si lo contrario se optaría por la retirada del producto. El sistema actual empleado por medio de la etiquetación de la fecha de caducidad es orientativo y en muchos casos podría ser errónea, y produciría en el cliente intoxicación alimentaria. Por eso es muy importante una buena gestión y análisis del producto para su consumo final.

El estudio se centrara en alimentos que deben conservarse a baja temperatura, por ejemplo la carne, si bien se podría aplicar a otro tipo de alimentos frescos. En el proceso de degradación de los alimentos interviene el PH y la temperatura de conservación. A baja temperatura las bacterias generalmente no pueden reproducirse. Sin embargo si se rompe la cadena de temperatura, la concentración de bacterias empiezan a crecer y por tanto, el alimento empieza a deteriorarse variando la cantidad de agua, variando el PH del alimento. La idea de medir el PH con una sonda es un método poco práctico, ya que se debería introducir una sonda dentro del envase donde se conserva el alimento (carne) para poder realizar la medida.

## 1.2 Objetivos

El objetivo es diseñar un sistema con dos tags RFID en la banda de UHF, que mediante la diferencia de potencia reflejada se consiga medir o estimar la degradación del alimento. Esta diferencia de potencia resultaría de la variación de la permitividad del alimento (carne en este caso), que se ve afectada en el proceso de deterioración.

Con este método se obtendría el estado del alimento a distancia, es decir, sin tener que romper el emvasado. En este proyecto se estudiará con que sistema se pueden obtener mejores resultados; se analizará la diferencia de potencia en el caso de colocar dos tags en contacto con la carne o colocando uno dentro y el otro fuera del envase. Se estudiará a nivel teórico y experimental las diferencias de potencias esperadas en función de la variación de la permitividad del alimento, y se diseñarán tags a medida para realizar los experimentos.

El documento se distribuye en 6 capítulos. En el primer capítulo se describirán los conocimientos básicos sobre el RFID para entender bien esta tecnología. En el segundo capítulo se explica la teoría en la que nos basamos para estudiar el sistema de detección de la caducidad de los alimentos, es decir, las fórmulas teóricas sobre la potencia recibida por el tag y la recibida por el lector o RSSI (Received Signal Strength Indicator). Así como los parámetros que se verían afectados según la permitividad de la carne. En el tercer

capítulo, se muestran las medidas de las permitividades del lomo y pollo tanto en el buen estado como en el malo. Medidas que servirán posteriormente (*capítulo 4*) para simular el cambio de ganancia, coeficiente de reflexión y de desadaptación según el cambio de esta permitividad. De su variación, dependerá también la variación de la diferencia de potencia. Al comienzo de este capítulo también se presentan los diseños de los diferentes tags empleados en las pruebas. En el *capítulo 5*, encontramos los resultados experimentales de las pruebas realizadas con los diferentes tags. Y por último las conclusiones finales.

### 1.3 Introducción a los tags RFID

Antes de entrar en profundidad con este proyecto, en este apartado se describirán los diferentes conceptos necesarios para familiarizarnos con ella, como es su funcionamiento, los tipos y algunas de sus aplicaciones actuales.

#### 1.3.1 Definición

El sistema de identificación por radiofrecuencia, cuyas siglas son RFID, es una tecnología inalámbrica que identifica objetos únicos a través de la comunicación entre un lector y una etiqueta (transponder o tag). Esta está formada por una antena y un chip donde se puede almacenar información.

Para esta tecnología existen varios grupos de especificaciones competidoras como el ISO/IEC (International Standard Organization/International Electrotechnical Commission) y el EPCglobal (Electronic Product Code), que son los que han hecho posibles un lenguaje común y su expansión. Lo que facilita su fácil implementación en otros países y evita problemas de normativas, así como la interoperabilidad entre las aplicaciones y evita que los diferentes productos no interfieran independientemente del fabricante.

La ISO es una organización que dirige los estándares mundiales, tiene sede en Ginebra, Suiza. El IEC también es una organización de estandarización que tiene sede en Ginebra, pero este se centra en el desarrollo de normas específicas para el ámbito eléctrico y electrónico. Colabora junto con la ISO en la elaboración de los estándares RFID. Por último, contamos con el EPC Global cuyo objetivo es el de establecer una compatibilidad entre los diferentes estándares del ISO. Este se encarga de las especificaciones de las identificaciones de los productos.

Los diferentes estándares existentes para esta tecnología explican diferentes tipos de codificación de datos, métodos de acceso y medidas de seguridad. Alguno de los estándares son ISO/IEC 10536, 14443, 15693 y 18000 [1].

El último estándar (18000) es el utilizado por la tecnología RFID en banda UHF que se utiliza en este proyecto.

### *1.3.2 Comienzos*

Sorprendentemente esta tecnología tiene sus primeros inicios en el año 1939 para la Segunda Guerra Mundial. Era utilizado por los británicos para la identificación de los aviones, diferenciaban así los aviones aliados de los enemigos, este sistema era conocido como IFF (Identify Friend or Foe, es decir, identificación amigo o enemigo). Pese a que no se definió ningún estándar que facilitara su uso general, este sistema no fue promovido en diferentes países. No fue hasta el año 2003 que se definió el primer estándar de RFID [1].

Generalmente se ha estado utilizando en diferentes sectores como por ejemplo en las estaciones de radio AM y FM, en la banda civil, en los hornos de microondas, en los teléfonos móviles, etc. Pero hoy en día ha despertado cierto interés en las empresas en su uso para la identificación de objetos, como por ejemplo en las empresas de distribución y producción, en sanidad, logística, etc.

Vemos como la aplicación de esta tecnología puede abarcar muchos sectores, si se hace un buen uso de él se pueden llegar a obtener muchos beneficios.

### *1.3.3 Componentes y funcionamiento de un sistema RFID*

Los componentes imprescindibles de un sistema RFID son [1, 2]:

- **Tag o etiqueta:**

También conocido como “transponder”, viene de las palabras en inglés TRANSmitter/resPONDER, lleva este nombre por su forma de funcionamiento, ya que, tiene capacidad de recibir y transmitir señales.

Básicamente está formado por un chip o circuito integrado, adaptado a una antena de radiofrecuencia que hace posible la comunicación a través de señales de radio. El chip es el dispositivo mediante el cual se procede con la lectura y la escritura de la información de forma electrónica, esto es posible gracias a la antena que capta la señal de radiofrecuencia que activa el chip.

Estos dos elementos están integrados en un sustrato, que varía según su aplicación final, es decir dependiendo del tipo de material al que va a ir adherido, la temperatura los líquidos y grasas son los que determinan el tipo de sustrato.

- **Lector:**

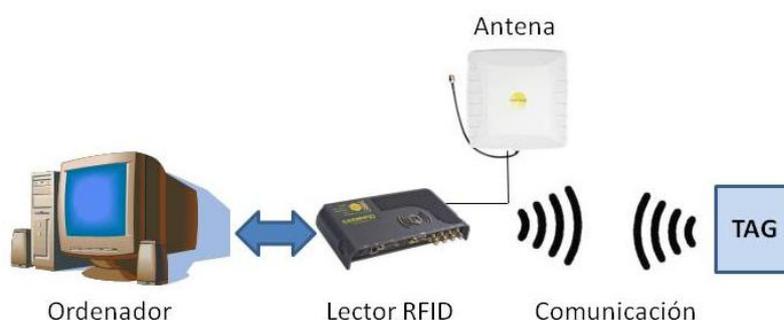
Este dispone de una antena (o varias), un transceptor y un decodificador. Es el encargado de la detección de los tags y en consecuencia de la obtención de la información mediante la antena, la decodificación y de la transmisión al software encargado de la interpretación de los datos, donde encontraremos las características del producto. Existen

lectores con la antena integrada en el propio hardware o con conectores de antena externos. Podemos encontrarnos con lectores de sólo lectura o lectores que además de leer pueden escribir.

- **Base de datos:**

Como último componente podemos encontrar un sistema que gestione la información, es decir, una base de datos. Este facilita la gestión de la información de cada tag de forma ordenada.

Por lo general el funcionamiento de este sistema es bastante sencillo. El lector simplemente va emitiendo periódicamente ondas de radiofrecuencia para detectar los tags que están operando en su radio de lectura. El tag, que está en el campo de acción del lector, capta a través de su microantena estas ondas que activan el chip, y este transmite a través de ondas de radiofrecuencia y de la antena, la información que hay almacenada en su memoria. Ahora el lector recibe dicha información y lo deriva a una base de datos que procesa la información recibida. En la *Fig.1.1* vemos un esquema de un sistema RFID.



**Fig. 1.1** Esquema RFID

### ***1.3.4 El RFID frente al código de barras***

Esta tecnología se enfrenta al código de barras, puesto que presenta mayores ventajas frente a ella [1]:

- Se sabe que el código de barras necesita estar en línea directa con el lector para ser leído y a una corta distancia. En cambio, en los tags ocurre totalmente lo contrario, pueden estar a una determinada distancia, variable según la banda de frecuencia escogida, variando de los 10 cm a los 10 metros.
- Otra diferencia visible es que el código de barras utiliza un lector óptico para la lectura, mientras que los tags usan la tecnología de radio para obtener los datos.
- Una característica propia de este sistema es que los lectores tienen la capacidad de leer simultáneamente la información de diversos tags que se encuentran en su radio de alcance. Con el código de barras no es posible.

- Los tag identifican de forma única todos los objetos, el código de barras lo hace de forma grupal.
- En cuanto a la memoria, los tags presentan una mayor capacidad de datos, no solo contiene el EPC, como el código de barras, sino que también se puede añadir cualquier otra información.
- El código de barras es delicado en ciertos ambientes, como en los lugares donde haya polvo, humedad, agua, etc. Los tags RFID pueden estar incluso bajo agua, expuesto a altas temperaturas, etc.

No obstante el RFID difícilmente lo substituirá totalmente, debido a que el código de barras es más barato y en ciertas aplicaciones interesa un bajo coste.

### 1.3.5 Bandas de frecuencia.

Dentro de la banda de frecuencia, el sistema RFID tiene asignados su rango de operación específico. Este se distribuye entre los diferentes países. En la *Tabla 1* se encuentran los rangos asignados en Europa y Estados Unidos para el RFID y las características propias de cada banda de frecuencias.

	Rango frecuencias	Europa	EE.UU	Características
<b>LF (Low Frequency)</b>	125-134 KHz	125 KHz	125 KHz	Corta distancia Baja velocidad Poca capacidad anticolidión Buen comportamiento con metal y agua Más caro
<b>HF (High Frequency)</b>	13,56 MHz	13,56 MHz	13,56 MHz	Buena distancia Mejor velocidad y anticolidión Peor comportamiento con agua y metales Menos caro que LF
<b>UHF (Ultra High Frequency)</b>	860-960 MHz	868-870 MHz	902-928 MHz	Mayores distancias Alta velocidad Sensible al agua y metal Estandarización global EPC Más barato
<b>Microondas</b>	2,45 GHz	2,45 GHz	2,45 GHz	Similar a UHF Mayor velocidad que el resto Peor rendimiento con metal y agua

**Tabla 1.** Frecuencia de operación RFID Europa y EE.UU

Los tags utilizados en este proyecto, como se explicó en los objetivos, operan en la banda UHF a 868 MHz. En esta banda la potencia máxima regulada va de los 100mW a los 500mW. A continuación se muestran algunas de las aplicaciones características de cada banda [1].

- LF: Control de acceso, identificación de animales, inmovilizadores de automóviles, etc.
- HF: Control de acceso, tarjetas inteligentes, etc.
- UHF: Acceso y control de peaje, supervisión en sistemas ferroviarios y automotriz, en logística en los procesos de fabricación etc.
- Microondas: Autopistas, contenedores, etc.

### 1.3.6 Tipos

Existen varios tipos de tags dependiendo de la fuente de energía de la que se alimentan [1,2]:

- **Tags Pasivos**

Estos se alimentan de la propia energía del lector, que la utilizan para autoalimentarse y transmitir los datos, lo que hace necesaria la presencia del lector para poder iniciar la transmisión de los datos. Estos tienen un alcance menor que los activos, pero son más económicos. Su fabricación es más simple y al no disponer de baterías su tamaño es más reducido y también puede insertarse en pegatinas. El tiempo de vida es ilimitado. En este proyecto se utiliza este tipo de tags.

- **Tags Activos**

Necesitan de una batería adicional para alimentarse. No necesitan que el lector empiece la comunicación, ya que, no necesitan de su energía para funcionar. Son más caros y debido a la batería el tiempo de vida es limitado. Por otro lado, tienen un mayor alcance y la velocidad de transmisión es más alta que los tags pasivos.

- **Tags semiactivos/semipasivos**

Este tipo de tags combinan características de los casos descritos anteriormente. Estos disponen de una batería como los activos, pero sólo sirve para alimentar la circuitería. Para realizar la transmisión de los datos, necesita de la energía del lector para realizarlo como ocurre con los pasivos. La principal ventaja frente a los tags pasivos es que tiene un mayor alcance de lectura que estos, debido a que no necesita la energía del lector para alimentar la circuitería. En cuanto a tamaño y precio está entre los tags pasivos y los activos.

### 1.3.7 Aplicaciones

Como hemos podido ver en el *punto 1.3.5* de este proyecto cada rango de frecuencia tiene sus aplicaciones RFID específicas, ya que el coste, alcance y velocidad varían según la frecuencia utilizada. Dependiendo de la finalidad del RFID se adaptará a una frecuencia u otra que beneficie la aplicación. A continuación se expondrán algunas de las aplicaciones donde los tags RFID se han implementado [3, 4]:

- **Cadena de suministro**

Permite la gestión de la trazabilidad y visibilidad a lo largo de la cadena de producción y de suministro de una forma más rápida. Lo que facilita una previsión del inventario ajustándolo a las necesidades reales. Se colocan tags RFID a todos los artículos, pallets, cajas, etc. para establecer un seguimiento a tiempo real.

- **Pago del peaje en autopistas**

Para ello se usan tags pasivos UHF. Es una gran ventaja puesto que evita la congestión, ya que, no hay necesidad de tener que parar el coche y hacer toda la gestión manualmente. El tag se coloca en el coche y el lector estaría situado en la estación de peaje. El coche al entrar en la zona de operación del lector, el tag se activará y se procesará el cobro, y la barra de seguridad se levantaría automáticamente. El conductor podrá hacer el pago por internet o en algún punto de pago situados en quioscos o tiendas.

- **Identificación del equipaje en los aeropuertos**

Se colocan los tags en el equipaje o en los contenedores de equipaje, estas contienen información variada, una de ellas es la identificación del número de la aerolínea. Con ello las compañías aéreas podrán localizar el equipaje. Esto evita la pérdida del equipaje, aumenta la seguridad y permite de una forma más exacta comunicar el plazo de entrega al cliente.

- **Sanidad**

En este sector el uso de esta tecnología ha traído muchas ventajas. Hoy en día, en el tema sanitario, se exigen mejores resultados con menos recursos. Como es por ejemplo la reducción del tiempo de espera, errores médicos, etc. Una de las soluciones a estos problemas son los brazaletes RFID en la banda HF, que permiten identificar a cada uno de los pacientes. Con una simple lectura podría acceder, mediante un ordenador o pantalla táctil, al historial clínico del paciente. Con ello podría conocer el estado actual de los pacientes de forma instantánea.

## **Introducción**

También encontramos otras aplicaciones como por ejemplo la localización física de los doctores y enfermeras, el control a accesos restringidos, la automatización de inventarios de las medicinas en stock, la retirada de medicamentos caducados, etc.

Gracias a la tecnología RFID en este sector se consigue eliminar la documentación en papel, que hace que la gestión se ralentice. También incrementa la seguridad en el hospital, evita la confusión de identidades entre pacientes y frente a tratamientos de emergencias, se puede actuar con mayor eficacia y rapidez al poder acceder rápidamente al historial clínico del paciente.

## 2 Tags diferenciales

En la variación de la permitividad se encuentra la clave de los resultados. Esta describe como un campo eléctrico es afectado por un medio, por tanto según la permitividad que tenga la carne en ese momento, el tag adaptado a la frecuencia de 868 MHz, que está en contacto con la carne, se verá desplazado al variar la impedancia de la antena. Por tanto se provocará una desadaptación entre la antena y el tag, y esta modificará tanto la potencia recibida por el tag (debido a la variación de la desadaptación y la ganancia) como la recibida por el lector (debido a la ganancia). Así que a medida que la carne se va degradando, se obtendrá una variación en la diferencia de potencia de los dos tags. Y se podrá estimar una diferencia en la que se considere que la carne ya no se puede comer. Las dos potencias que se ven afectadas son el punto de mira del análisis de los resultados.

### 2.1 Potencia recibida del tag

La potencia recibida por el tag (enlace uplink), es descrita por la ecuación de Friis (1). En el momento que el tag recibe la potencia y esta supera la potencia umbral ( $P_{th}$ , comprendida entre los -10 dBm a los -18 dBm) entonces el tag empieza a funcionar:

$$P_{r_{tag}} = \frac{P_T G_T \lambda^2}{4\pi r^2} \frac{G_{tag} \tau}{4\pi} \quad (1)$$

Los parámetros que varían en (1), debido al cambio de permitividad, son la Ganancia del tag y el coeficiente de desadaptación (2) entre la antena y el tag [5].

$$\tau = 1 - |\Gamma_{ant}|^2 \quad (2)$$

siendo

$$\Gamma_{ant} = \frac{Z_{antena} - Z_{chip}}{Z_{antena} + Z_{chip}} \quad (3)$$

Siendo  $\Gamma_{ant}$  el coeficiente complejo de la antena referido a la impedancia compleja de entrada del chip ( $Z_{chip}$ ) conectado a la antena.

La impedancia de la antena,  $Z_{ant}$ , se ve afectada por el cambio de permitividad. Más adelante se verá como al degradarse la carne por norma general, la permitividad se verá reducida, puesto que en el proceso de putrefacción el agua se ve disminuida. Por tanto, la impedancia de la antena también baja y con ello el coeficiente de reflexión de la antena (3)

haciendo que el coeficiente de desadaptación (2) aumente. Si se aplica este planteamiento a la ecuación de Friis (1), esta aumentará cuando la carne vaya degradándose, necesitando una potencia mayor para que el tag responda.

## 2.2 Potencia recibida del Lector

Una vez la señal llega al tag la señal rebotada es lo que se conoce como la potencia recibida en el lector o RSSI (4) [5]:

$$P_{\text{reader}} = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2} \sigma \frac{1}{4\pi r^2} \left( \frac{\lambda^2 G_T}{4\pi} \right) \quad (4)$$

Donde  $P_T$  es la potencia transmitida,  $G_T$  es la ganancia del lector,  $r$  es la distancia entre lector y tag, y  $\lambda$  es la longitud de onda.

La sección recta de la antena del tag (5) es el parámetro que varía según la permitividad, ya que, depende de la ganancia del tag que es la que se ve afectada.

$$\sigma = \alpha \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\text{tag}}^2 |r_{\text{on}} - r_{\text{off}}|^2 \quad (5)$$

La diferencia de los coeficientes de reflexión entre el estado on y off no se conocen, son datos que dependen de la impedancia del chip cuando esta modulando el chip y no los proporciona el fabricante. Si bien esta diferencia dependerá también de la permitividad al variar la impedancia de antena es difícil de predecir su variación.

En esta ecuación, es importante la ganancia que es el parámetro variable según la permitividad. Esta varía en factor al cuadrado, es decir, que respecto a la potencia recibida por el tag, se obtendrá una variación más grande.

Más adelante en el *capítulo 5* se ve cómo, a medida que la carne se vaya deteriorando la ganancia disminuye. Así que, la potencia recibida en el lector será menor cuando la carne esté en peor estado.

### 3 Medida de permitividades en materiales

En este punto se muestran las medidas de permitividad experimentales del lomo y el pollo. Se hacen las medidas en dos estados: recién sacado de la nevera y dejándola tres días a temperatura ambiente, con fin de acelerar la degradación, de esta manera se verá si se produce un gran cambio en la permitividad y por tanto si es viable el proyecto.

Esta se obtuvo con una sonda coaxial casera (cable coaxial que contiene una capacidad). En el siguiente apartado antes de mostrar los resultados, se verá cómo funciona el método de la sonda coaxial, por el cual se obtendrá las permitividades de los dos tipos de carne: cerdo (lomo) y pollo.

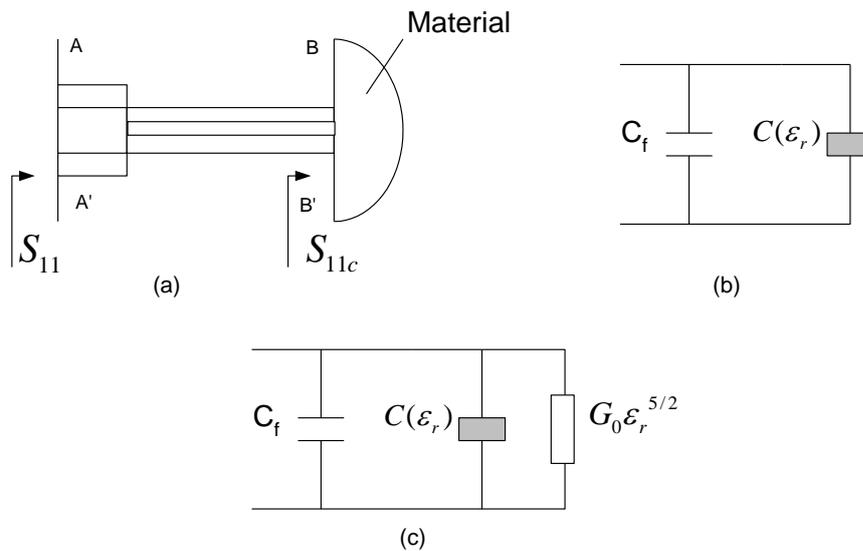
#### 3.1 Caracterización de permitividad dieléctrica utilizando una sonda coaxial

Para la caracterización de la permitividad de las muestras se utilizó el método de la sonda coaxial. Este método consiste en obtener la permitividad a partir de un modelo capacitivo. La sonda coaxial se modela como dos condensadores en paralelo,  $C(\epsilon)$  y  $C_f$ . En modelos más avanzados se considera un término de radiación ( $G_0$  en la figura c), pero este modelo introduce una constante adicional y generalmente no proporciona buenos resultados a baja frecuencia, por tanto no se ha considerado.

El primero es en función de la permitividad:

$$C(\epsilon) = \epsilon C_0 \tag{6}$$

Donde  $\epsilon$  es la permitividad compleja y  $C_0$  es la capacidad del coaxial relleno de aire. Mientras que el segundo  $C_f$  es debido a los campos en los bordes (*fringing*) y es independiente del medio.



**Fig. 3.1** (a) Esquema de la sonda indicando el plano de calibración del analizador (A-A') y el plano del extremo de la sonda (plano B-B'). (b) Circuito equivalente de la admitancia de una sonda coaxial rellena de dieléctrico (plano B-B'). (c) Circuito equivalente incluyendo el término de radiación.

## Medida de permitividades en materiales

El coeficiente de reflexión en el extremo de la sonda coaxial ( $S_{11c}$ ) se puede obtener a partir de la medida del parámetro  $S_{11}$  desplazando el plano de referencia al extremo de la sonda coaxial. Para ello, se mide el parámetro  $S_{11}$  de la sonda cortocircuitada con una cinta de cobre contactando por presión,  $S_{11short}$ . Se obtiene el coeficiente desplazado al extremo del la sonda utilizando [6-8]:

$$S_{11c} = -S_{11} / S_{11short} \quad (7)$$

El parámetro  $S_{11c}$  se puede obtener a partir de la admitancia  $Y$  del condensador equivalente de la sonda coaxial:

$$Y = 1/Z = j\omega(C(\varepsilon) + C_f) \quad (8)$$

$$S_{11c} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{1 - j\omega Z_0(C(\varepsilon) + C_f)}{1 + j\omega Z_0(C(\varepsilon) + C_f)} \quad (9)$$

El modelo anterior consta de dos incógnitas ( $C_0$  y  $C_f$ ) que pueden obtenerse a partir de la medida de un material con permitividad conocida (por ejemplo agua o etanol). En nuestro caso se utilizará etanol ya que es más fácil de adquirir que agua desionizada.

Finalmente una vez determinadas  $C_0$  y  $C_f/C_0$  se obtiene la permitividad relativa compleja del material desconocido:

$$\varepsilon_{rc} = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \frac{1 - S_{11c}}{j\omega Z_0 C_0 (1 + S_{11c})} - \frac{C_f}{C_0} = \frac{Y}{j\omega C_0} - \frac{C_f}{C_0} \quad (10)$$

Para obtener estas dos incógnitas a partir del parámetro  $S_{11}$  corregido medido para el líquido de referencia,  $S_{11cref}$ , se invierte la relación anterior ya que se conoce su permitividad:

$$Y = \frac{1}{Z_0} \frac{1 - S_{11cref}}{1 + S_{11cref}} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} C_0 &= -\text{Re}(Y) / (\omega \text{Im}(\varepsilon_{rref})) \\ C_f / C_0 &= \text{Im}(Y) / (\omega C_0) - \text{Re}(\varepsilon_{rref}) \end{aligned} \quad (12)$$

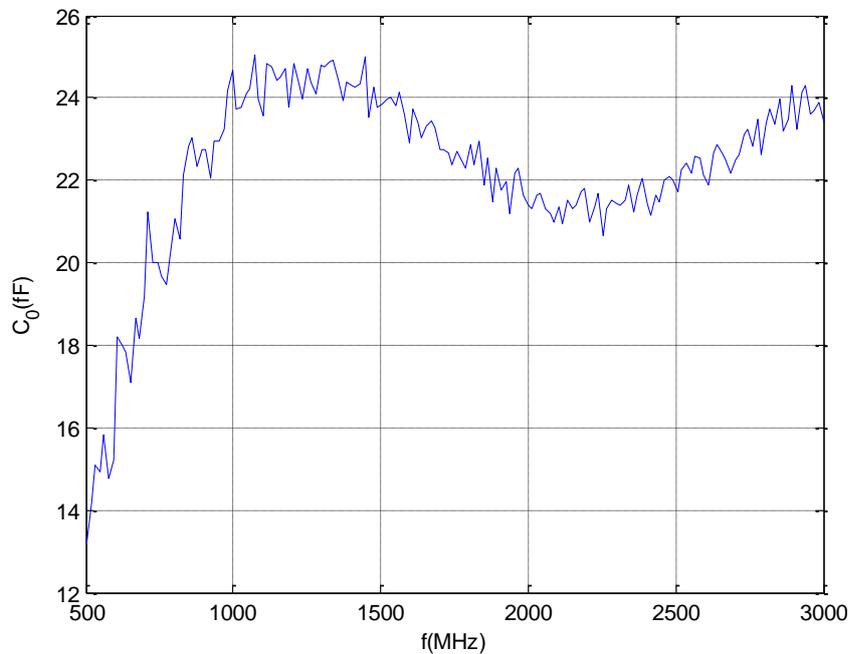
Se ha encontrado que para la sonda coaxial utilizada (un cable coaxial RG402,  $2a=0.91$  mm,  $2b=2.97$  mm, dieléctrico PTFE)  $C_f/C_0$  se obtiene con mucho ruido, por tanto se ha decido tomar su valor igual a cero, y  $C_0$  se obtiene como el valor promedio a partir de 1 GHz.

## Medida de permitividades en materiales

Alternativamente se pueden utilizar los valores teóricos para un coaxial [6]:

$$\begin{aligned}C_0 &= 1.953\varepsilon_0(b-a) = 17.8\text{fF} \\ C_f &= 0.0404\varepsilon_0(b-a) = 0.368\text{ fF}\end{aligned}\tag{13}$$

Donde  $b$  y  $a$  son el radio exterior e interior, respectivamente de la sonda coaxial. La *Fig.3.2* y *Fig.3.3* muestran los valores obtenidos experimentales. Mientras que el valor medio de  $C_0$  es del mismo orden de magnitud que el valor teórico, la relación  $C_f/C_0$  es más elevada. Esta última se traslada directamente a la permitividad compleja. En realidad parece reflejar más los errores en el modelo o en la calibración, o debido al modelo utilizado por el líquido de referencia o su pureza. Por tanto se ha tomado como cero que sería el valor aproximado ideal reflejado por (13). Si se desean comparar diferencias debido a variaciones con el tiempo dicho factor no tienen influencia.



**Fig. 3.2** Capacidad en el vacío  $C_0$  medida en función de la frecuencia.

## Medida de permitividades en materiales

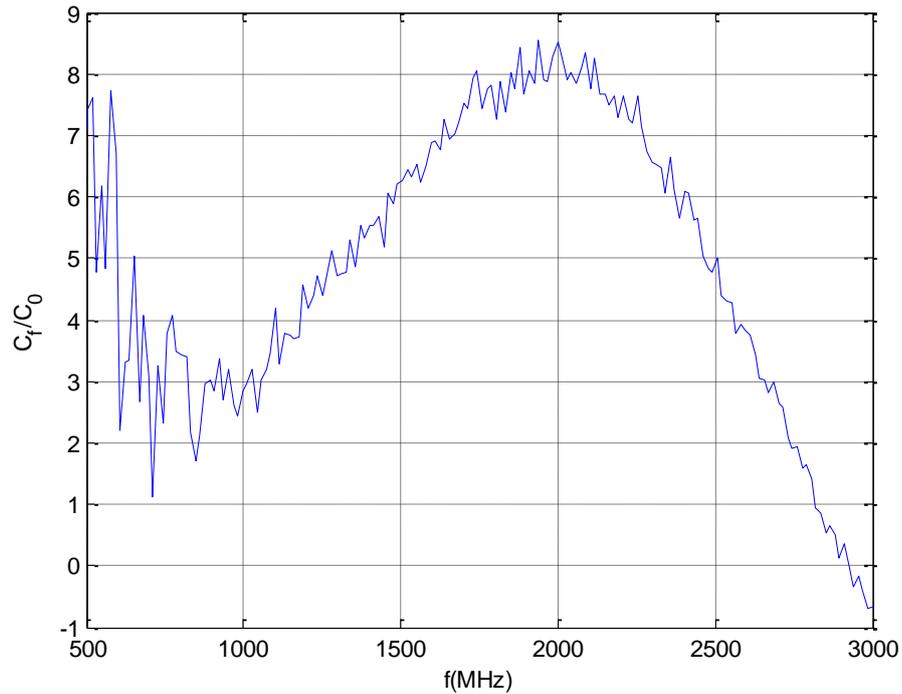


Fig. 3.3 Relación  $C_f/C_0$  medida en función de la frecuencia.

En la *Tabla 2* se listan los parámetros del modelo de Debye utilizado para modelar algunos líquidos utilizados como patrones de referencia:

$$\epsilon_{rc} = \epsilon_r - j\epsilon_r' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} \quad (14)$$

Donde  $\epsilon_s$  es la permitividad a frecuencia cero (estática),  $\epsilon_\infty$  es a frecuencias ópticas o infinita,  $\tau$  es el retardo de relajación dieléctrica,  $\sigma$  es la conductividad y  $\alpha$  es una constante de ajuste. Generalmente cuando se considera  $\alpha=0$  se recibe el nombre de modelo de Debye mientras que cuando se considera a no nulo, recibe el nombre de modelo de Cole-Cole y se utiliza para mejorar la dispersión a alta frecuencia.

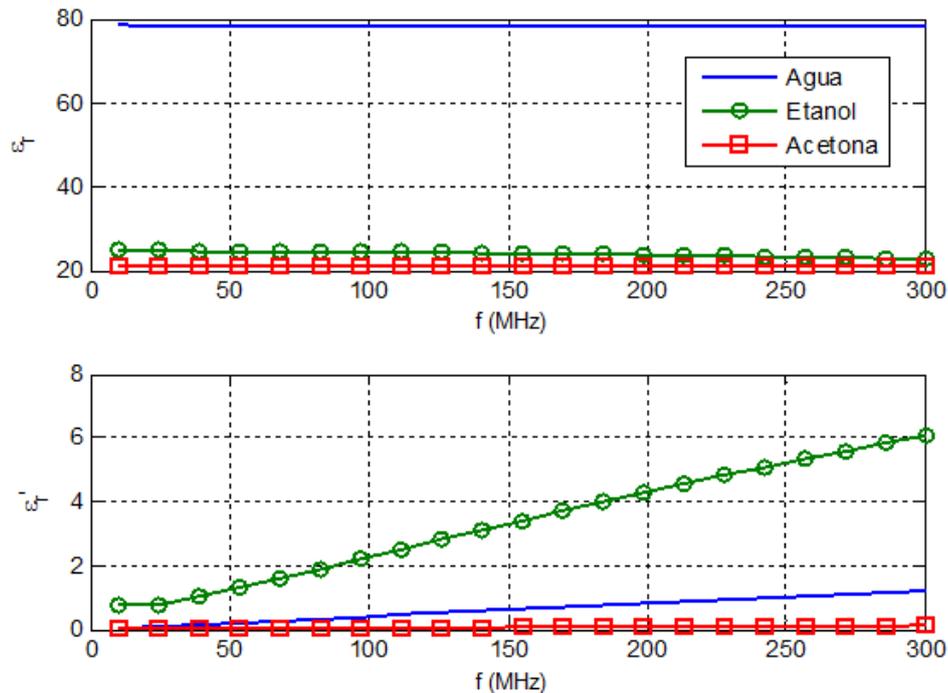
Material	$\epsilon_s$	$\epsilon_\infty$	$\tau$ (ps)	$\sigma$ (S/m)	$\alpha$
Agua desionizada [7,8]	78.3	4.6	8.07	0	0.014
Etanol[9]	24.7	4.5	176.37	$3.1 \cdot 10^{-4}$	0
Acetona	21.2	1.9	3.1756	0	0

Tabla 2. Parámetros modelo Debye

La *Fig.3.4* muestra la permitividad compleja (parte real e imaginaria) en función de la frecuencia obtenidos utilizando el modelo de Debye. Se observa como la permitividad

## Medida de permitividades en materiales

del agua es mucho mayor que la del alcohol o la acetona, así como su parte imaginaria. Se espera que los alimentos que contenga mayor contenido de agua por ejemplo porque son más frescos tengan valores de permitividad mayores que los que contengan menos o son más grasos, o bien que por degradación hayan perdido parte del contenido de agua.



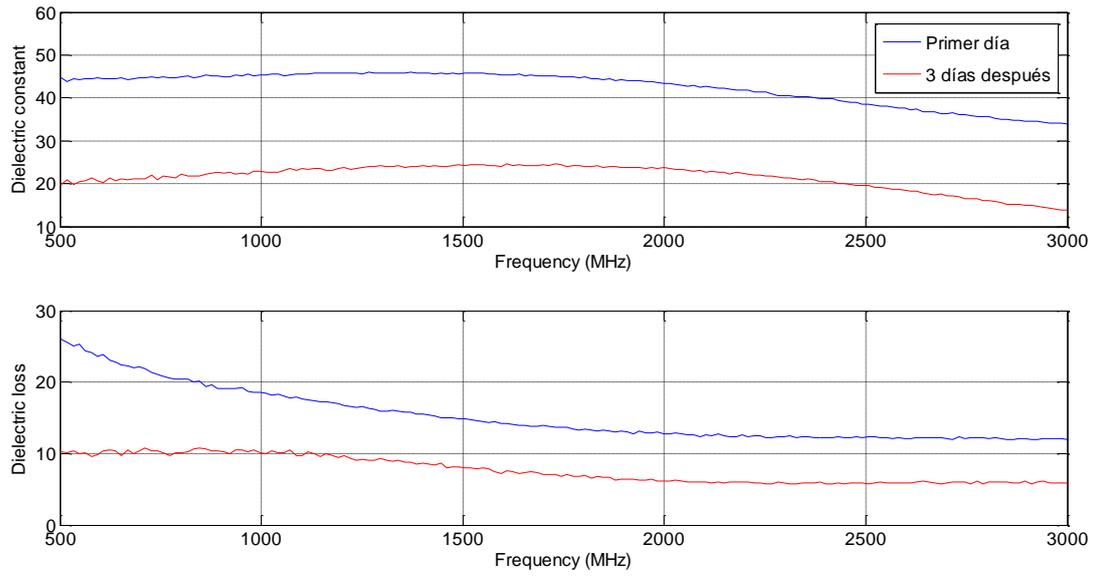
**Fig. 3.4** Permitividades (parte real y imaginaria) de materiales típicos en función de la frecuencia obtenidos a partir de los modelos de Debye.

Una vez entendido este método pasamos a la parte experimental, para ello realizamos 10 medidas en diferentes puntos de la carne y hacemos la media. Las diferentes gráficas que representamos son: la media, las permitividades de cada una de las 10 medidas y la desviación. En todos los casos se muestra la permitividad compleja.

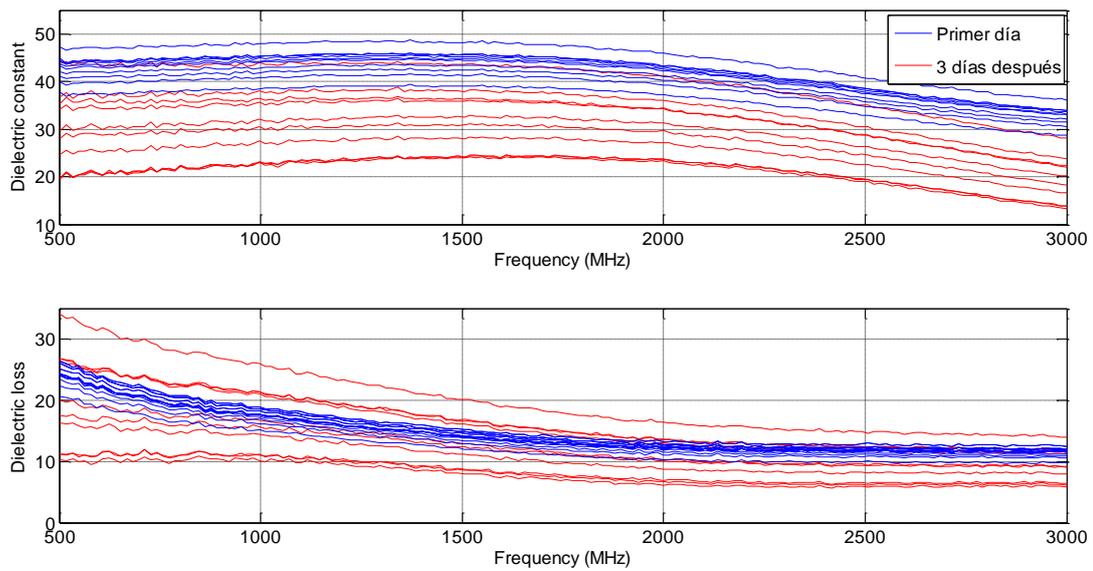
### 3.2 Medidas de permitividad caso 1 (Lomo)

La carne al irse degradando suele perder agua y por tanto la permitividad baja. La desviación, *Fig.3.7*, en el caso de la carne podrida es mayor puesto que no todas las zonas se degradan por igual, habrá zonas donde resida aún más agua y en otras donde se ha secado. Así pues, en la *Fig.3.6*, donde se representan las 10 medidas, encontramos permitividades muy dispersas, variando en un rango de 20. En cambio para la carne fresca la variación es de 10.

## Medida de permitividades en materiales



**Fig. 3.5** Media de la permitividad en el caso 1 (lomo)



**Fig. 3.6** Medida de la permitividad en el caso 1 (lomo) en 10 puntos distintos

## Medida de permitividades en materiales

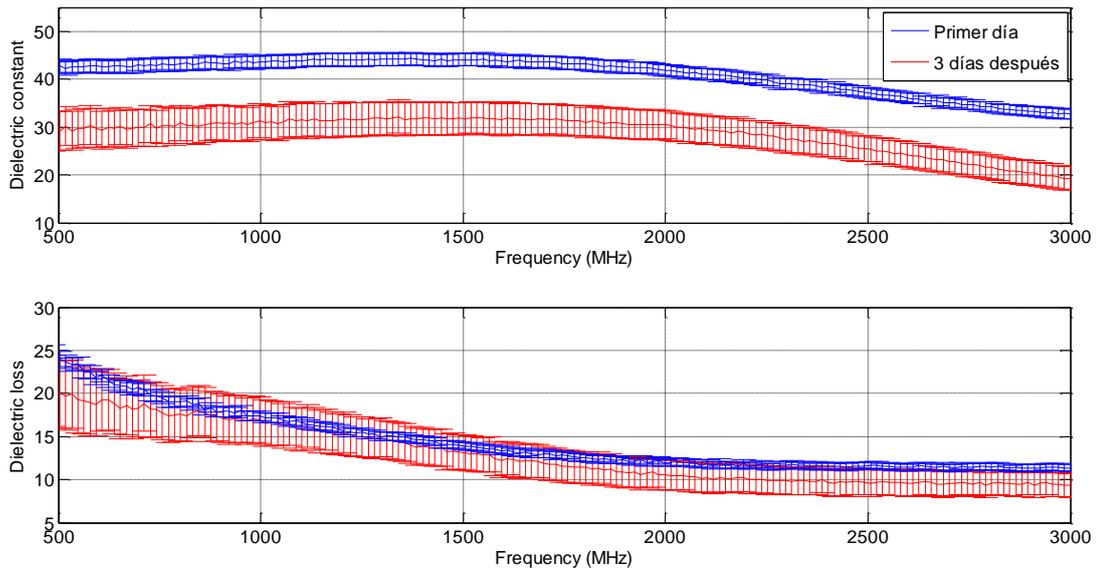


Fig. 3.7 Desviación de la permitividad medida en el caso 1 (lomo)

### 3.3 Medidas de permitividad caso 2 (carne de pollo)

Observando los diferentes resultados nos encontramos que el pollo, a diferencia del lomo, en su putrefacción la permitividad ha subido (Fig.3.8). Estos resultados explican que el pollo a medida que se va deteriorando suelta más agua. En cuanto a la desviación (Fig.3.10), ocurre como en el caso del lomo, en su putrefacción es alta puesto que la degradación no es la misma en todos sus puntos.

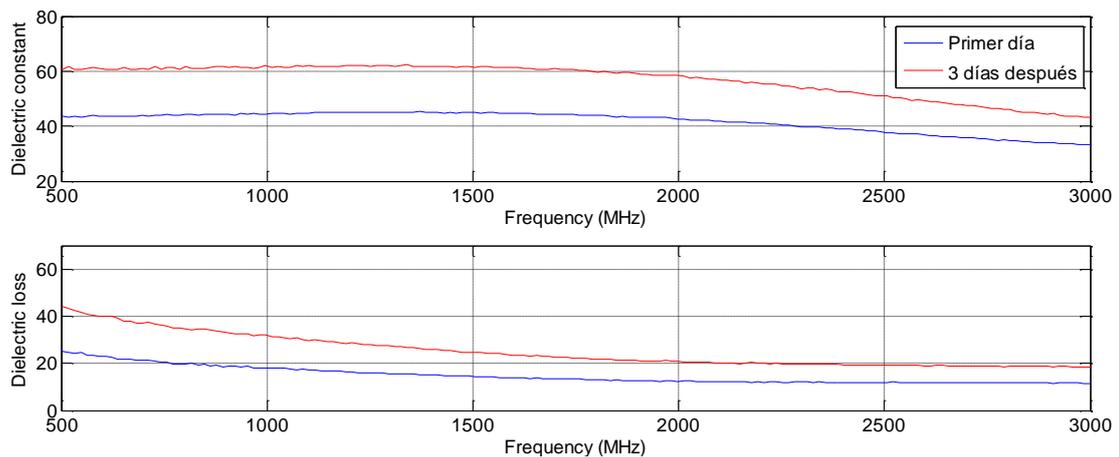
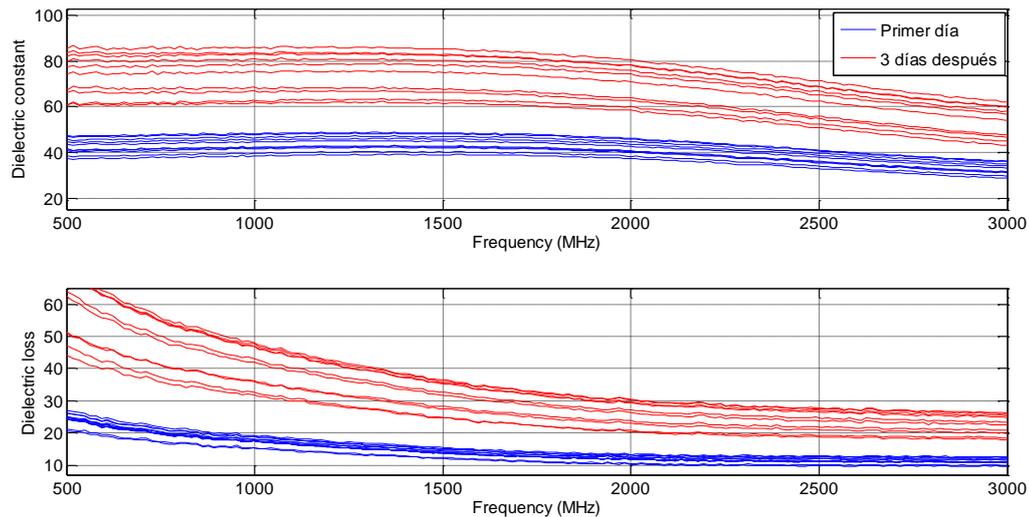
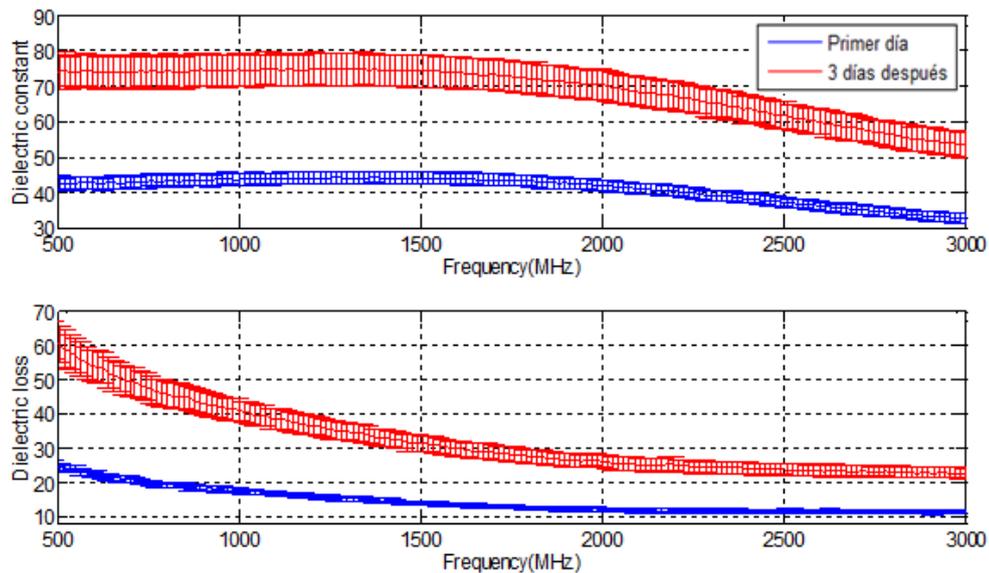


Fig. 3.8 Media de la permitividad en el caso 2 (pollo)

## Medida de permitividades en materiales



**Fig. 3.9** Medida de la permitividad en el caso 2 (pollo) en 10 puntos distintos



**Fig. 3.10** Desviación de la permitividad medida en el caso 2 (pollo)

Finalmente recogemos en la tabla *Tabla 3* la media y la desviación obtenidos en las gráficas. Vemos que las permitividades en los dos tipos de carne son casi iguales recién sacados del frigorífico. Mientras que a los tres días fuera de la nevera toman valores totalmente diferentes, esto explica que el proceso de deterioración es diferente en cada caso.

	Primer día		Tres días después	
	Media	Desviación	Media	Desviación
<b>Caso 1 (Lomo)</b>	43,53 - 18,17i	2,7 + 1,18i	30,64 - 17,6i	7,42 + 5,77i
<b>Caso 2 (Pollo)</b>	43,59 - 18,42i	3,44 + 1,47i	74,41 - 44,31i	9,17 + 7,12i

**Tabla 3.** Comparación resultados permitividad

## 4 Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

En este apartado se encuentran los diferentes tags utilizados en las pruebas, *punto 4.1* y una serie de simulaciones en ADS (Advanced Design System) *punto 4.2.1*, y HFSS (High Frequency Structural Simulator), *punto 4.2.2*.

### 4.1 Diseño tags

Los diseños de los tags utilizan un Chip del fabricante Murata (LXMS31ACNA-010), que integra un integrado de NXP (G2XM) compatible con EPC Gen2. La impedancia del chip dada por el fabricante es  $Z_{\text{chip}}=12-j107 \Omega$  a 868 MHz.

En la *Tabla 4* vemos las características que presenta. El EPC, como se ha comentado en el *capítulo 1*, es el código que identifica de manera única al tag, la memoria del usuario es la información referente al etiquetado que el usuario quiera introducir y la memoria TID es un identificador que existe a parte del EPC.

Parameter MAGICSTRAP® P/N	EPC Memory	User Memory	TID Memory
LXMS31ACNA – 009. 010, 011, 012	Up to 240 bits	512 bits	64 bits

**Tabla 4.** Capacidad de memoria del chip Murata

El rango de frecuencia en la que trabaja el chip es de 865 a 955 MHz.

Como se van a referir varias veces a los tags utilizados se numerarán. En las diferentes imágenes se representan los parámetros más característicos de cada tag, como son la ganancia, el coeficiente de reflexión y de desadaptación. Todos los tags están diseñados sobre sustrato dieléctrico Rogers 4003 ( $\epsilon_r=3.54$ ). El tipo de antena que utilizan estos tags son antenas dipolo. Debido a que, este tipo de antenas, no se ajustan muy bien a las características de los circuitos integrados (debido a la alta impedancia) utilizan la técnica de adaptación T-match.

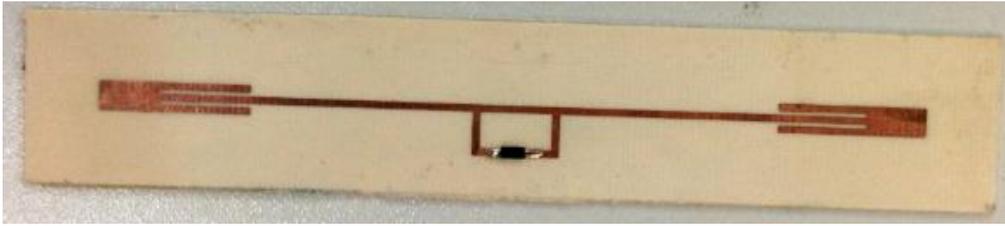
Al final de este apartado se recoge en una tabla (*Tabla 5*) las características de cada tag. En general, el Tag 1 y 2 es el que presenta mejores resultados. Presenta una mejor ganancia, coeficiente de reflexión y una mayor adaptación. El tag 4 resalta porque presenta una ganancia negativa, por tanto la señal se vería atenuada. Como lo que se quiere es conseguir una diferencia de RSSI, estos parámetros no afectan negativamente al objetivo.

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

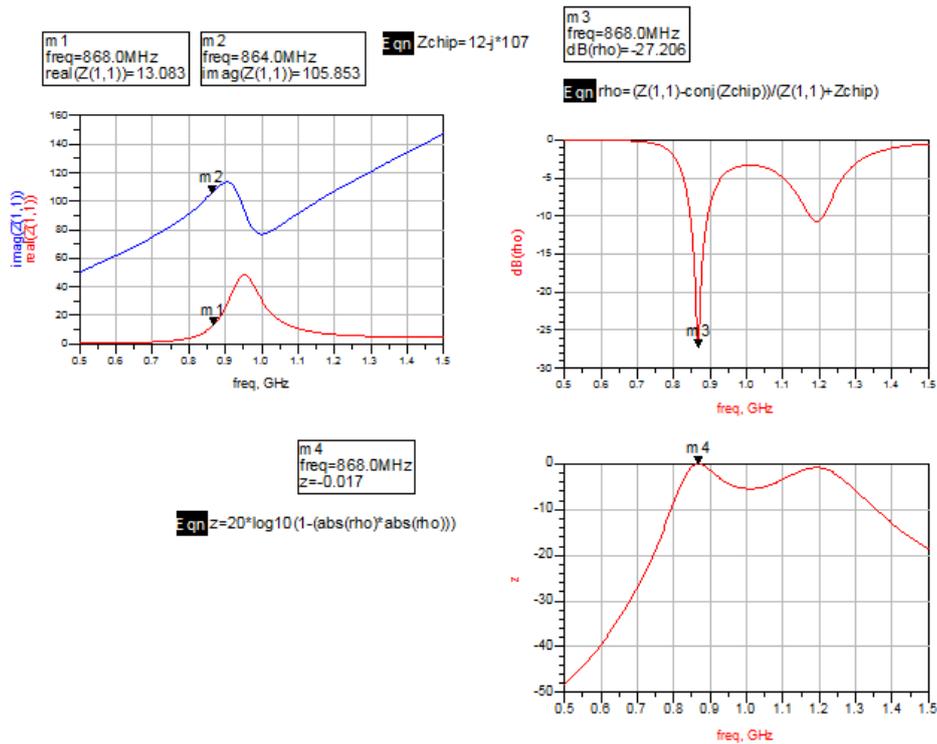
- Tag 1 | Tag 2. En las pruebas se utilizan dos tags iguales con este diseño, *Fig. 4.1*. Se trata de un tag de 32 mil de grosor, con una capa de aire, adaptado a la frecuencia de 868 MHz. En la *Fig.4.2* se muestra el tag después de su fabricación.



**Fig. 4.1** Diseño tag de 32 mil adaptado con capa de aire (tag 1 y 2)



**Fig. 4.2** Tag fabricado de 32 mil adaptado con capa de aire (tag 1 y 2)



**Fig. 4.3** Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tags 1 y 2

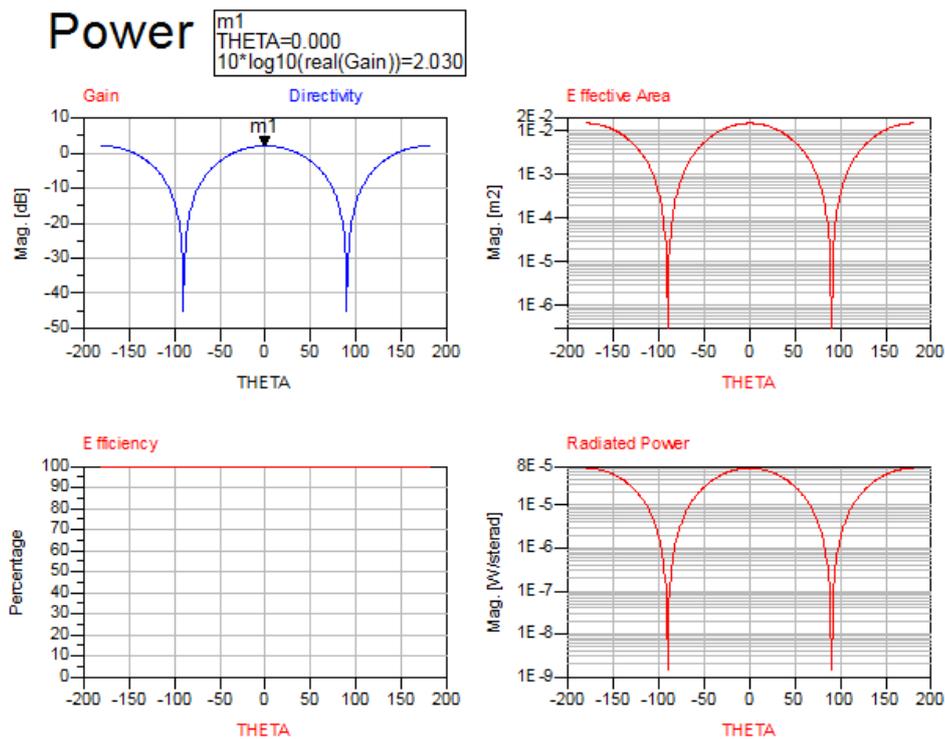


Fig. 4.4 Ganancia y eficiencia Tag 1 y 2

- Tag 3. Este tag es el mismo que el anterior pero con un sustrato de grosor 64 mil.

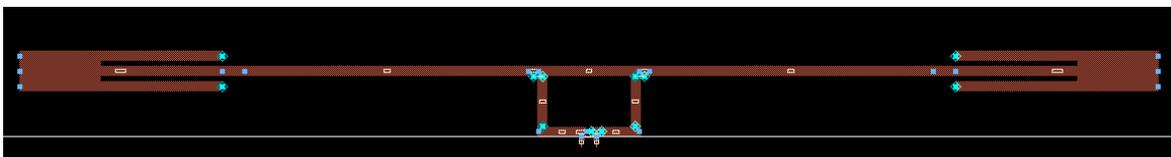


Fig. 4.5 Diseño tag de 64 mil adaptado con capa de aire (tag 3)

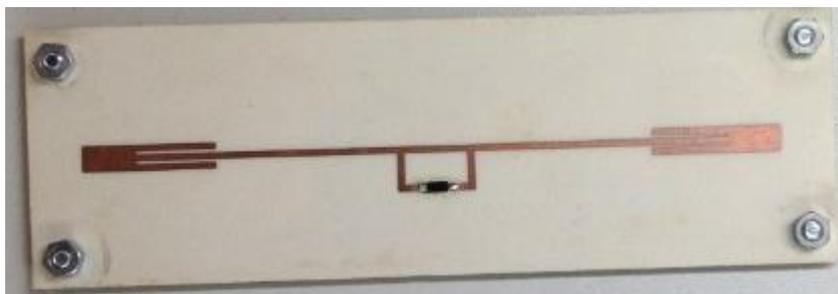


Fig. 4.6 Tag fabricado de 64 mil adaptado con capa de aire (tag 3)

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

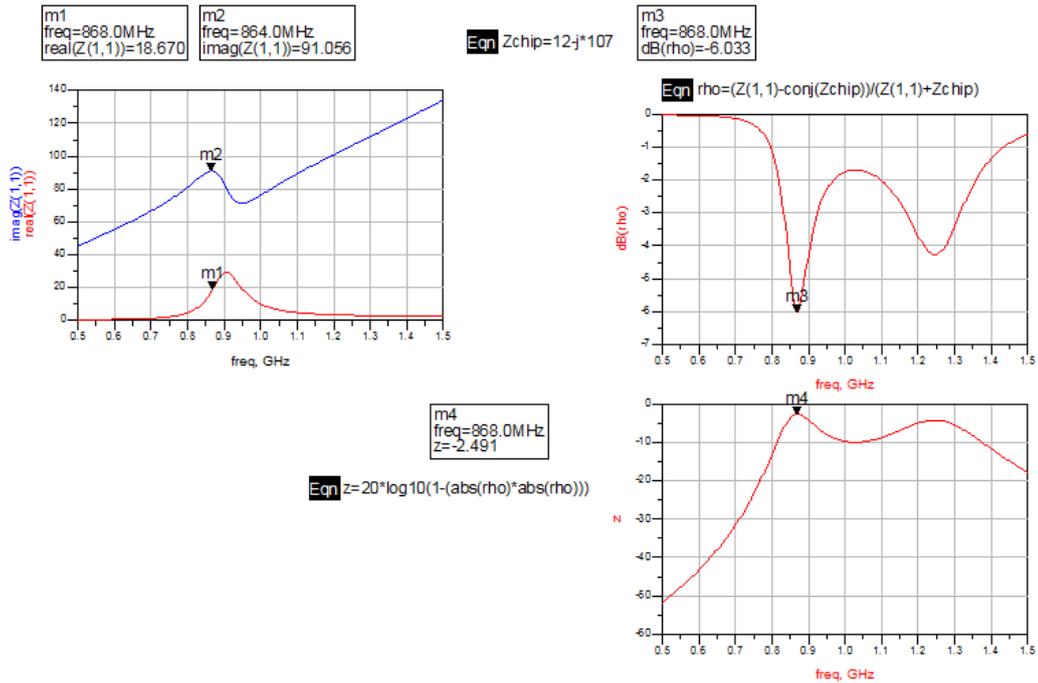


Fig. 4.7 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tag 3

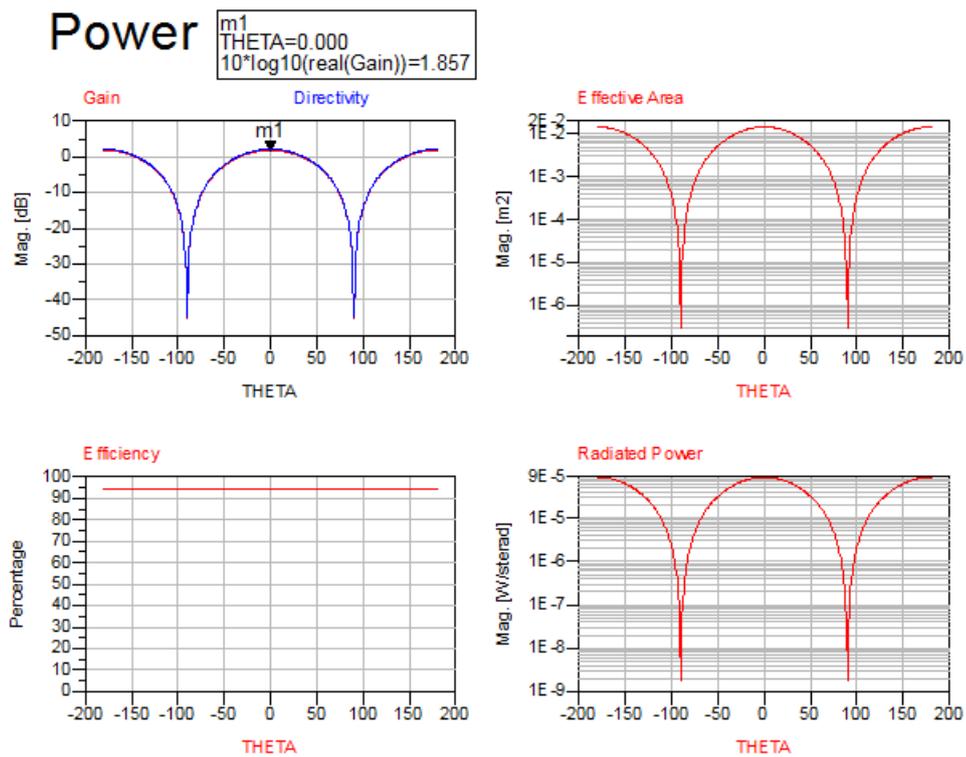


Fig. 4.8 Ganancia y eficiencia Tag 3

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

- Tag 4. Tiene las mismas características que los dos primeros tags, pero se redujo el tamaño como se muestra en la Fig.4.9, y se adaptó añadiéndole una capa de carne. La permitividad de la carne que cogimos fue la que obtuvimos en la medida del lomo en buen estado (Fig.4.13).

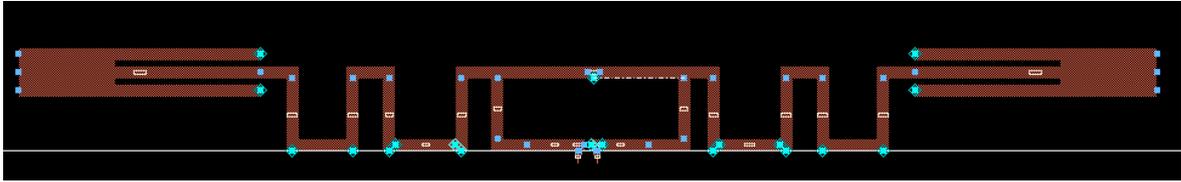


Fig. 4.9 Diseño tag de 32 mil reducido, adaptado a la carne (tag 4)



Fig. 4.10 Tag fabricado de 32 mil reducido, adaptado a la carne (tag 4)

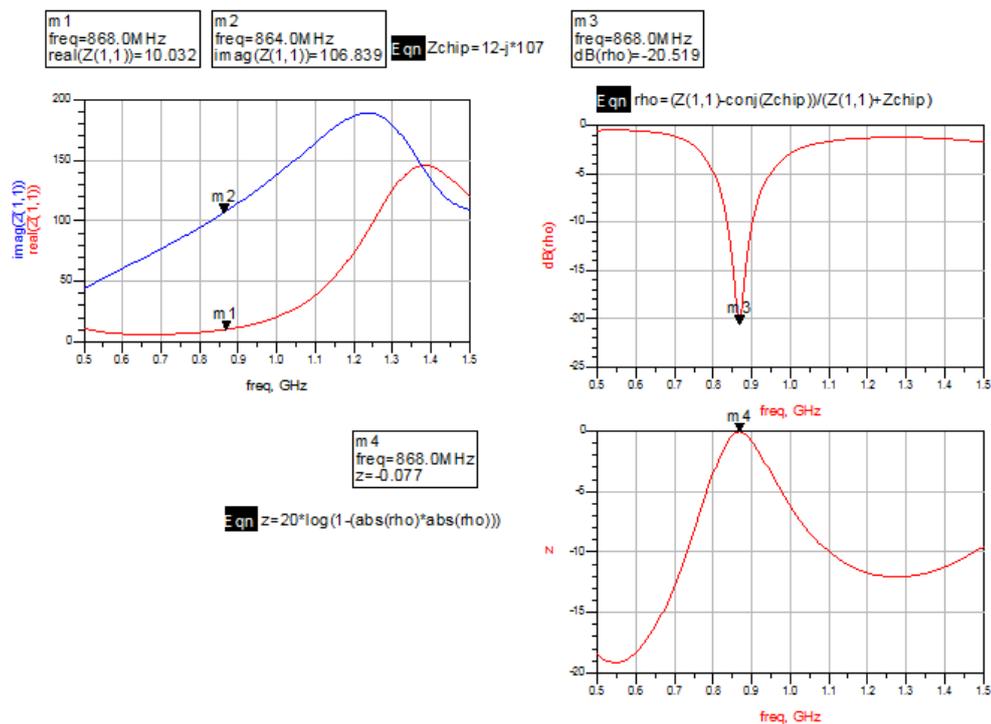


Fig. 4.11 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tag 4

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

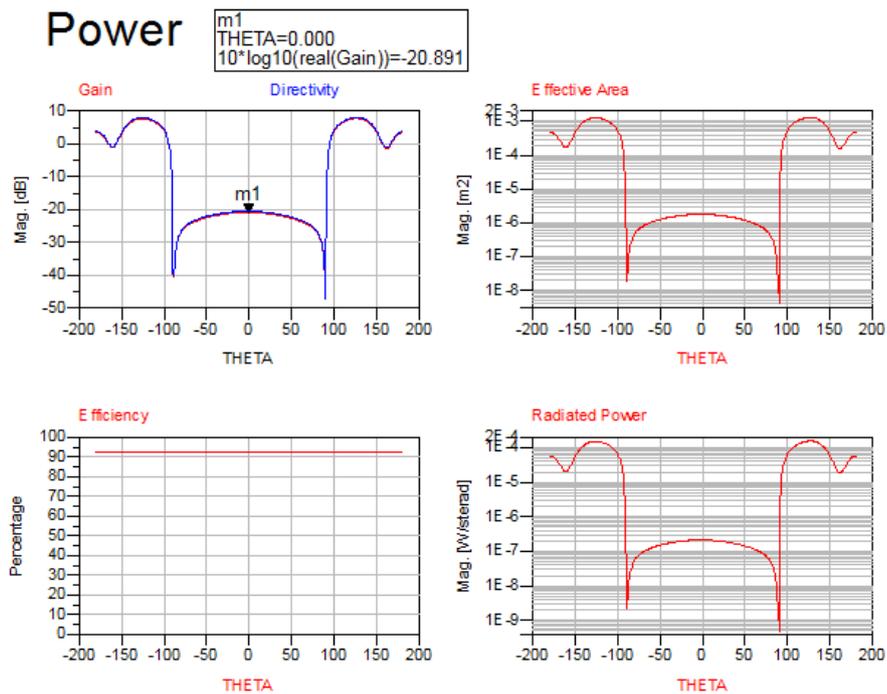


Fig. 4.12 Ganancia y eficiencia Tag 4

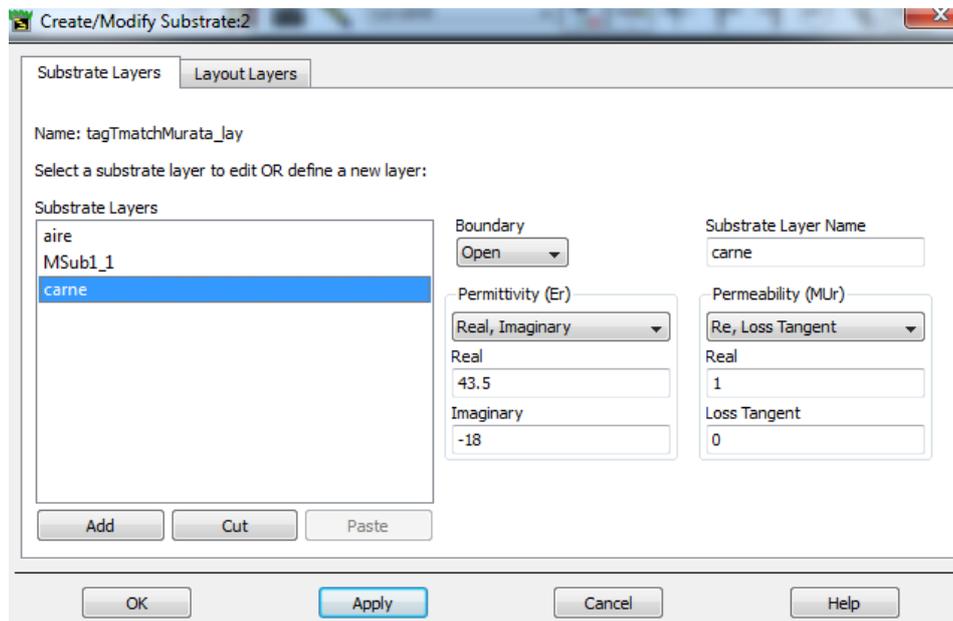


Fig. 4.13 Capa de carne ADS

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

- Tag 5. Este tag también tiene las mismas características que los dos primeros, pero se redujo el tamaño como se muestra en la *Fig.4.14*.

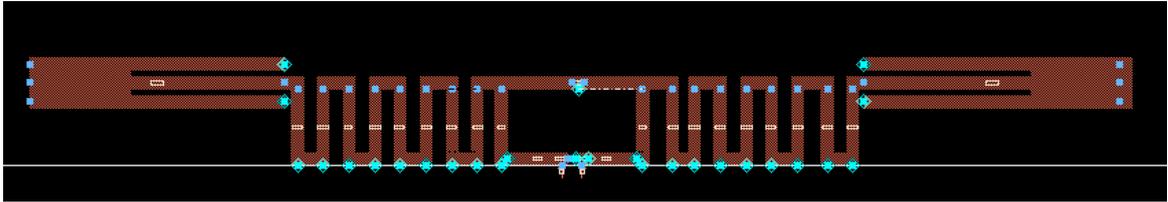


Fig. 4.14 Diseño tag de 32 mil reducido, adaptado sin material (Tag 5)

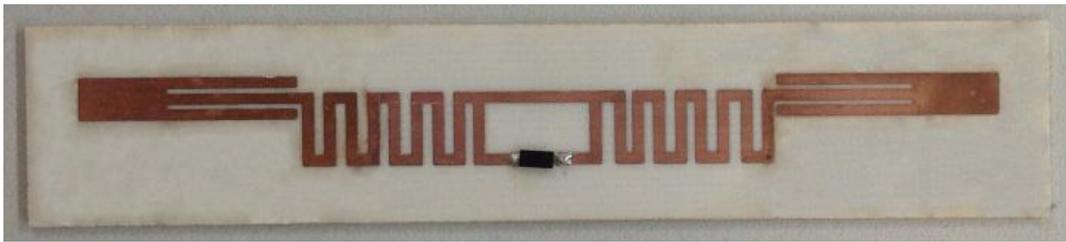


Fig. 4.15 Tag fabricado de 32 mil reducido, adaptado sin material (Tag 5)

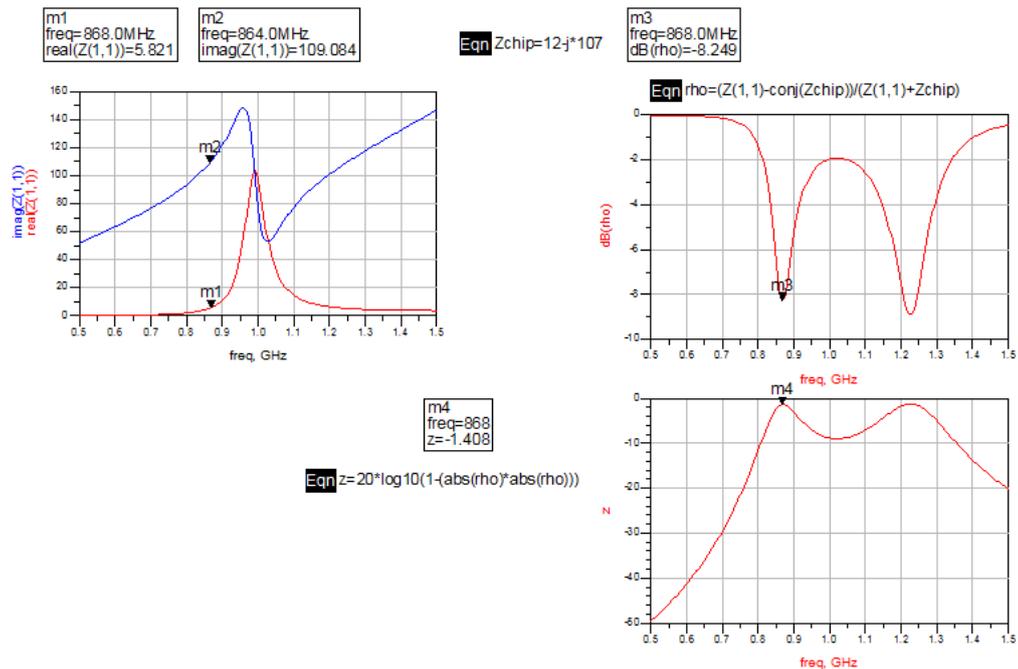


Fig. 4.16 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación Tag 5

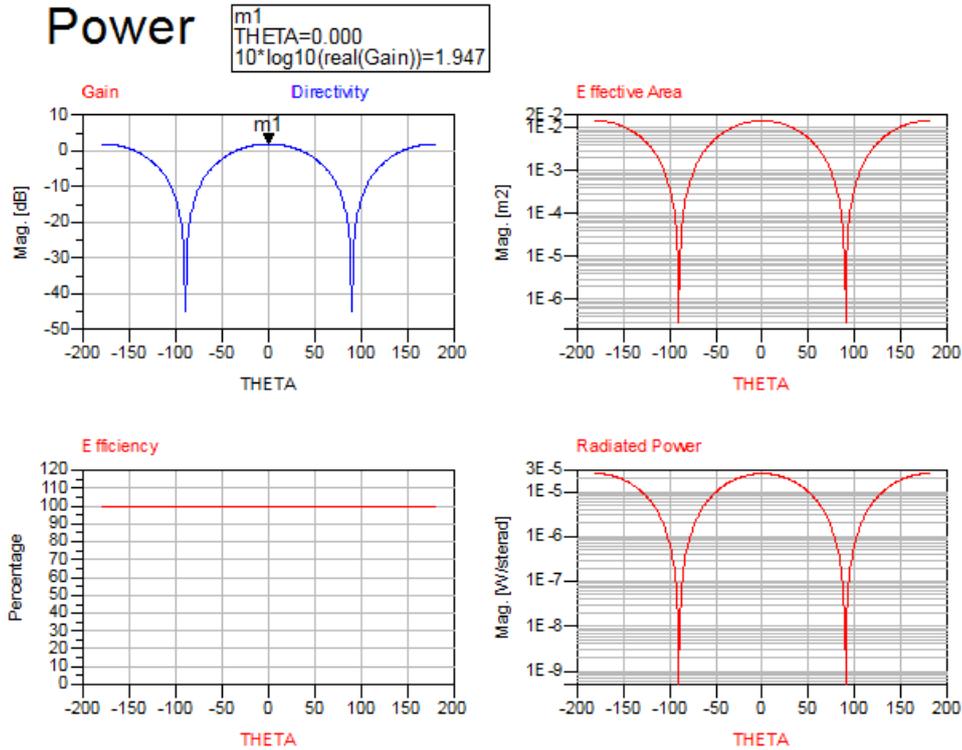


Fig. 4.17 Ganancia y eficiencia Tag 5

dB	Tag 1 y 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
<b>Ganancia</b>	2,03	1,857	-20,891	1,947
<b>Coef.reflexión</b>	-27,206	-6,033	-20,519	-8,249
<b>Coef.desadaptación</b>	-0,017	-2,491	-0,077	-1,408

Tabla 5. Características de los tags utilizados

## 4.2 Simulaciones de los tags

Antes de llevarlo a la práctica, se simuló con ADS la situación de la carne con los dos tags en contacto con ella. Se utilizó el Tag 3 y un tag parecido a los dos primeros pero adaptándolo a la carne. Se fue variando la permitividad de la carne de  $43.5i - 18j$  a  $30.6i - 17.6j$ , tomando como referencia los resultados obtenidos de la permitividad del caso 1 (lomo), *punto 3.2*. De esta manera se vería si se produce una variación en la potencia. En la *Fig.4.18* se muestra el diseño del tag de 32 mil que se referirá a él como Tag 1.

Por otro lado, se utiliza el simulador HFSS para simular en 3D el campo electromagnético de los tags y para representar la variación de la Ganancia según el tag y material utilizados. Estas simulaciones se centran en los resultados que se obtendrían en la diferencia de RSSI, ya que es la variación más significativa frente a la potencia recibida por el tag. En el *capítulo 5* se explicará detalladamente.

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

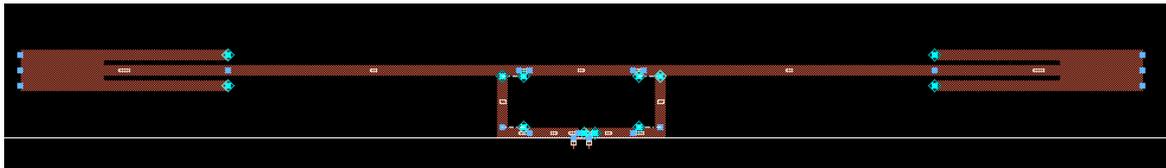


Fig. 4.18 Tag de 32 mil de grosor adaptado con una capa de carne

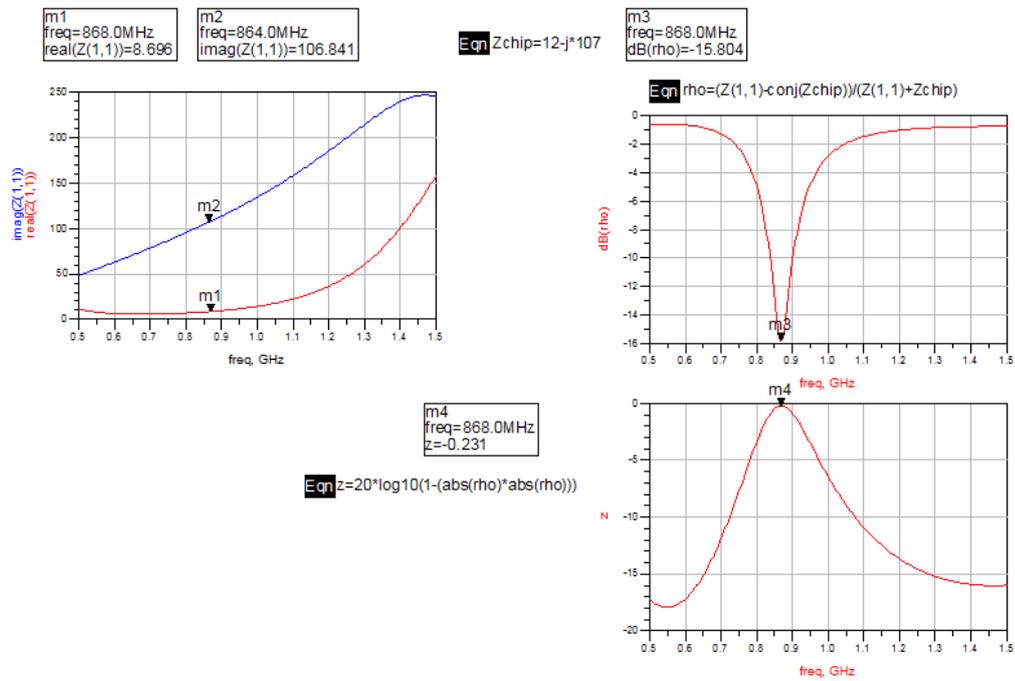


Fig. 4.19 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación

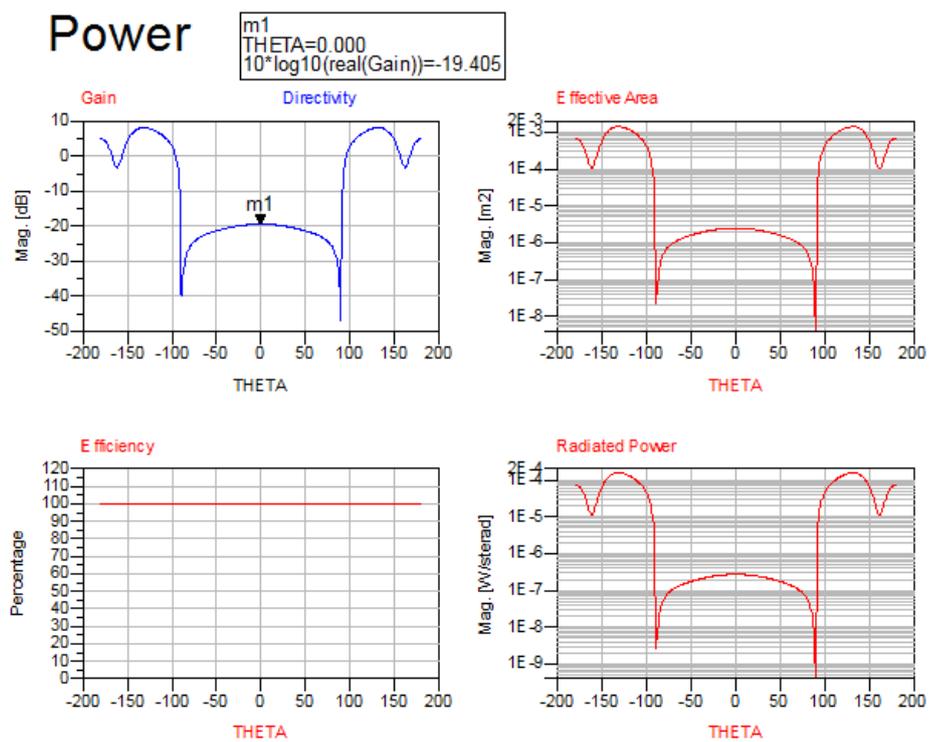


Fig. 4.20. Ganancia y eficiencia

4.2.1 Simulaciones en ADS

Las gráficas siguientes representadas son los parámetros que varían según la permitividad de la carne, los más característicos son: La impedancia de la antena ( $Z(1,1)$ ), el coeficiente de reflexión ( $\rho$ ), desadaptación entre la antena y el tag ( $z$ ) y la Ganancia (Gain). Al final de las simulaciones, en la *Tabla 6*, se recogen todos los datos de cada simulación. De esta manera se ven los cambios que se han producido de una forma más clara.

Analizando los resultados obtenidos en las simulaciones siguientes (correspondientes al Tag 1), se ve que a medida que la carne se pudre (permitividad disminuye), la ganancia aumenta disminuyendo la eficiencia de la antena. Por tanto, si se aplica esta observación a la ecuación (4) descrita en el *capítulo 2*, donde la ganancia toma un papel importante en la potencia recibida por el lector (o RSSI), en la práctica se vería como esta potencia aumentaría cuando el estado de la carne fuera empeorando.

En cuanto a la impedancia de la antena, esta disminuye en el deterioro de la carne, por tanto el coeficiente de reflexión ( $\rho$ ) aumenta (3), haciendo que el coeficiente de desadaptación baje (2). Trasladando estas conclusiones a la ecuación de la potencia recibida por el tag (1), se obtiene que la potencia es menor cuando la carne se va degradando. Aquí se ve cómo a medida que la ganancia aumenta la desadaptación disminuye, como la ganancia en este caso frente al coeficiente de desadaptación tiene un valor más pequeño, no se vería tan influenciada.

• Permitividad 43,5 i – 18 j

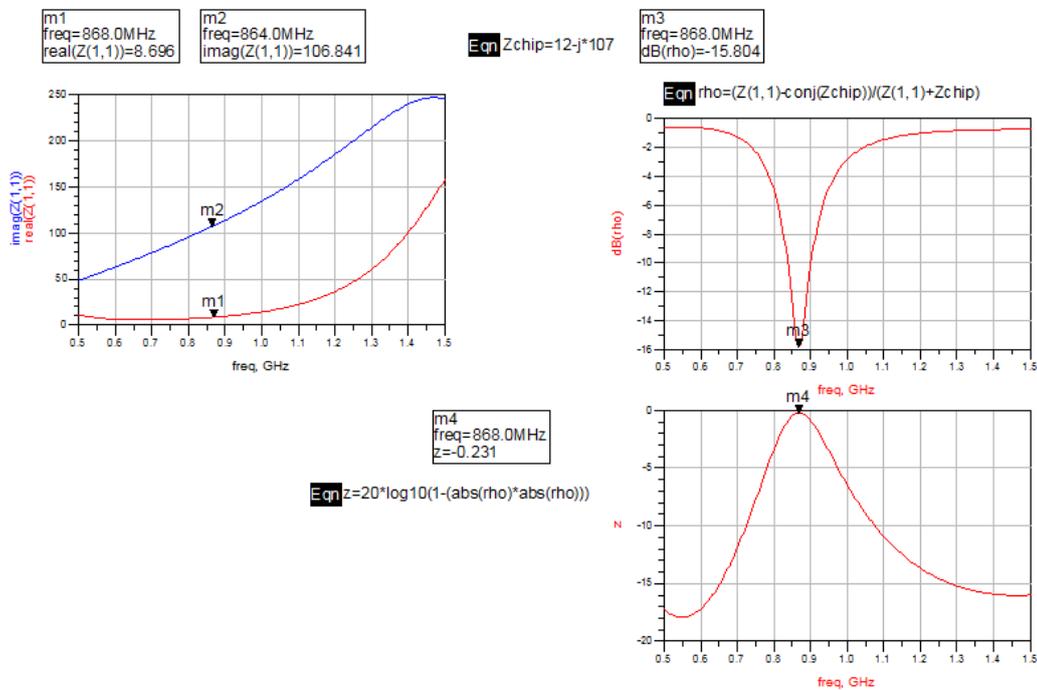


Fig. 4.21 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 43,5i – 18j

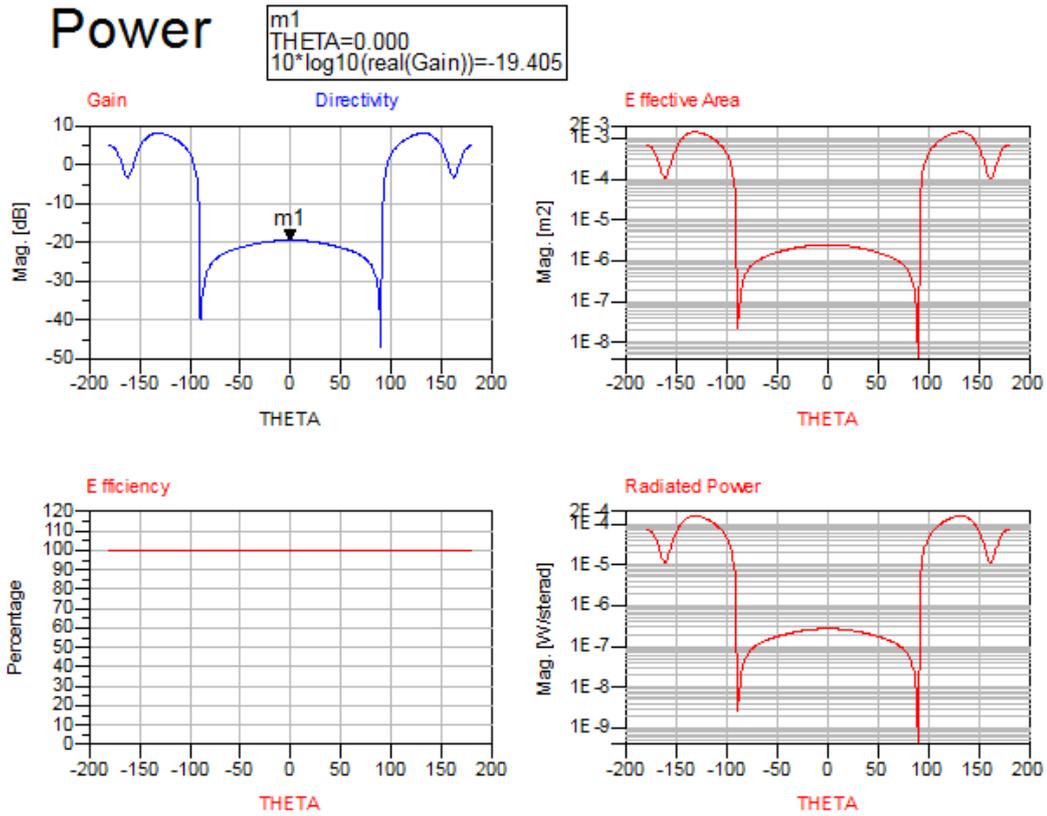


Fig. 4.22 Ganancia y eficiencia con permitividad 43,5i – 18j

- Permitividad 40 i – 18 j

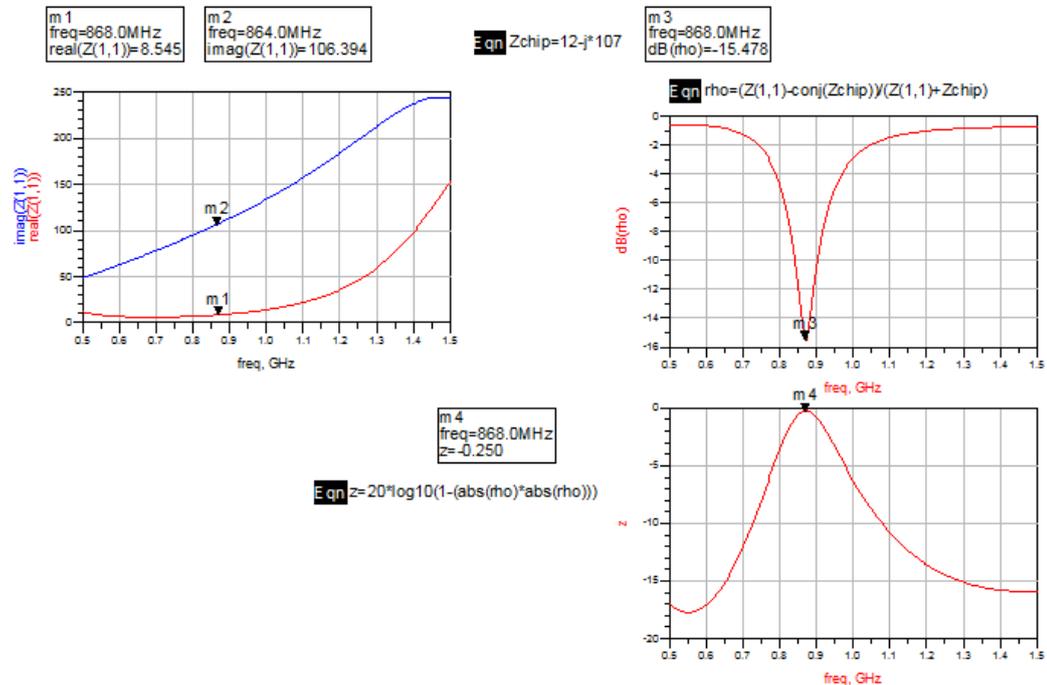


Fig. 4.23 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 40i – 18j

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

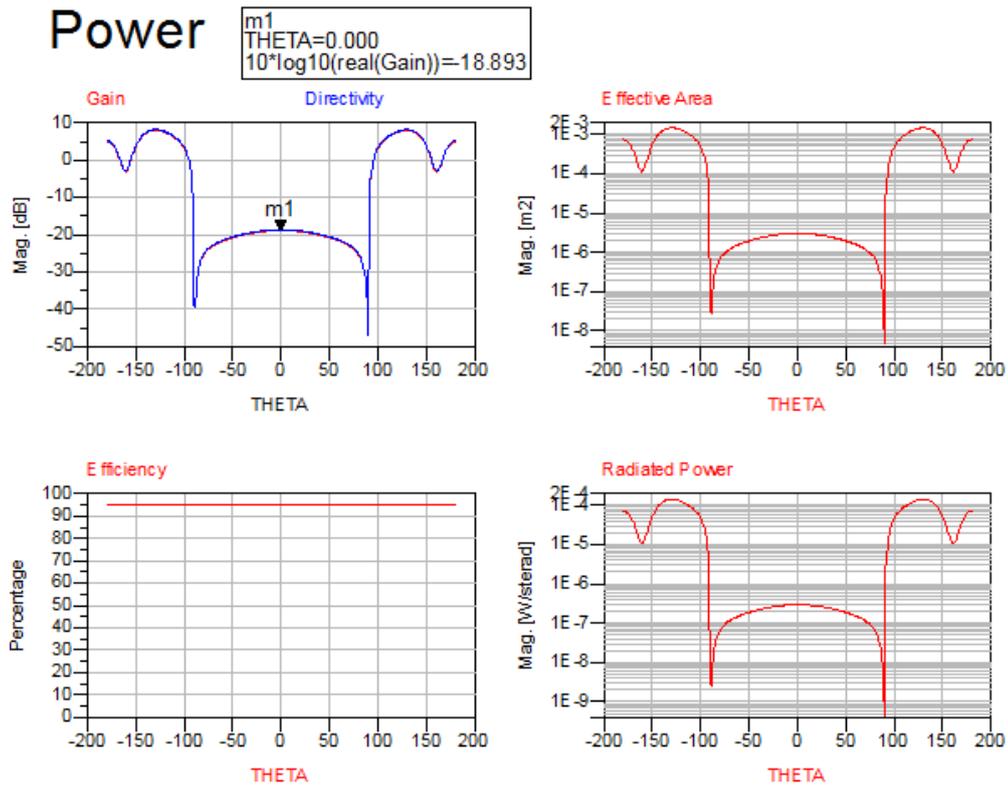


Fig. 4.24 Ganancia y eficiencia con permitividad  $40i - 18j$

- Permitividad  $37i - 17.9j$

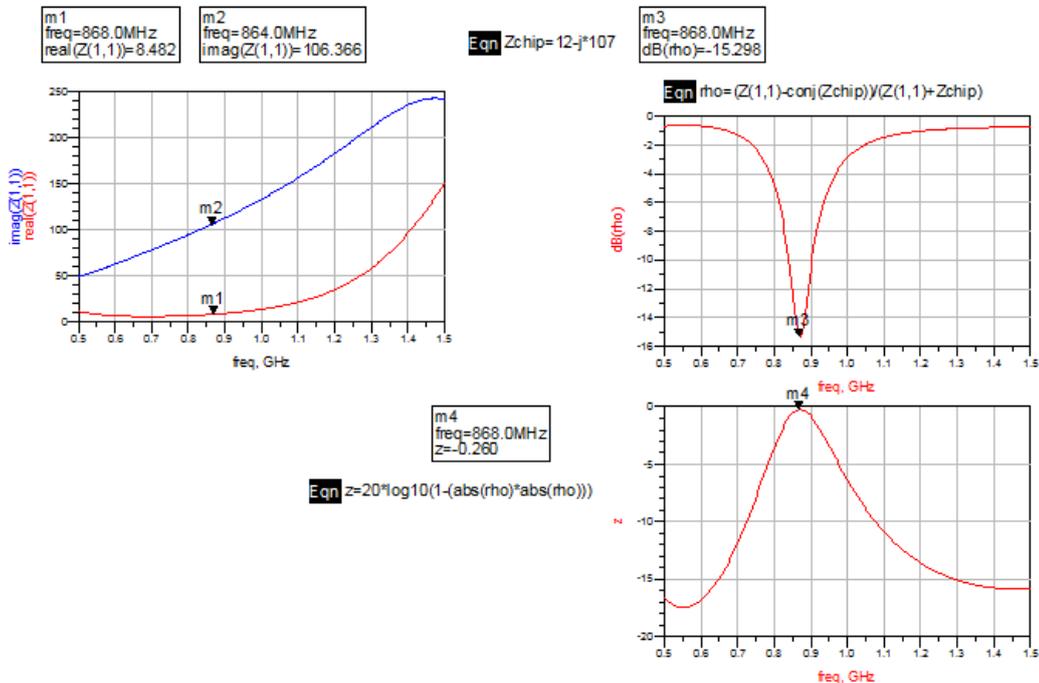


Fig. 4.25 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad  $37i - 17.9j$

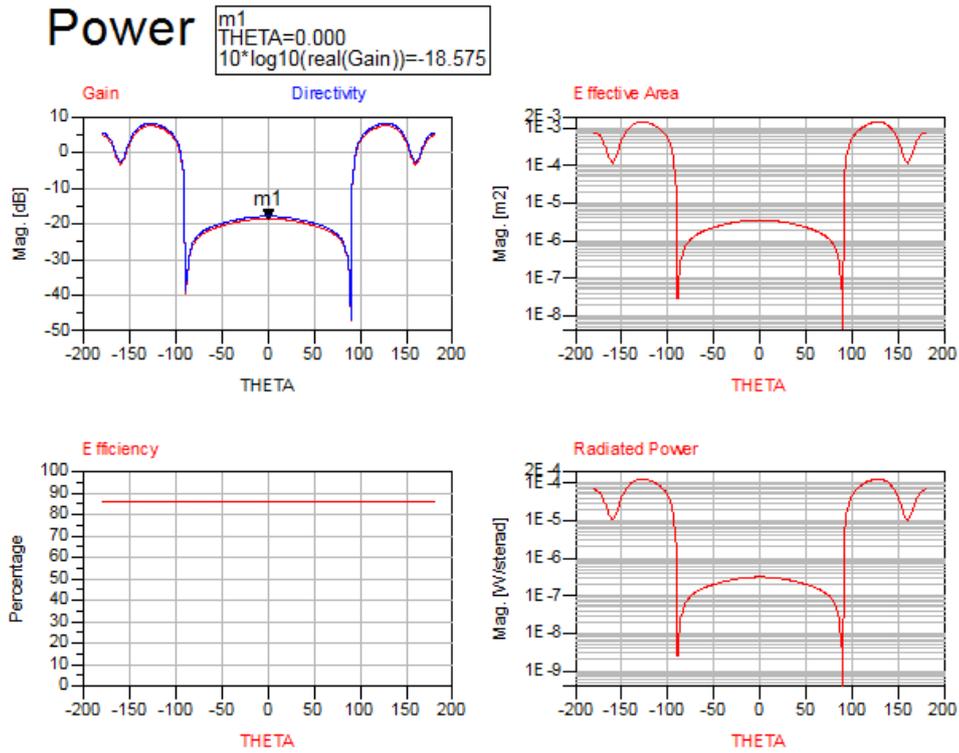


Fig. 4.26 Ganancia y eficiencia con permitividad 37i – 17.9j

- Permitividad 34 i – 17.8 j

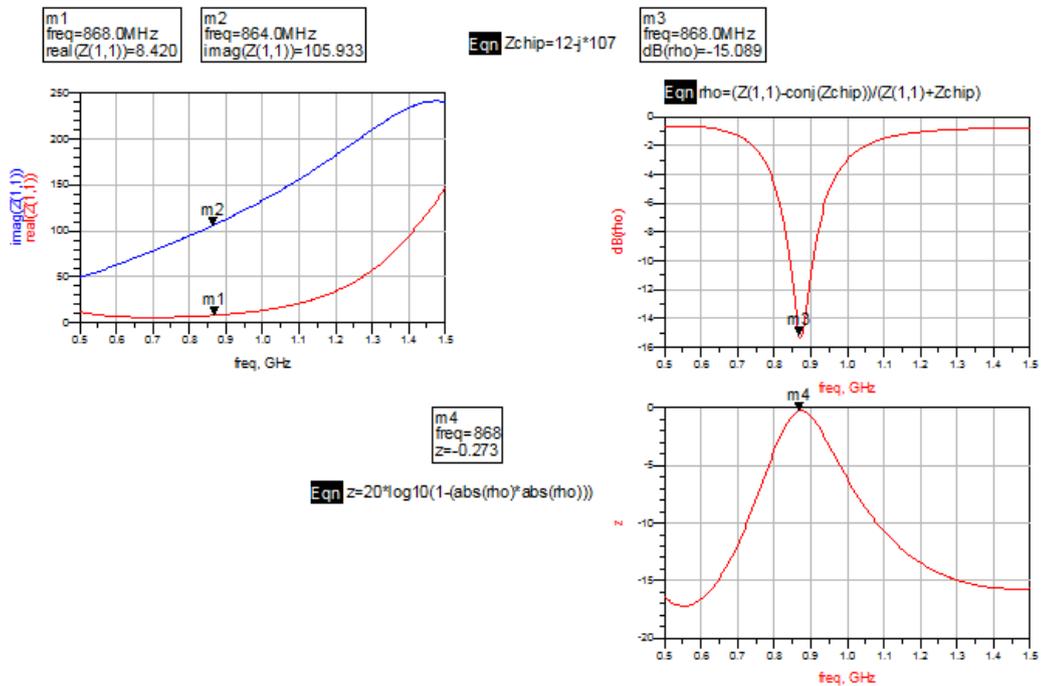


Fig. 4.27 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 34i – 17.8j

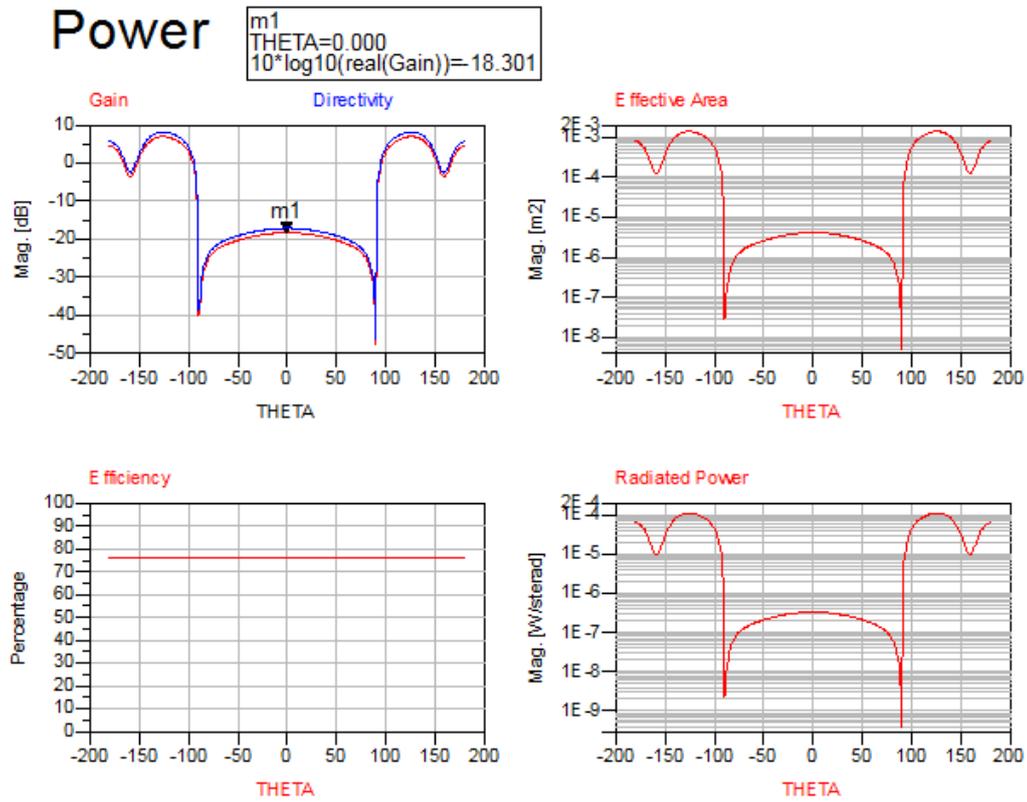


Fig. 4.28 Ganancia y eficiencia con permitividad 34i – 17.8j

• Permitividad 31 i – 17.7 j

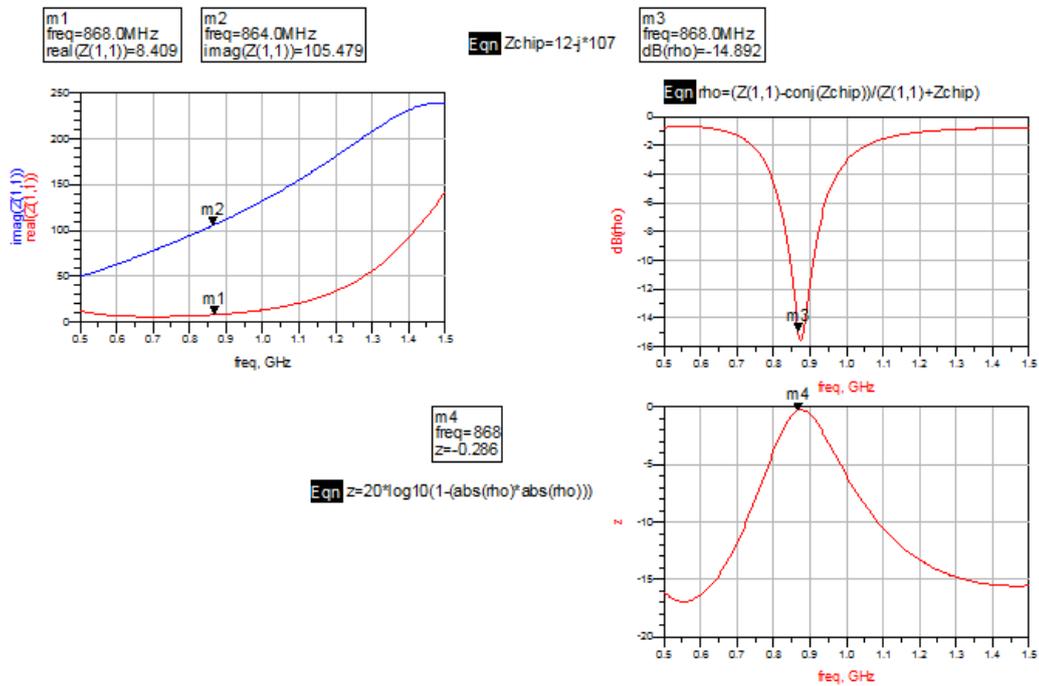


Fig. 4.29 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 31i – 17.7j

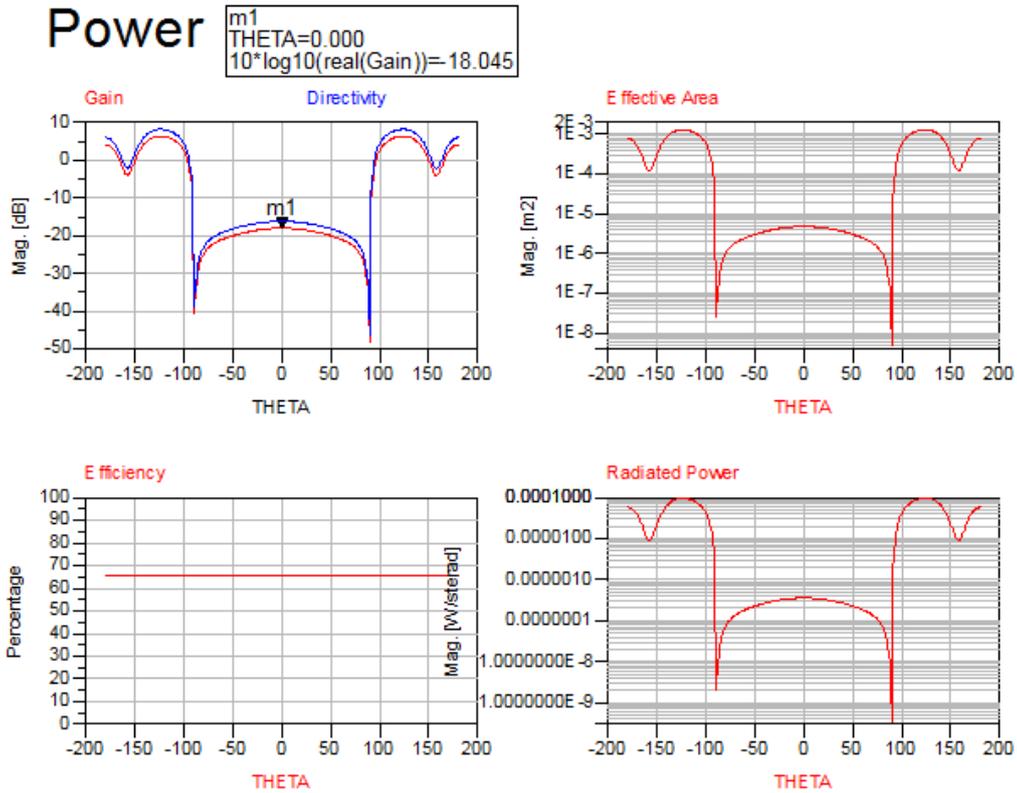


Fig. 4.30 Ganancia y eficiencia con permitividad 31i – 17.7j

- Permittividad 30.6i – 17.6 j

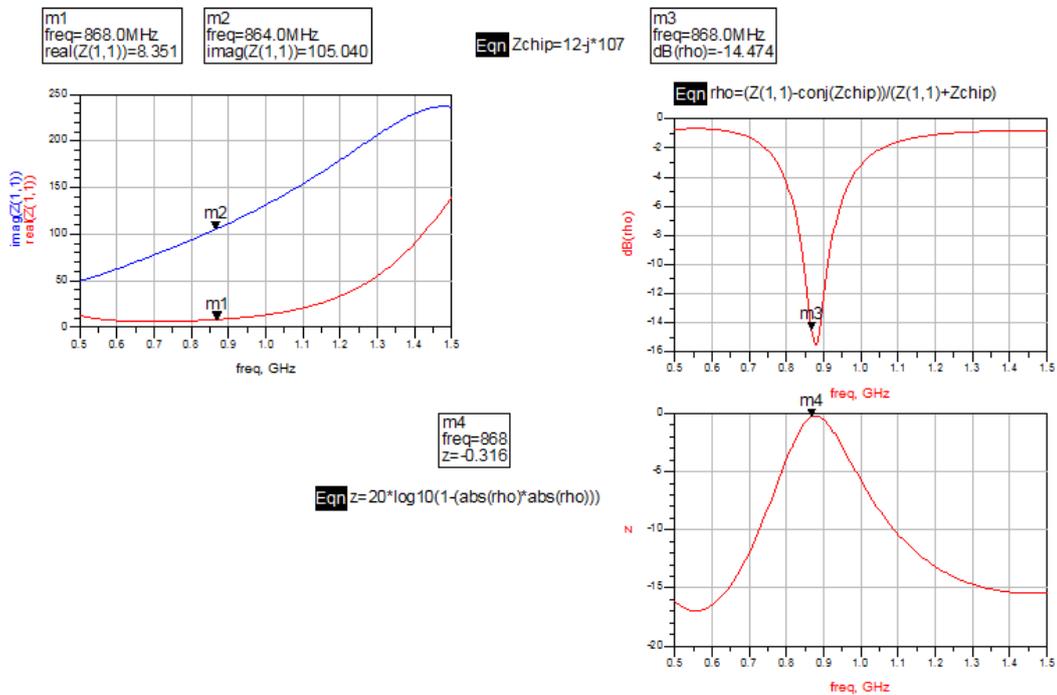


Fig. 4.31 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 30.6i – 17.6j

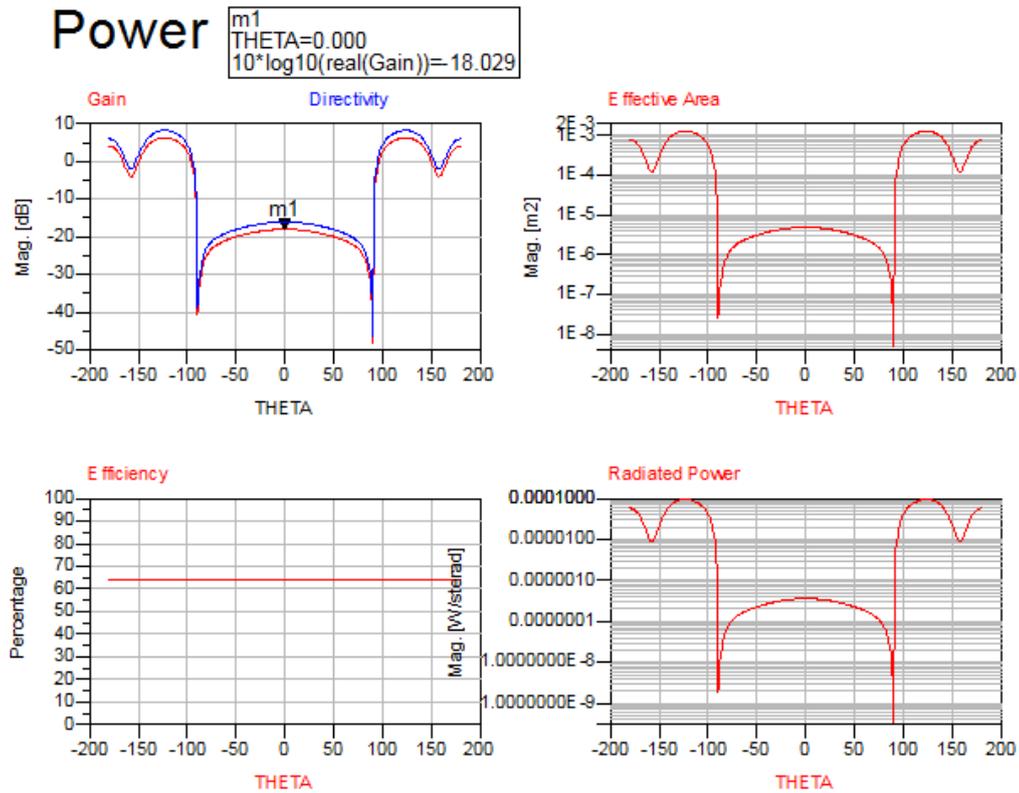


Fig. 4.32 Ganancia y eficiencia con permitividad 30.6i – 17.6j

En el siguiente caso, correspondiente al Tag 3 al cual se le ha añadido una capa de carne, las observaciones extraídas del tag anterior también se aplican en estos resultados. Por lo general, comparando ambos, cómo era de esperar en el caso del tag 3, este se ve desadaptado al añadirle la capa de carne. El coeficiente de reflexión varía bastante en comparación con el tag 1, y la ganancia es el término que varía menos, por tanto en el nivel RSSI la diferencia sería pequeña. En la *Tabla 6*, se muestra los datos variables de cada tag en función de la permitividad de la carne.

- Permitividad 43,5 i – 18 j

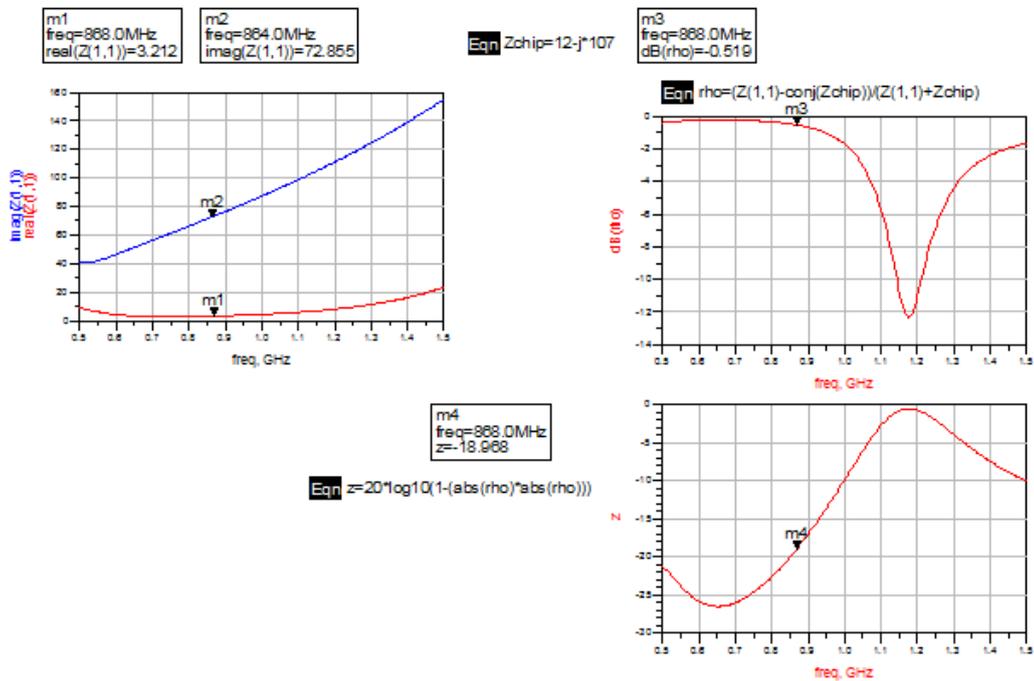


Fig. 4.33 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 43.5i – 18j

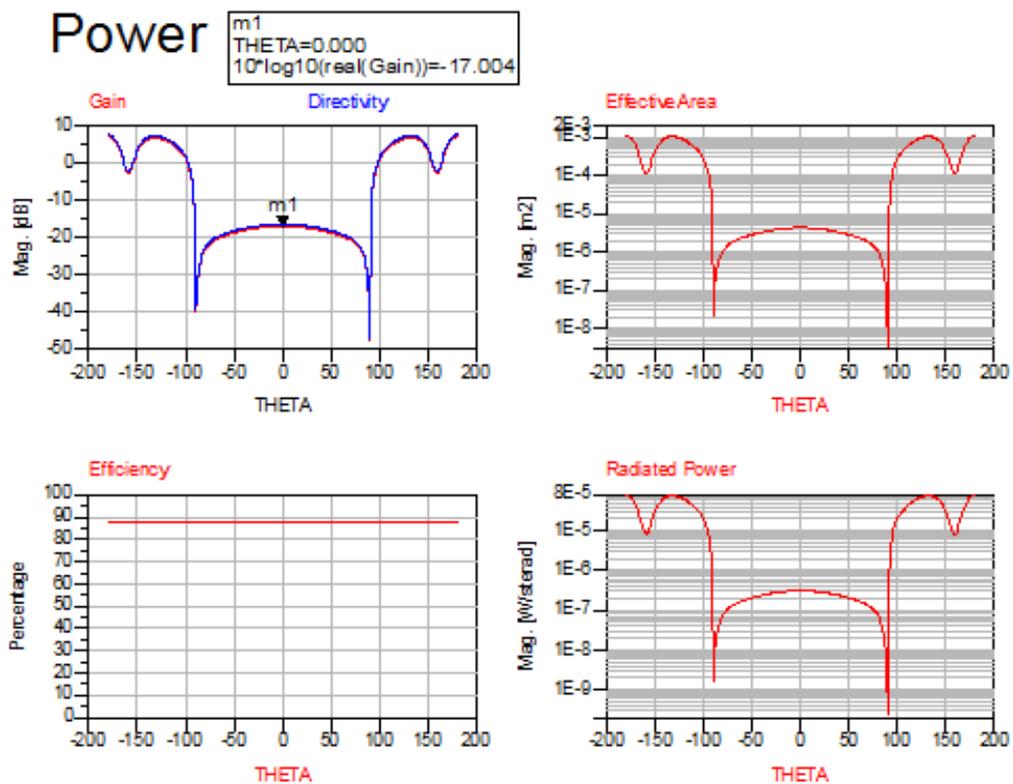


Fig. 4.34 Ganancia y eficiencia 43.5i – 18j

- Permitividad  $40i - 18j$

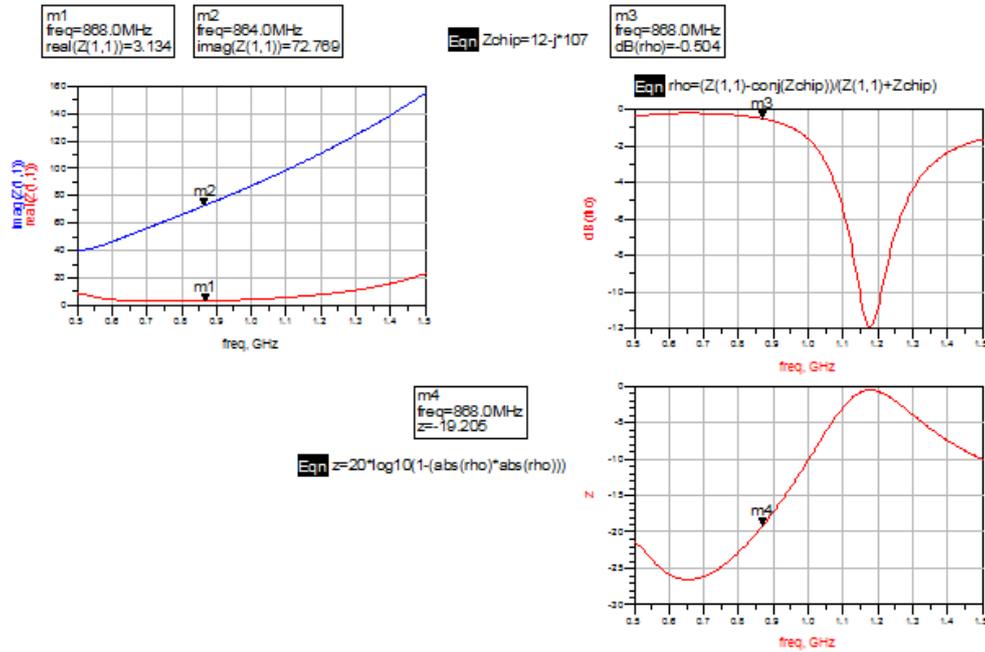


Fig. 4.35 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad  $40i - 18j$

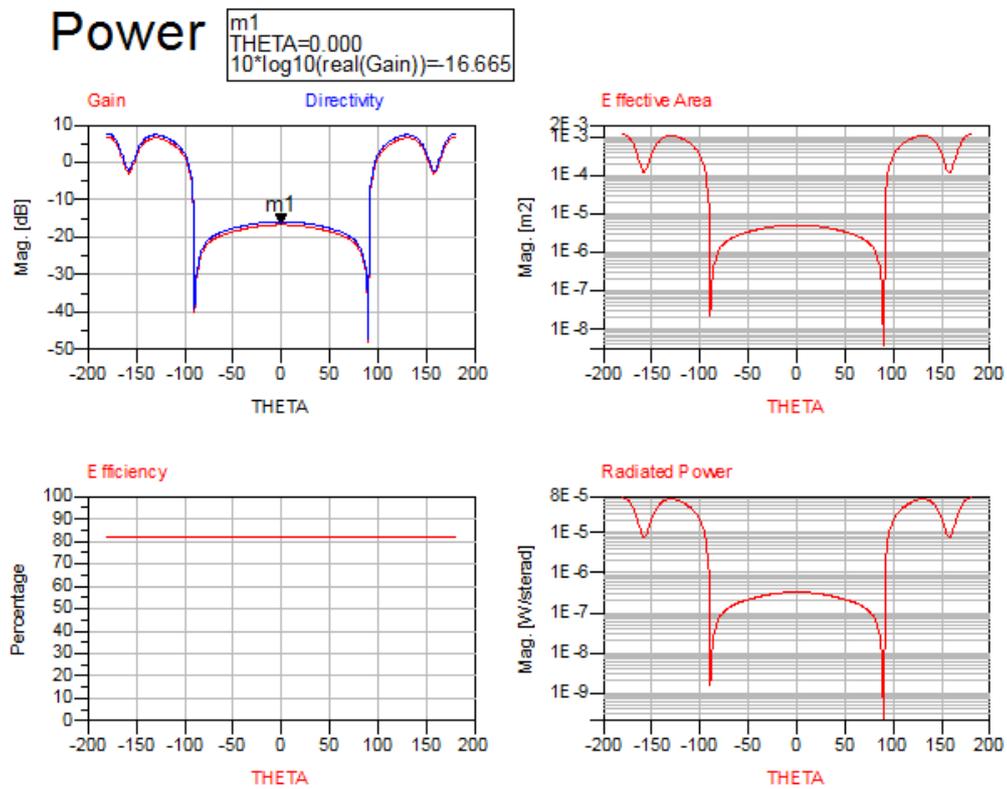


Fig. 4.36 Ganancia y eficiencia con permitividad  $40i - 18j$

• Permitividad 37 i – 17.9 j

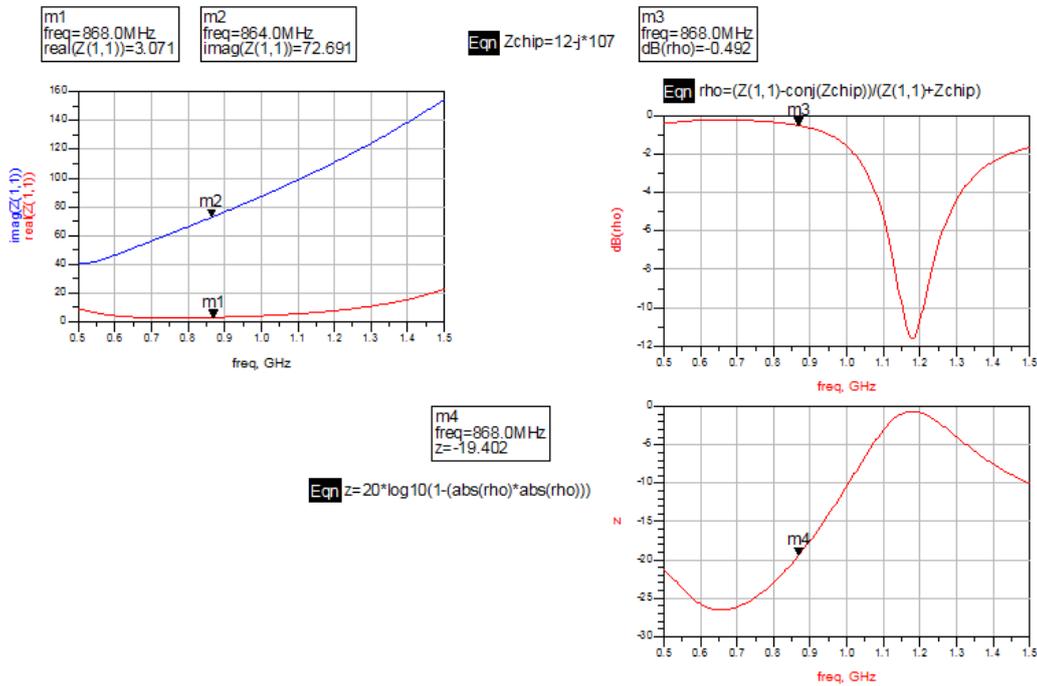


Fig. 4.37 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 37i – 17.9j

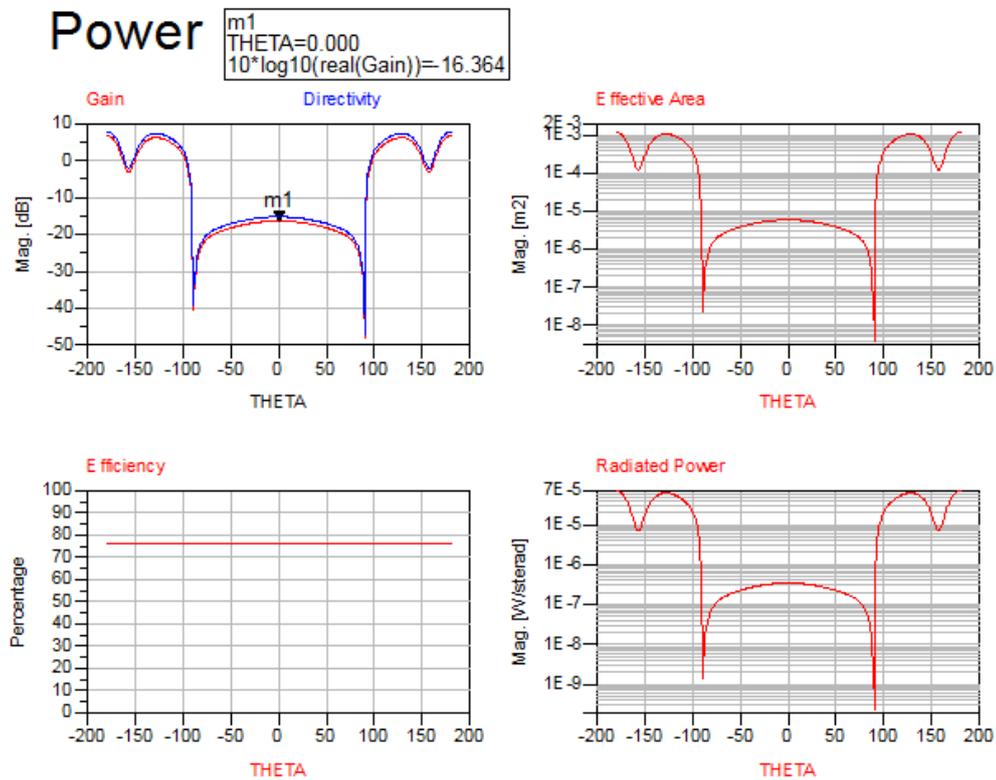


Fig. 4.38 Ganancia y eficiencia con permitividad 37i – 17.9j

- Permitividad  $34i - 17.8j$

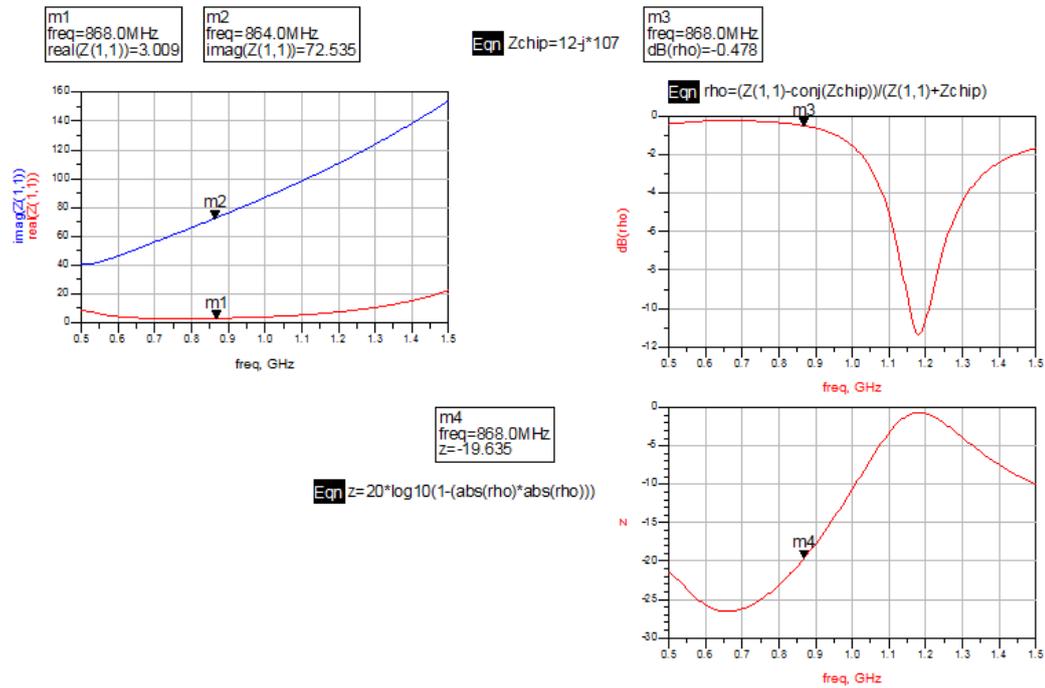


Fig. 4.39 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad  $34i - 17.8j$

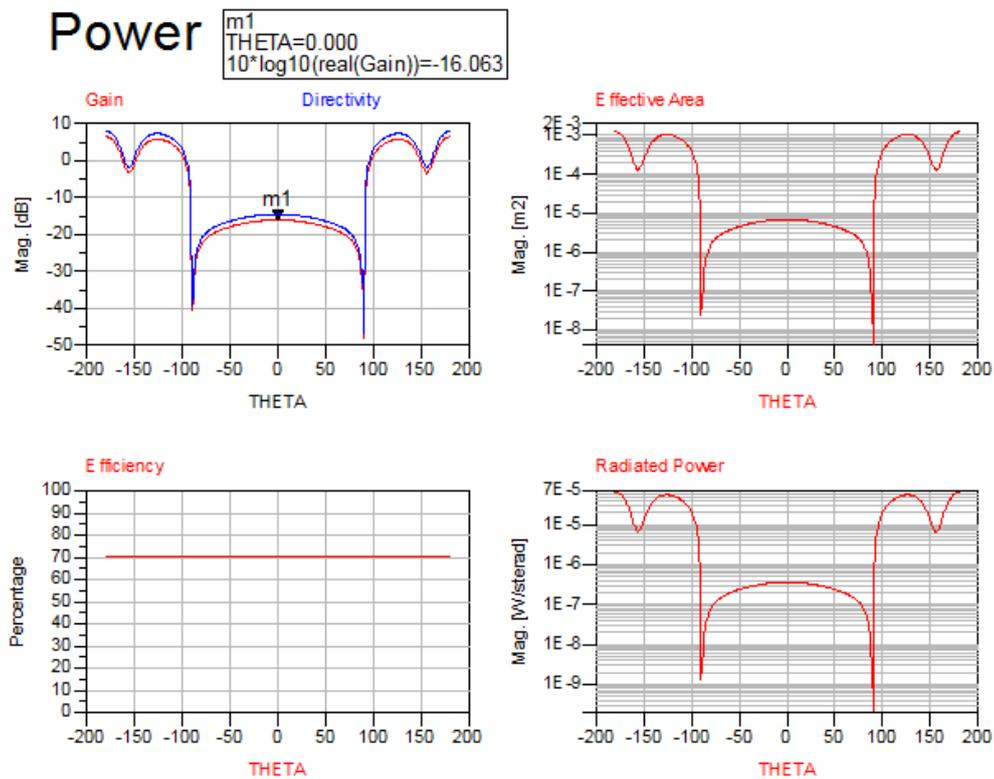


Fig. 4.40 Ganancia y eficiencia con permitividad  $34i - 17.8j$

- Permitividad  $31i - 17.7j$

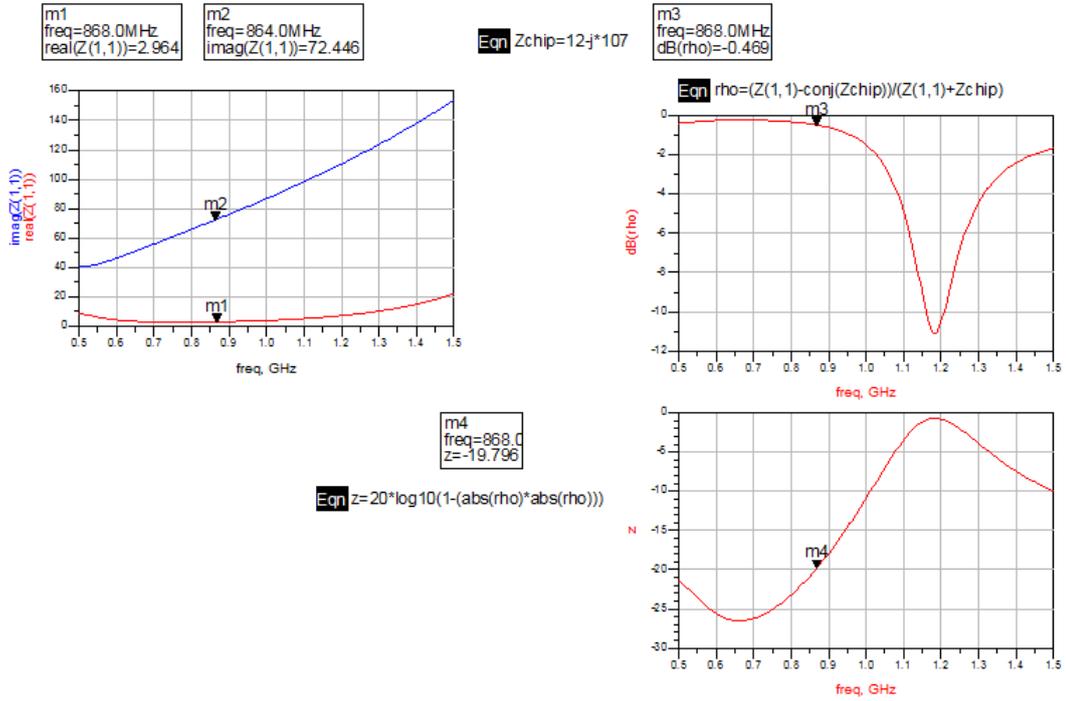


Fig. 4.41 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad  $31i - 17.7j$

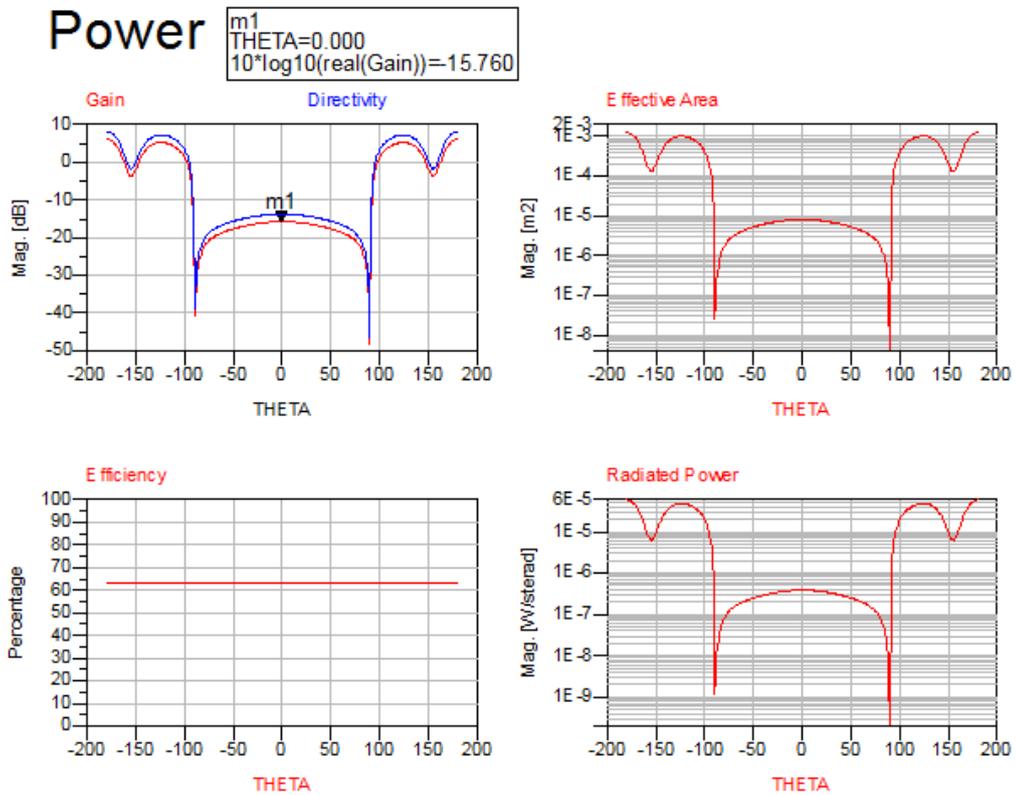


Fig. 4.42 Ganancia y eficiencia con permitividad  $31i - 17.7j$

- Permitividad 30.6i – 17.6 j

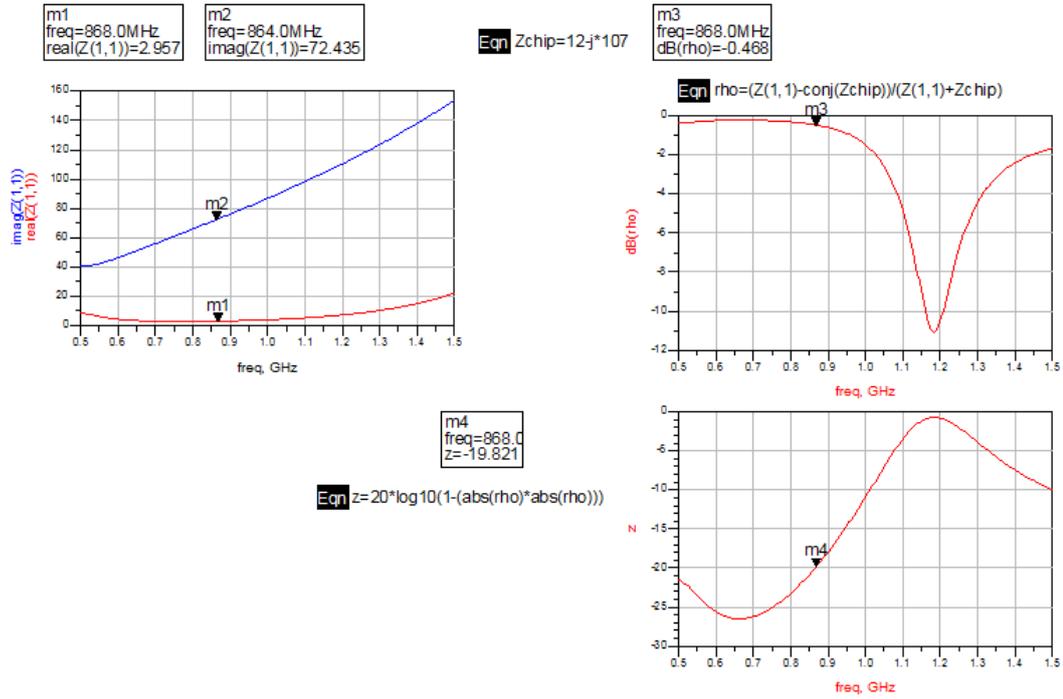


Fig. 4.43 Impedancia, coeficiente de reflexión y desadaptación con permitividad 30.6i – 17.6j

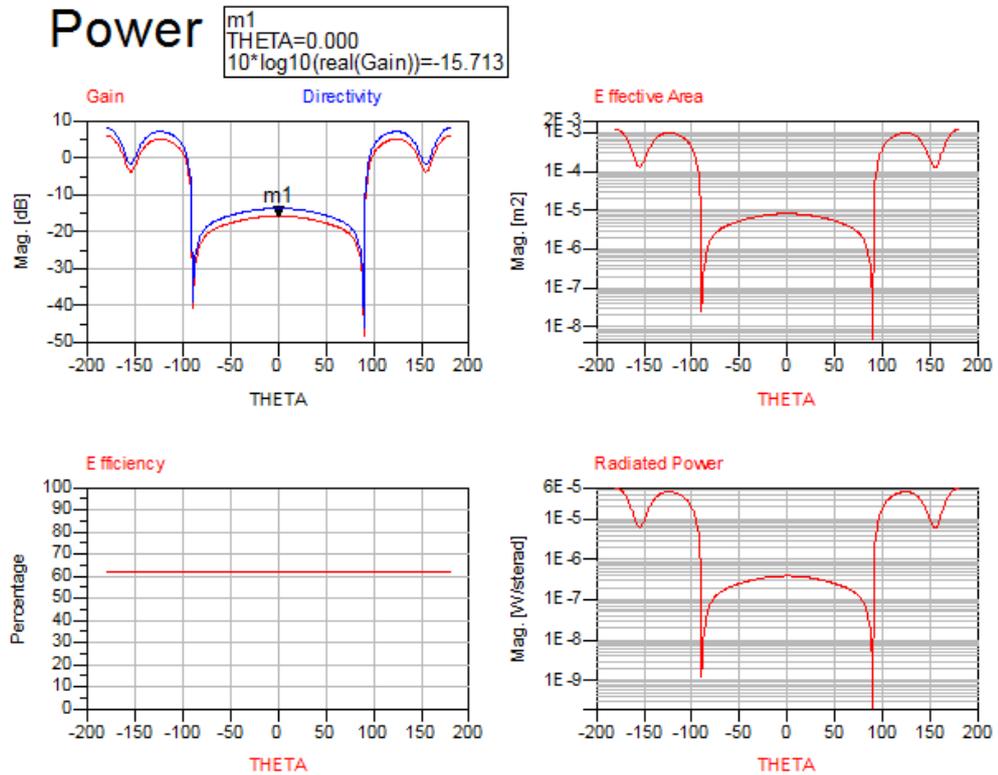


Fig. 4.44 Ganancia y eficiencia con permitividad 30.6i – 17.6j

	dB	TAG 1	Desadaptación TAG 1	TAG 3	Desadaptación TAG 3
43.5i - 18j	Reflexión	-15,804	-0,231	-0,519	-18.968
	Ganancia	-19,405		-17,004	
40i - 18j	Reflexión	-15,478	-0,25	-0,504	-19,205
	Ganancia	-18,893		-16,665	
37i - 17.9j	Reflexión	-15,298	-0,26	-0,492	-19,402
	Ganancia	-18,575		-16,364	
34i - 17.8j	Reflexión	-15,089	-0,273	-0,478	-19,635
	Ganancia	-18,301		-16,063	
31i - 17.7j	Reflexión	-14,892	-0,286	-0,469	-19,796
	Ganancia	-18,045		-15,760	
30.6i - 17.6j	Reflexión	-14,474	-0,316	-0,468	-19,821
	Ganancia	-18,029		-15,713	

Tabla 6. Comparación simulación permitividad de la carne

#### 4.2.2 Simulaciones en HFSS

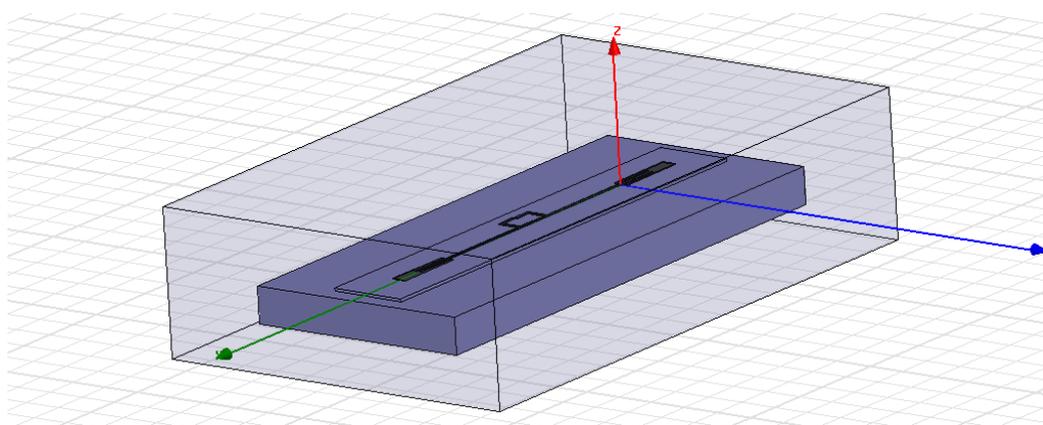


Fig. 4.45 Tag en el simulador HFSS

En las simulaciones siguientes se han utilizado los mismos tags anteriores. La permitividad introducida para la simulación de los datos es:

Material 1: 40i – 18j (tand 45).

Material 2: 45i – 20,25j (tand 45).

Con estos valores introducidos se quiere apreciar el cambio en la ganancia, en el caso de que la diferencia de permitividad sea de 5.

En las siguientes imágenes se ve en 3D el campo electromagnético de los diferentes tags. En la Fig.4.46 se muestra el diagrama del tag adaptado sin material, que es el mismo que el diagrama de un dipolo. En la Fig.4.47 y Fig.4.48 los tags están adaptados con la

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

capa de carne de permitividad del Material 1. En estas se observa que radia por debajo del tag.



Fig. 4.46 Campo electromagnético tag adaptado sin material



Fig. 4.47 Representación campo electromagnético tag de 32 mil de sustrato



Fig. 4.48 Representación campo electromagnético tag de 64 mil de sustrato

A continuación se representa la Ganancia en función de la frecuencia. En la Fig.4.49 se ve representada la Ganancia para los tags acoplados sin material. En la Fig.4.50 se puede comparar el caso de la Ganancia para el tag adaptado sin material y los adaptados con la capa de carne, teniendo en cuenta el coeficiente de desadaptación. En la Fig.4.47 se representa el mismo caso que el anterior pero sin corregir la desadaptación. Finalmente, en la Fig.4.52, se compara los dos tags con el primer material y el tag de 32 mil con el material 2, es decir, aplicando un cambio en la permitividad.

En la Fig.4.49 se tiene los tags adaptados sin material, la ganancia varía poco entre ellos. Cuando se coloca la carne en los dos tags, se ve que se alcanza valores de ganancias

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

muy parecidas. Para el resto de resultados, se puede concluir que la variación es pequeña si se colocara los tags dentro de la carne (como se puede comprobar en cualquiera de las tres últimas gráficas). En cambio, la diferencia es mayor cuando se coloca un tag en contacto con la carne y otro fuera (*Fig.4.50* y *Fig.4.51*). Con estos resultados se entrevé que el último caso descrito nos dará mejores resultados. Después respecto al cambio de permitividad, *Fig.4.52*, se ve que al variar también se obtiene una diferencia de potencia apreciable, que permitirá apreciar el deterioro del alimento.

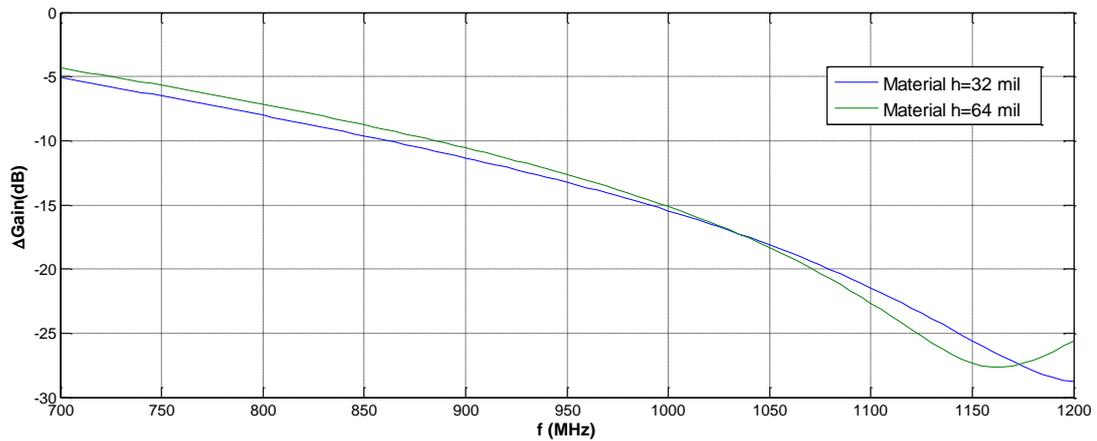


Fig. 4.49 Ganancia con los tags adaptados sin material

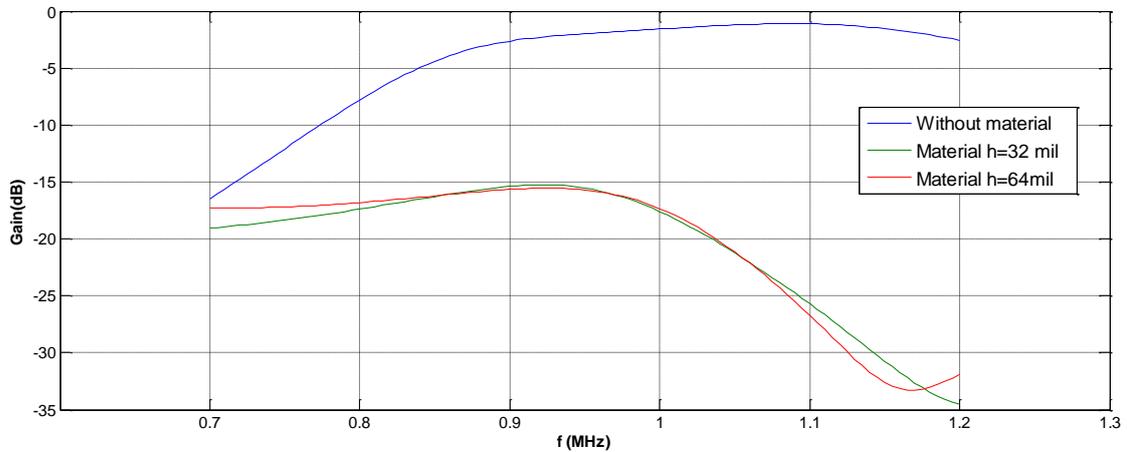


Fig. 4.50 Ganancia con el coeficiente de desadaptación, todos con el Material 1

## Diseño y pruebas previas de los tags utilizados

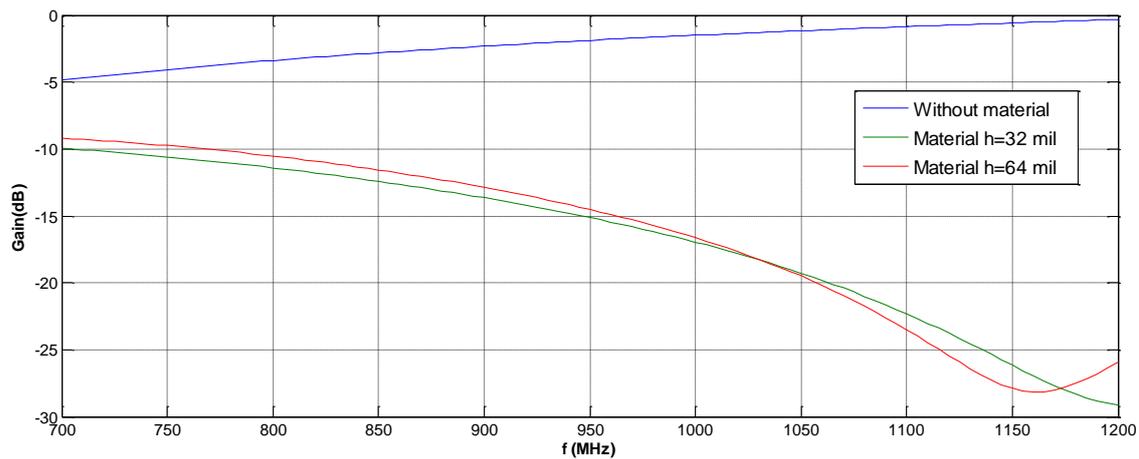


Fig. 4.51 Ganancia sin el coeficiente de desadaptación, todos con el Material 1

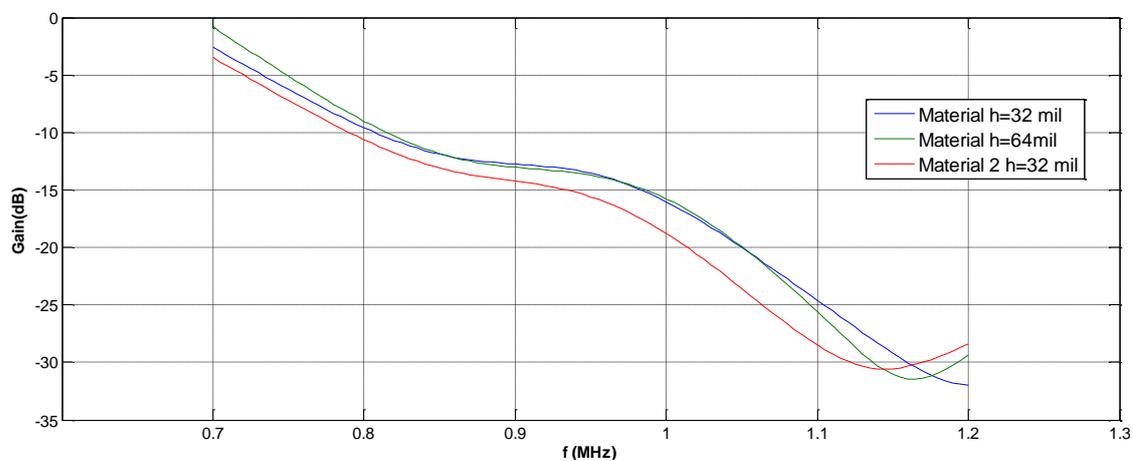


Fig. 4.52 Ganancia con el coeficiente de desadaptación, un tag con Material 2

### 5 Medidas con sistema RFID

En este capítulo se presenta la parte experimental, donde se muestran los resultados obtenidos, aplicando el sistema descrito en capítulos anteriores.

La antena se encuentra a aproximadamente 74 cm del suelo, y los tags se colocan a una distancia de 29 cm del lector, sobre una caja de cartón, como se puede ver en la *Fig.5.1*. Se ha decidido esta altura, ya que tras probar diferentes alturas, esta es con la que se obtuvo mejores resultados (ya que está más alejada del suelo). Se pueden utilizar otras configuraciones pero la idea es que las medidas se realizarían a corta distancia para evitar que por resintonización se dejen de leer los dos tags. La carne utilizada para las pruebas es un bistec de ternera que se colocó en una bandeja de poliéster. Los tags, que se encuentran en contacto con la carne, fueron sujetos con una cinta para evitar que se muevan y que toda la superficie haga buen contacto. Las características del lector, que se ha utilizado, se explican en el *punto 5.1* de este capítulo.

Como se presentó en los objetivos, el sistema concluyente constará de dos tags. En las pruebas realizadas se escogió dos escenarios donde utilizamos diferentes tags en cada uno. Para simplificar las pruebas se colocaron tres tags, dos haciendo contacto con la carne y otro fuera, y se analizaron las combinaciones más claras. En los distintos escenarios se realizan las pruebas para dos posiciones distintas de los tags respecto a la polarización del lector (Alineados en la misma dirección o cruzada).

Las dos gráficas representadas corresponden a la potencia recibida por el tag y la recibida del lector. Para analizar los resultados se centrará en el RSSI, ya que, la ganancia al variar en términos al cuadrado, la diferencia de potencia será mayor. También se da el caso que la mayoría de las potencias recibidas por el tag, que se ven representadas, no son propias de los tags. Esto ocurre porque el lector cuenta con una antena dipolo y a la potencia real emitida se le añade 2.15dB. Teniendo en cuenta que la potencia real que emite son unos 17dBm, por debajo de los 20dBm aproximadamente el lector no emite potencia, con lo cual los tags que se ven representados a unos 20dBm no se sabrá si es real o es debido al lector. En la *Fig.5.2* se puede ver el esquema del sistema con el que se ha trabajado.



Fig. 5.1 Montaje real de las pruebas

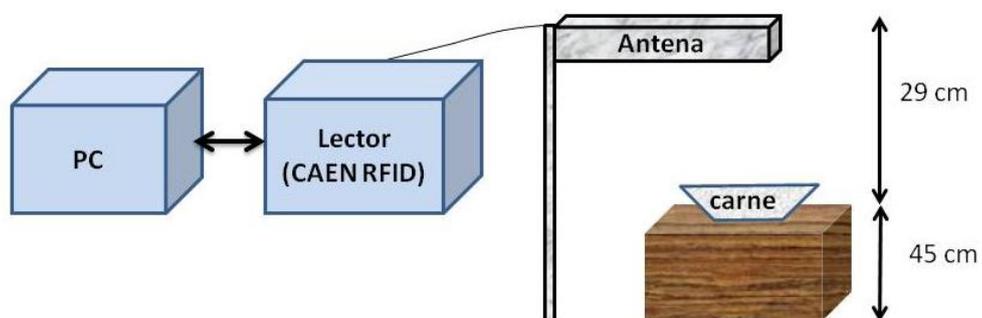


Fig. 5.2 Diagrama del sistema

### 5.1 Lector CAEN RFID

El modelo del lector utilizado es el R4300P (Ion), *Fig.5.3*. Utiliza un software que ofrece una interfaz que permite la comunicación del lector y el ordenador, *Fig.5.4*. Esta API proporciona múltiples operaciones. Es capaz de interactuar con el ordenador mediante un lenguaje común que les permite comunicarse. La antena del lector se trata de una antena con polarización circular, (Mod. R4300PDK). En la *Tabla 7* [10] encontramos la tabla de especificaciones del lector, como es la banda de frecuencias, potencia de salida, memoria, etc.



Fig. 5.3 Ion R4300P Reader

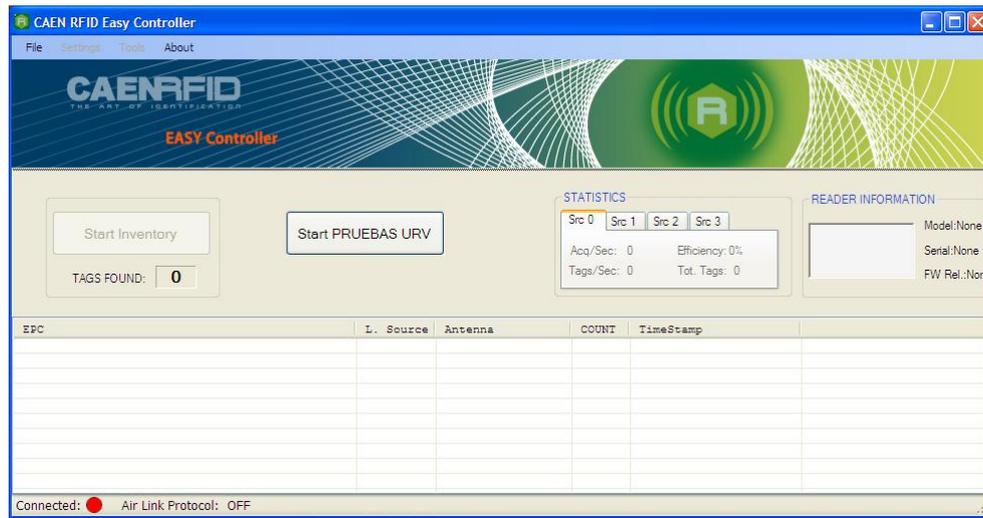


Fig. 5.4 Interfaz de comunicación entre el Lector y el PC

Frequency Band	902÷928 MHz (FCC part 15) 865.600÷867.600 (ETSI EN 302 208) 952÷954 MHz (ARIB STD-T89)
Output Power	Up to 32 dBm (~1.6W) conducted
CPU	Intel Atom Z510 CPU @ 1.1Ghz
Memory	512 Mbytes RAM, 512 Mbytes SSD, 2Gbytes MicroSD
Operating System	Linux (Debian)
Scripting	- Python 2.5 language interpreter - Java Virtual Machine
Host Interface Protocols	- EPCglobal LLRP RFID host-to-reader protocol - CAEN RFID host-to-reader protocol
Antenna Connector	4 TNC Reverse Polarity
Receiving Capability	Gen 2 Dense Reader Mode Management Data rate up to 400 Kbits/s
Standard Compliance	EPC C1 G2/ISO 18000-6C
Digital I/O	14 GPIO pins, TTL level
Ports	RS232 Serial Communication (DB9); USB 2.0 High Speed Host Port; Ethernet 10/100BASE-T (RJ45)
Wireless Communication	GSM/GPRS (SMA) (optional) WiFi (optional via USB host)
Internal Interfaces	MicroSD slot SIM card housing (optional)
Enclosure degree of Protection	IP52
MTBF	135'000 hours
Dimensions	(W)275 x (L)155 x (H)39 mm <sup>3</sup> (10.8 x 6.1 x 1.5 inch <sup>3</sup> )
Electrical Power	9÷36 Vdc (30W)
Operating Temperature	-20 °C to 55 °C
Weight	1.3 kg

Tabla 7. Tabla de especificaciones técnicas

## 5.2 Escenario 1

En estas pruebas se colocaron los tres primeros tags descritos en el *apartado 4.1*. El tag 1 se situó fuera y el tag 2 y 3 en contacto con la carne. En la *Tabla 8* se recuerdan las características de los tags que se van a utilizar.

<b>Tag 1 y 2</b>	32 mil, adaptado sin material
<b>Tag 3</b>	64 mil, adaptado sin material

**Tabla 8.** Características de los tags del Escenario 1

Al final de este apartado se muestran dos tablas, donde se recoge información sobre la diferencia de potencia, recibida por el lector, por cada pareja de tags. En la primera, *Tabla 9*, se ven las diferencias entre los dos tag en la medida inicial (indicada como antes) y después de tres días (indicada como después). Para ello se ha calculado la media de RSSI por cada tag, para posteriormente realizar la diferencia. En la *Tabla 10* se tiene la diferencia de RSSI del antes y después. Dicho de otra forma, para el Tag 1 y 2, se ha restado la diferencia de potencia del “Antes” y del “Después” de la *Tabla 9*. Es decir, esta variación de potencia es con la que se podría hacer la estimación del estado del alimento.

Se espera que la diferencia entre las parejas de tags al estar aproximadamente la misma distancia del lector debería ser independiente de la distancia. Si bien se observa que el tag no es lineal y al aumentar la potencia del lector varían un poco las lecturas de RSSI, estabilizándose para potencias mayores. Se muestran dos casos, polarización del tag una dirección (Misma polarización) y la dirección girada 90° (Polarización cruzada). Si bien la antena del lector tiene polarización circular esta no es perfecta y hay diferencias entre las dos polarizaciones.

### Misma Polarización

La primera gráfica de cada simulación representada, se corresponde a la potencia recibida por los tags, en el eje de ordenadas, se representa el número de lecturas. Se programó para que realizara 10 lecturas por cada unidad de potencia.

El TAG 3 no se aprecia en la *Fig.5.5* puesto que está solapado con el TAG 1. Estas dos medidas serían un ejemplo de lo descrito al principio de este capítulo. Realmente no se considerarían potencias reales, puesto que se debe al lector. En la *Fig.5.6*, para el TAG 1 colocado fuera, se debería de esperar una misma RSSI puesto que no se ve afectada por ningún material. Esta pequeña diferencia se debe a los rebotes causados por los objetos de alrededor. Para conseguir unas medidas exactas se debería de haber realizado las pruebas en una cámara anecoica, dónde no tendríamos estos pequeños incisos. Cómo el objetivo se centra en la obtención de una variación de RSSI considerable, estos contratiempos no afectan al objetivo final.

En los resultados finales recogidos en la *Tabla 10*, se ve que la combinación de tags, con la que se obtiene una variación de RSSI más representativa, es con los Tags 1 y 3. Es decir, con el que colocamos fuera y el de dentro de doble capa (64 mil de grosor).

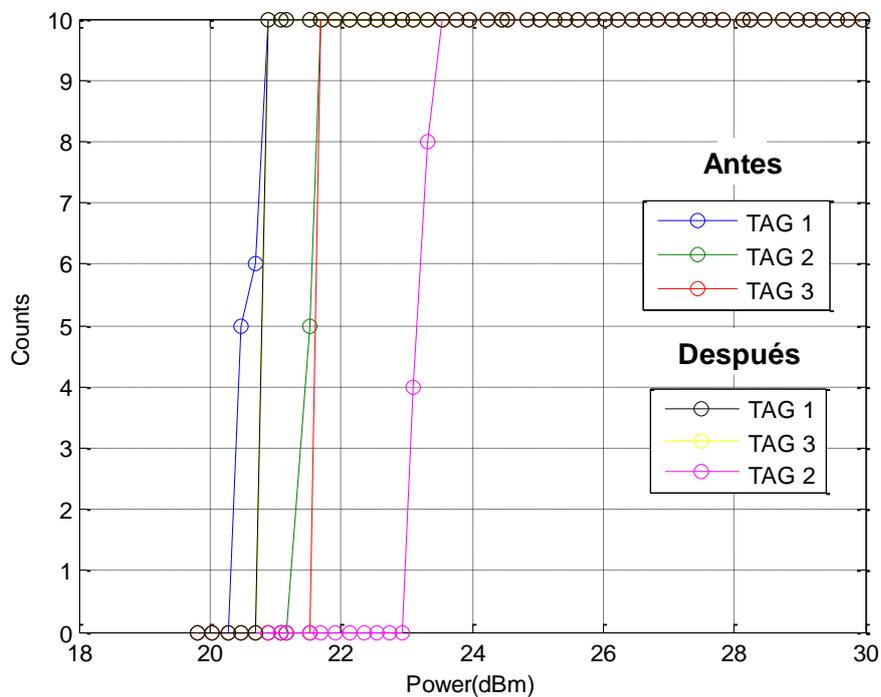


Fig. 5.5 Potencia recibida por los tags en la misma polarización (Escenario 1)

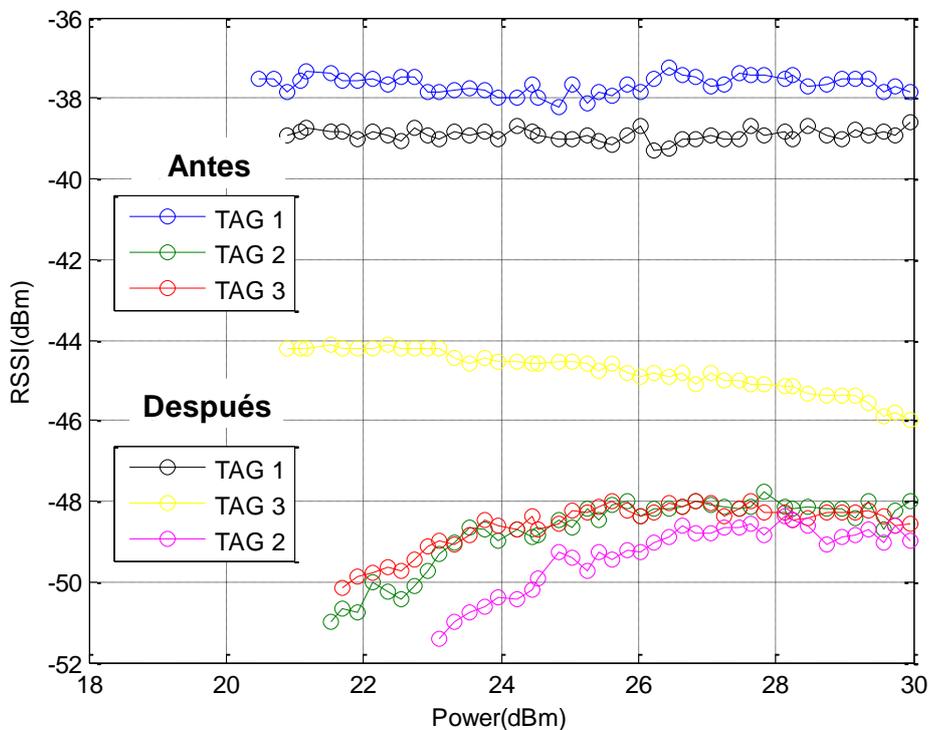


Fig. 5.6 Potencia RSSI en la misma polarización (Escenario 1)

**Polarización cruzada**

Para esta polarización, si se compara con la anterior, los resultados son muy parecidos. El TAG 3 también se encuentra solapado con el TAG 1. Para la Fig.5.7, se ve que en este caso los tags necesitan más potencia para superar el umbral y respondan.

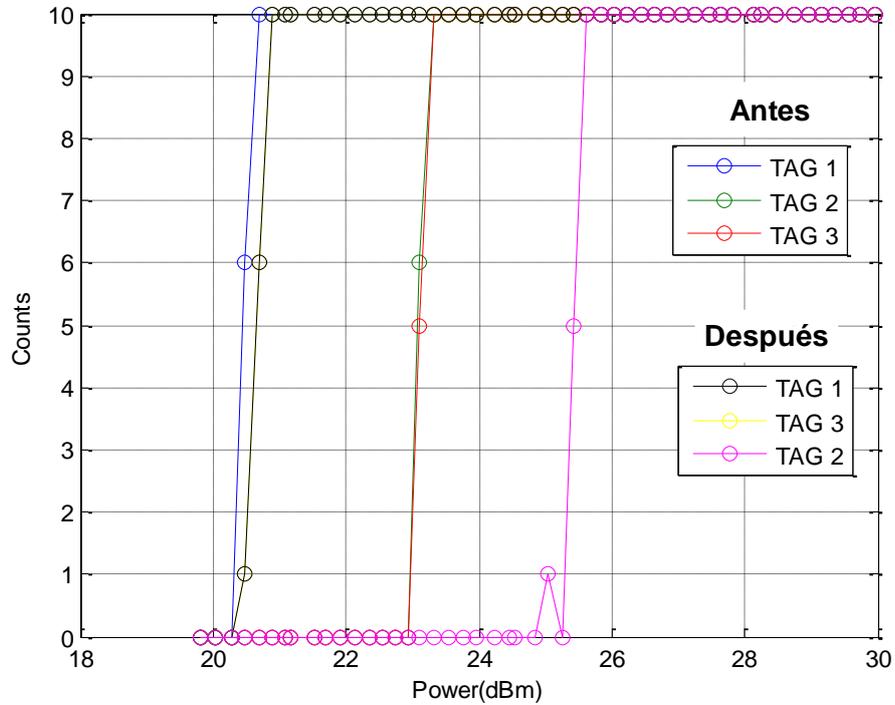


Fig. 5.7 Potencia recibida por los tags en la polarización cruzada (Escenario 1)

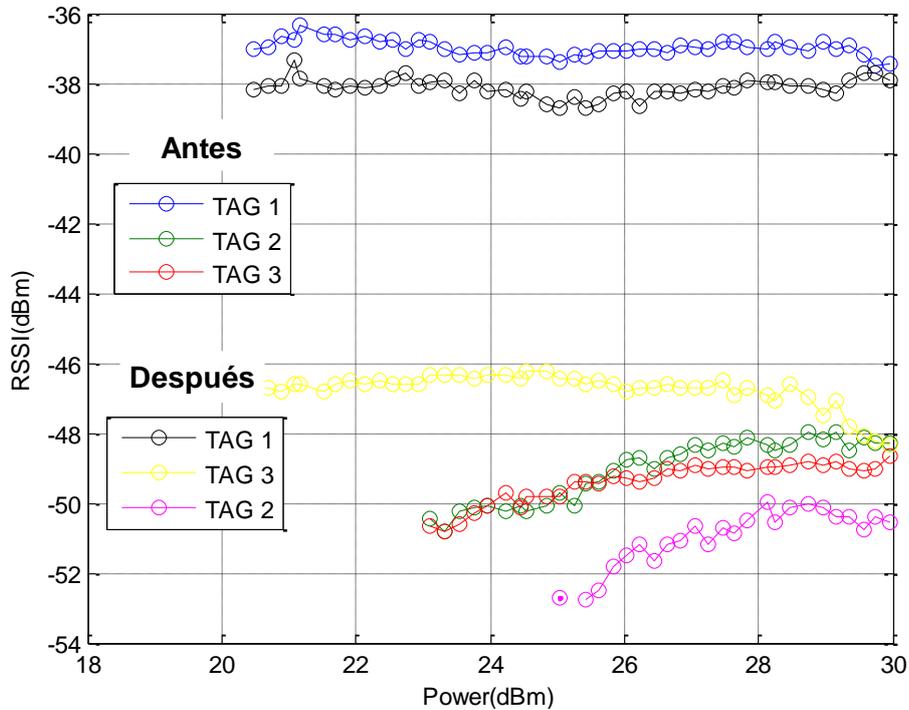


Fig. 5.8 Potencia RSSI en la polarización cruzada (Escenario 1)

	Diferencia en dB RSSI (Antes)			Diferencia en dB RSSI (Después)		
	Tag 1-2	Tag 1-3	Tag 2-3	Tag 1-2	Tag 1-3	Tag 2-3
<b>Alineada</b>	10,595	10,708	0,113	9,867	6,319	3,548
<b>Cruzada</b>	11,3715	11,9795	0,608	12,585	8,9815	3,6035

Tabla 9. Diferencia RSSI para cada pareja de tags del Escenario 1

	Diferencia en dB RSSI (Antes y después)		
	Tag 1-2	Tag 1-3	Tag 2-3
<b>Alineada</b>	0,728	4,389	3,435
<b>Cruzada</b>	1,2135	2,998	2,9955

Tabla 10. Diferencia RSSI entre las parejas de tags antes y después de degradarse la carne del Escenario 1

### 5.3 Escenario 2

En estas otras pruebas colocamos los tres siguientes tags: El tag 5 situado fuera y el tag 2 y 4 en contacto con la carne. En la *Tabla 11* se recuerdan las características de los tags que se van a utilizar.

<b>Tag 2</b>	32 mil, adaptado sin material
<b>Tag 4</b>	32 mil reducido adaptado con una capa de carne
<b>Tag 5</b>	32 mil reducido adaptado sin material

Tabla 11. Características de los tags del Escenario 2

Analizando las gráficas siguientes, a diferencia del escenario anterior, estos resultados presentan una variación de potencia menor, como se puede comprobar en la *Tabla 13*. Así pues, no se podría hacer una buena estimación del estado del alimento.

Comparando la *Tablas 10* y *Tabla 13* donde se muestra la variación de estimación, se podría concluir que los que se obtiene mejores resultados sería con los tags 1 y 3. Es decir, situando el tag 1 (ver *Tabla 8*) fuera donde no tuviera contacto con la carne y el tag 3 (ver *Tabla 8*) en contacto con la carne.

**Misma polarización**

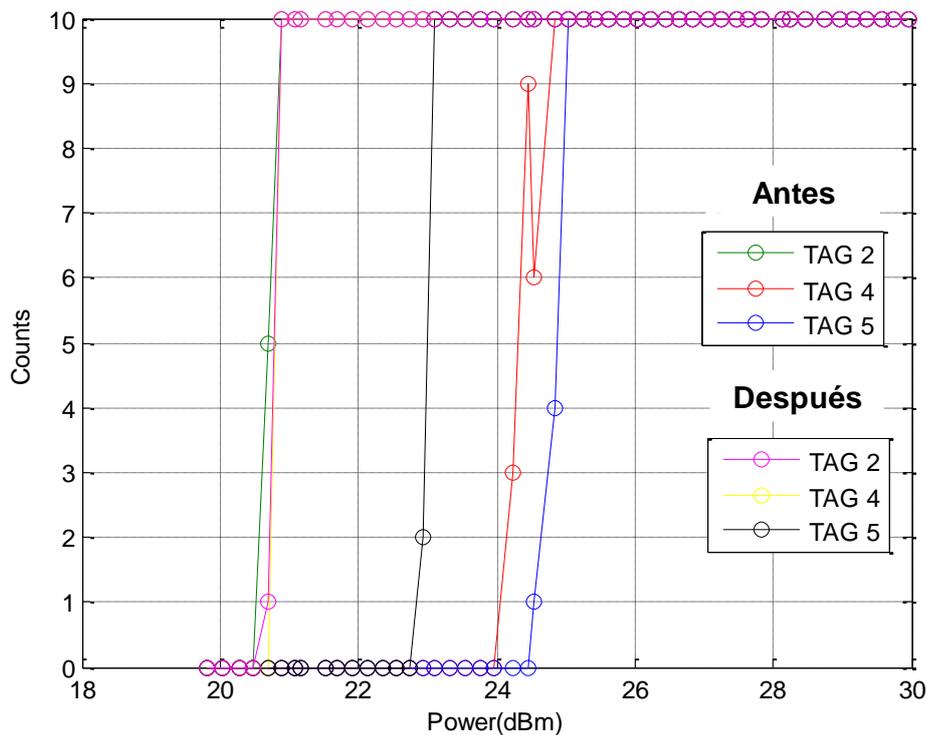


Fig. 5.9 Potencia recibida por los tags en la misma polarización (Escenario 2)

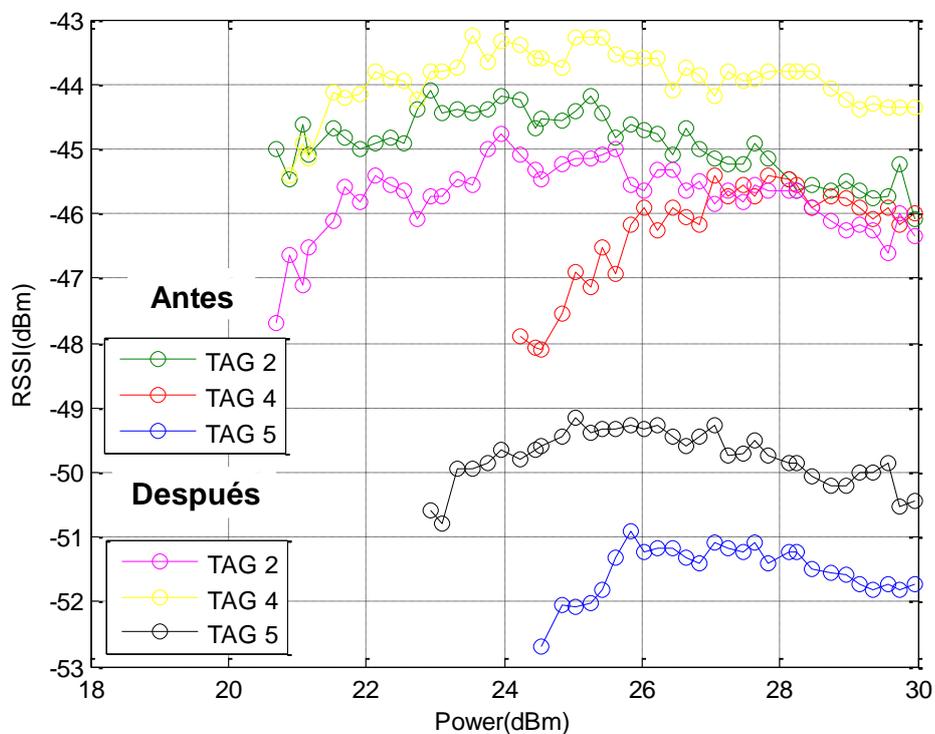


Fig. 5.10 Potencia RSSI en la misma polarización (Escenario 2)

**Polarización cruzada**

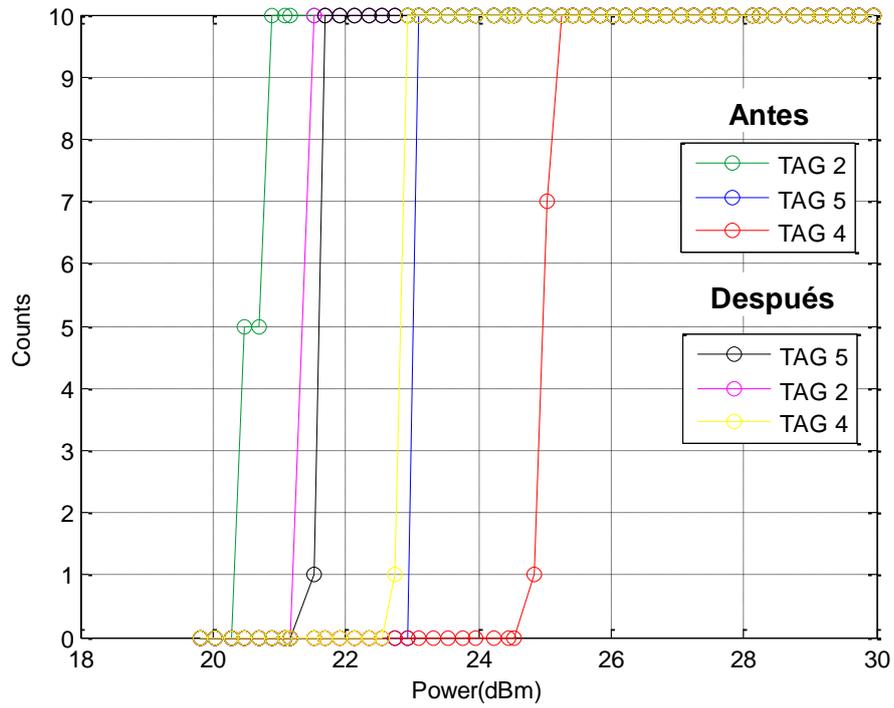


Fig. 5.11 Potencia recibida por los tags en la polarización cruzada (Escenario 2)

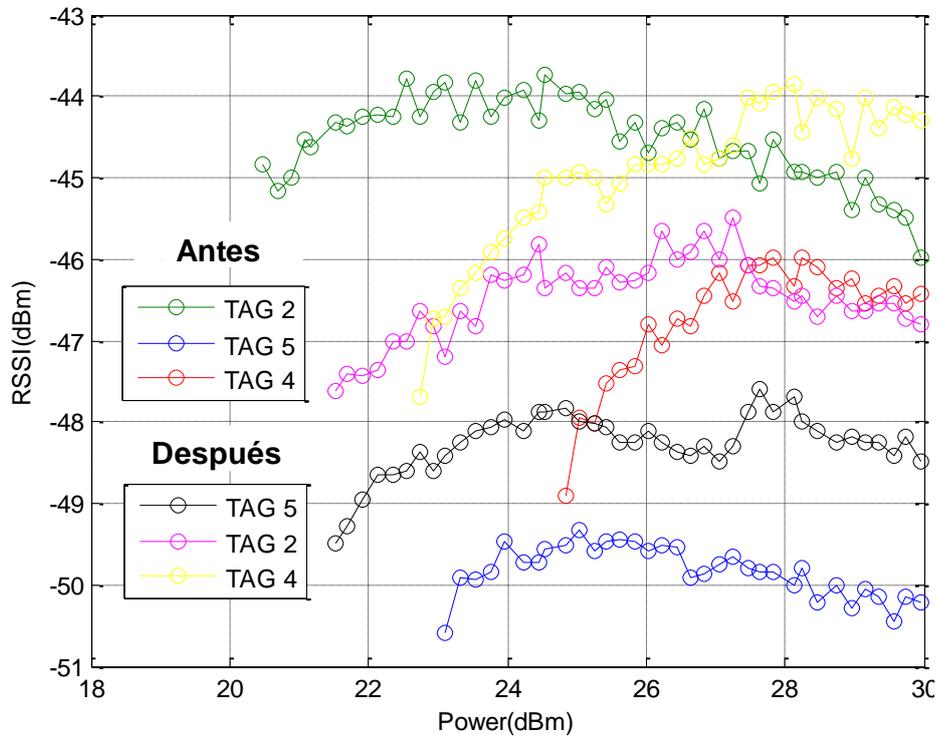


Fig. 5.12 Potencia RSSI en la polarización cruzada (Escenario 2)

	Diferencia en dB RSSI (Antes)			Diferencia en dB RSSI (Después)		
	Tag5-2	Tag5-4	Tag2-4	Tag5-2	Tag5-4	Tag2-4
<b>Alineada</b>	6,0995	5,5735	0,526	3,9605	5,8035	1,843
<b>Cruzada</b>	5,0215	3,5285	1,493	1,886	3,7925	1,9065

Tabla 12. Diferencia RSSI para cada pareja de tags del Escenario 2

	Diferencia en dB RSSI (Antes y después)		
	Tag5-2	Tag5-4	Tag2-4
<b>Alineada</b>	2,139	0,23	1,317
<b>Cruzada</b>	3,1355	0,264	0,4135

Tabla 13. Diferencia RSSI entre las parejas de tags antes y después de degradarse la carne del Escenario 2

## 6 Conclusiones y líneas futuras

### 6.1 Conclusiones

Como se ha ido viendo a lo largo del proyecto, han sido necesarias pruebas previas para conseguir el objetivo final. Antes de llegar a la parte experimental, se midió la permitividad de la carne en sus dos estados comprobando así su variación. Posteriormente se comprobó mediante simulación, que los parámetros vistos en el capítulo 2 que influían en el cambio de la potencia recibida, variaban significativamente en función del cambio de permitividad. Con ello apuntábamos a unos resultados favorables. Finalmente en el último punto dónde se realizan las pruebas experimentales, se ha podido demostrar que en efecto sería posible, a través de la diferencia de potencia de RSSI, estimar la caducidad de los alimentos. Puesto que, se ha encontrado una variación considerable, se ha podido ver que los tags que han dado mejores resultados han sido el Tag 1, de 32 mil de grosor y adaptado con una capa de aire y el Tag 3, que se dobló el grosor (64 mil). Con lo que se concluye que, utilizando tags con diferente grosor reajustándolo nuevamente a la frecuencia de operación, se haría una buena estimación del estado del alimento.

En cuanto al presupuesto de los tags, al tratarse de tags diseñados en la banda de UHF, estos son más baratos, llegando a un coste máximo de unos 10 céntimos. Con lo cual no afectaría mucho al precio final.

Como conclusión personal, a lo largo del proyecto he disfrutado en su elaboración. Poco a poco he ido aprendiendo más sobre la tecnología RFID, que fue una de las motivaciones por las que escogí este proyecto. Es una tecnología que en un futuro iremos viendo sus aplicaciones en sectores más próximos. El hecho de poder investigar y trabajar en un proyecto, en el que he aprendido nuevos conceptos y he ido viendo de una forma más clara conceptos adquiridos a lo largo de la carrera, me ha servido para formarme más.

### 6.2 Líneas futuras

Para llevarlo a cabo, se necesitaría más tiempo de investigación, como sería el de saber con exactitud que variación sería la considerada que el alimento no puede ser consumido.

Una posible forma de implementación según los resultados obtenidos, sería colocar en un sitio fijo la antena y la plataforma (donde se colocaría la carne a comprobar) a la altura estimada, ya que, se ha visto en la práctica que según la altura los resultados varían debido a la propagación multicamino. En los envases se situaría un tag haciendo contacto con la carne y el otro fuera. En cuanto a los tags, podrían utilizarse los mismos variando el grosor del substrato y estarían en la polarización alineada a la dirección de la antena, como se comentó en el punto anterior. La lectura realizada sería procesada por el ordenador y este obtendría la diferencia de potencia entre los tags. Para una mayor precisión en la lectura, es recomendable situar este sistema en una pequeña cámara anecoica para evitar los posibles rebotes causados por los objetos que hubiese alrededor.

## Conclusiones y líneas futuras

Otro punto a investigar sería la posibilidad de utilizar un sensor de humedad [5]. El tag que se colocara en contacto con la carne estaría cubierto por un papel absorbente de humedad, de manera que captaría la humedad del alimento. El alto nivel de humedad causa la desintonización de la antena, al irse degradando el alimento el nivel de humedad varía, y con ello el nivel de RSSI, de esta forma se conseguiría una diferencia de potencia respecto al tag que se colocara fuera. Sería otra forma de conseguir esta diferencia acompañando el cambio de permitividad con el de la humedad.

Si se llegara a aplicar en un futuro el método propuesto, completando la investigación necesaria para llevarlo a su fin, sería un gran avance en el sector alimentario.

## 7 Referencias

- [1] L.I. Luis Miguel Godínez González, “*RFID, Oportunidades y riesgos, su aplicación práctica*”, Alfaomega, 2008.
- [2] Alberto Urueña, Albert Sitjà, “*La tecnología RFID: Usos y oportunidades*”, 2009, pp.20, 28.
- [3] Observatorio Regional de la Sociedad de la Información, “*Tecnología de identificación por Radiofrecuencia*”, 2007, pp.61-64.
- [4] Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación, “*Guía sobre seguridad y privacidad de la tecnología RFID*”, Mayo 2010, pp.15-17.
- [5] Jinlan Gao, “*Antenna-Based Passive UHF RFID Sensor*”, Thesis for the degree of Doctor of Technology Sundsvall, 2013, pp. 8-9.
- [6] K.Y.Lee, B.K.Chung, Z. Abbas, Z., K. Y.You, E.M. Cheng, “*Amplitude-only measurements of a dual open ended coaxial sensor system for determination of complex permittivity of materials*”, Progress In Electromagnetics Research M, 2013, 28, pp. 27-39.
- [7] A.Kraszewski, M.A, Stuchly, S.S.Stuchly, “*ANA calibration method for measurements of dielectric properties*”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1983, 32(2), pp. 385-387.
- [8] F.M.Ghannouchi, R.G.Bosisio, Y. Demers, R.Guay, “*Computer aided measurement of dielectric properties of saline solutions using a six-port reflectometer*”, In Properties and Applications of Dielectric Materials. Proceedings IEEE Second International Conference on Properties and Applications of, Sept.1988, pp. 189-192.
- [9] P.Petong, R.Pottel, and U.Kaatze, “*Water-Ethanol Mixtures at Different Compositions and Temperatures. A Dielectric Relaxation Study*”, Journal of Physical Chemistry A, Aug 2000, Vol.104, No. 32, Aug 17, pp. 7420-7428.
- [10] Adriano Bigongiari, “*Ion R4300P UHF Long Range Reader with GPRS*”, 2012, pp.53.