



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Carlos Ignacio Valderrama Guerra

Diseño antena textil para aplicaciones de alto riesgo

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Electrónico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

Diseño antena textil para aplicaciones de alto riesgo

Carlos Ignacio Valderrama Guerra

Informe Final para optar al título de Ingeniero Civil Electrónico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Francisco Pizarro Torres

Profesor Guía

Sr. Ariel Leiva Lopez

Segundo Revisor

Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 27 de Febrero de 2017

Resumen

En el siguiente informe se presenta tanto el estudio de la literatura como los resultados obtenidos en el diseño y simulación de una antena a base materiales textiles capaces de operar montado en el cuerpo humano. El presente se divide en 3 Capítulos, en los cuales se pretende documentar aspectos relevantes que influyeron en el desarrollo de este proyecto.

El Capítulo 1 corresponde a una revisión bibliográfica del tema y una visión general del problema a enfrentar. Aspectos clave como formas de construcción y topologías existentes en la literatura del tema son expuestos. Además, se muestran aspectos clave a tomar en cuenta al momento de trabajar con textiles, y de cómo estos reaccionan ante las inclemencias del ambiente tales como humedad y contacto físico.

En el Capítulo 2 se presentan tanto un resumen de los pasos que se tomaron a lo largo de este proyecto, las herramientas que se utilizaron y además consideraciones técnicas relativas al diseño de antena monopolo circular que se pretende presentar, tales como la tasa de absorción específica y a forma de alimentación que se usó en el prototipo de antena.

Finalmente, en el Capítulo 3 se dan a conocer los resultados obtenidos de la simulación en HFSS de la antena propuesta. Diferentes resultados se presentan, ya sea variando los materiales de esta o flexionando la estructura de la antena para así tener una noción de como esta se comportaría en el mundo real. Además, se dan a conocer las mediciones de SAR, lo cual garantiza que el uso del dispositivo es seguro.

Palabras claves: Antenas, Electromagnetismo, Simulación, HFSS, Textiles, materiales Dieléctricos, Redes de área personal (PAN)

Abstract

In the following report it is presented both the study of the literature and the results obtained in the design and simulation of an antenna based textile materials capable of operating mounted on the human body. The present one is divided in 3 Chapters, in which it tries to document relevant aspects that influenced in the development of this project.

Chapter 1 corresponds to a bibliographical review of the topic and an overview of the problem to be faced. Key aspects such as forms of construction and existing topologies in the literature of the subject are exposed. It also shows key aspects to take into account when working with textiles, and how they react to the inclemency of the environment such as moisture and physical contact.

In Chapter 2 we present both a summary of the steps that were taken throughout this project, the tools that were used and also technical considerations regarding the design of circular monopole antenna to be presented, such as the specific absorption rate and form of feeding that was used in the prototype of antenna.

Finally in Chapter 3 it is presented the results obtained from the simulation in HFSS of the proposed antenna. Different kinds of results are shown, either by varying the materials of this or by flexing the structure of the antenna to have a notion of how it would behave in the real world. In addition, SAR measurements are made known, which ensures that the use of the device is safe.

Key words: Antennas, Electromagnetism, Simulation, HFSS, Textiles, Dielectric materials, Personal Area Networks

Índice general

Resumen	3
Abstract	4
Índice general.....	1
Introducción.....	1
1 Descripción del Problema.....	3
1.1 Antenas Textiles: materiales y técnicas de fabricación.....	4
1.1.1 Tipos de antenas portatiles.....	4
1.1.1.1 Antenas portatiles rigidas.....	4
1.1.1.2 Antenas portátiles flexibles	5
1.1.2 Técnicas de Fabricación	5
1.1.2.1 Laminas metálicas delgadas unidas a un textil flexible.....	5
1.1.2.2 Fibras de tela conductora tejidas sobre textil (Electro-Textiles)	6
1.1.2.3 Fibras conductoras bordadas	8
1.1.2.4 Pinturas conductoras: Inyección de tinta y “Screen Printed” Antenas.....	9
1.1.3 Eleccion de materiales	11
1.1.3.1 Material Elemento Radiante	11
1.2 Electro-Textiles.....	14
1.2.1 Superficie Electro-textil	14
1.2.1.1 Patrón de bordado	14
1.2.1.2 Densidad de las Fibras.....	15
1.2.1.3 Materiales no conductores.....	15
1.3 Materiales para sustrato	16
1.4 Factores externos	18
1.4.1 Humedad	18
1.4.2 Efecto del cuerpo humano: Acoplamiento electromagnético.....	20
1.4.3 Compresión y doblado sobre la antena.....	21
2 Diseño de Prototipo.....	24
2.1 Herramientas de Diseño.....	25

2.1.1 ANSYS HFSS: High Frequency Electromagnetic Field Simulation	25
2.2 Autodesk: Bonzai3d	26
2.3 Tecnología UWB	26
2.4 Topología antena a diseñar: Monopolo circular alimentado mediante CPW	27
2.5 Materiales Utilizados	30
2.5.1 Línea Coplanar (CPW).....	31
2.6 Tasa de absorción específica.....	32
3 Simulación y Resultados	33
3.1 Pruebas de Flexión.....	34
4 Discusión y conclusiones.....	47
Bibliografía.....	49

Introducción

En años recientes, las comunicaciones inalámbricas que operan en las cercanías del cuerpo humano, más conocidos como redes de área corporal (Wireless Body Area Network, WBAN) se han convertido a pasos agigantados en una herramienta fundamental, tanto para el quehacer cotidiano de las personas como en diversas labores de ámbito profesional. Es por esto que, con el objetivo de dar un apropiado soporte a la investigación en el campo de antenas y propagación para comunicaciones corporales se estableció el grupo de estandarización IEE 802.15 para la estandarización de aplicaciones diseñadas para operar ya sea en las proximidades del cuerpo humano (On-Body), en las inmediaciones del cuerpo (Off-Body) o incluso en el interior del cuerpo (In-Body) [1]. On-Body se refiere al link entre dispositivos montados sobre el cuerpo, Off-Body define los enlaces de radio entre dispositivos montados en el cuerpo y unidades base o dispositivos móviles ubicados en las cercanías (decenas de metros), mientras que In-Body se refiere a comunicaciones realizadas por ejemplo entre implantes médicos [2].

En específico, para el desarrollo de las aplicaciones descritas anteriormente, el diseño de antenas portátiles es una parte fundamental para el desarrollo de este tipo de funciones, las cuales deberán adaptarse a las diversas condiciones que se podrán ver expuestas. Es por esto que las antenas a base de materiales textiles muestran características que las hacen muy adecuadas para estas labores. Idealmente, las características de una antena permanecerían constantes cuando esta ópera en espacio libre como montado sobre el cuerpo humano, sin embargo, en la práctica esto no se da así [2]. Debido a fenómeno de acoplamiento magnético con objetos en el campo cercano de la antena, se producen alteraciones en sus características eléctricas, lo cual hace que un análisis solo en espacio libre no sea suficiente [3].

Comúnmente, para que una antena portátil pueda operar en una aplicación corporal se debe esperar que sea de peso ligero, bajo costo, preferentemente que requiera poca mantención y fácil instalación. Si se considera las labores del ámbito profesional que se esperaría operar, tales como paramédicos, bomberos o militares estas características serian lo minino esperable para una correcta operación, y es el motivo que el diseño de este tipo de antenas puede llegar a ser una tarea exigente. En cuanto al diseño de antenas en aplicaciones corporales, hay varios factores que se deben tomar en cuenta. Diversos experimentos demuestran que si el cuerpo bloquea la comunicación entre transmisor y receptor el nivel de señal se atenúa considerablemente [3]. También se ha demostrado que el comportamiento del canal de transmisión es muy diferente según exista visión directa entre las antenas o no (por ejemplo, si el cuerpo bloquea la transmisión) [3]. Además, a la atenuación debida al bloqueo del cuerpo, hay que sumarle otras

atenuaciones que sufre la señal debido a los desvanecimientos por propagación multicamino y a otros fenómenos de dispersión que se producen por su propagación por el entorno corporal [4]. Sumado a los obstáculos anteriores también se debe tener en cuenta la correcta elección de materiales, que juega un papel fundamental en el desempeño de la antena como se muestra a continuación.

Considerando factores anteriores, a continuación, se presenta el diseño y simulación de una antena textil con características UWB (Ultra Wide Band) la cual se pretende pueda operar en condiciones adversas, como se podría esperar en profesiones de alto riesgo. Diversas pruebas se hacen para comprobar su correcto funcionamiento, los cuales son presentados como resultado de la simulación del modelo generado.

Objetivos del proyecto

Objetivo General:

Diseño de antena tipo textil para aplicaciones en profesiones de riesgo (ej bomberos, Carabineros, operaciones de rescate)

Objetivos específicos:

Estudio de las características eléctricas de los distintos textiles que podrían ser usados como sustratos para la antena

Caracterización de las diversas problemáticas al trabajar con materiales textiles

Generar modelo de antena capaz de brindar servicios tales como WIFI, 4G (2.6 GHz), GSM(800 MHz y 1800 MHz)

Comprobación de antena mediante simulaciones de S11 y Ganancia (dB)

Probar funcionamiento (transmisión) del diseño ante diferentes condiciones de flexión sobre la estructura de antena

Medición de Tasa de Absorción Específica y verificar que el cumplimiento de normas mínimas de seguridad aplicadas usos del ámbito profesional.

1 Descripción del Problema

Las antenas portátiles suponen una revolución en las comunicaciones. Estas, debido a las cualidades que presentan, permiten su aplicación en entornos y funciones que hasta hace un par de años se consideraba difícil. Virtudes tales como la portabilidad, bajo costo y adaptabilidad son cualidades que permiten en la actualidad a estos dispositivos, brindar tanto a las personas como a la industria soluciones a problemáticas que antes eran imposibles.

En el mercado ya se han introducido varios tipos de sensores portátiles para el usuario común. Por ejemplo, se pueden encontrar diversas aplicaciones con sensores que miden parámetros fisiológicos con el propósito de dar esta información a gente común que gusta de ejercitarse, como también para ayudar en el campo de la medicina tanto para la rehabilitación como el diagnóstico de pacientes [5]. Siguiendo esta misma línea, también se pueden encontrar iniciativas como el proyecto integrado europeo PROETEX [6], en el cual se busca el desarrollo de diversos sistemas portátiles, que hacen uso de antenas textiles en prendas, con el propósito de dar soporte al trabajo de los servicios de emergencia y bomberos. En la Figura 1-1 se puede ver como una antena diseñada en este proyecto es integrada en la ropa, intercalada entre las capas de tela de las prendas protectoras. Dispositivos como estos pueden proveer al operador funciones tales como GPS y comunicación con alguna estación base.

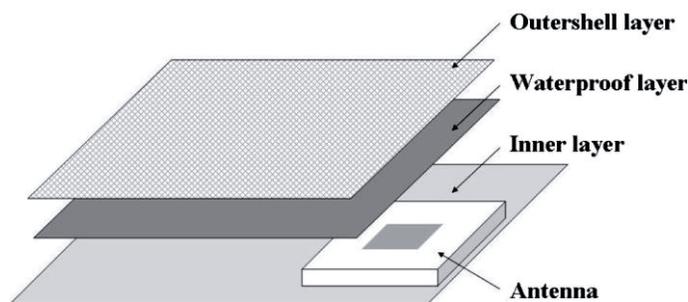


Figura 1-1 Prototipo antena diseñada en el proyecto PROETEX [6].

En los ejemplos anteriormente dados se dieron para mostrar primero, la versatilidad que de este tipo de aplicaciones y también, más importante aún, como esta virtud trae como consecuencia varios desafíos al momento de diseñar este tipo de dispositivos. En específico, la necesidad de operar en las cercanías del cuerpo humano, la necesidad de flexibilidad para adaptarse a la ropa, cambios ambientales y la correcta elección de materiales suponen una problemática no fácil de enfrentar. Con el objetivo de enfrentar estos problemas, a continuación, se presenta una revisión bibliográfica tanto de modos de enfrentar estos problemas como de tipos de antenas ya propuestos.

1.1 Antenas Textiles: materiales y técnicas de fabricación

1.1.1 Tipos de antenas portátiles

1.1.1.1 Antenas portátiles rígidas

El proceso de manufactura de este tipo de antenas se realiza por medio de técnicas convencionales de impresión o por medio de grabado. Estas antenas pueden, con el objetivo de ajustarse al cuerpo, ser miniaturizadas para así no incomodar al usuario. Además, debido a la naturaleza de su estructura, deben ser curvadas para así ajustarse al cuerpo [7]. En la Figura 1-2 se muestra una de estas antenas posicionada en la parte izquierda del tórax



Figura 1-2 Antena de 2.5 GHz tipo parche microstrip [8].

El uso de materiales textiles en este tipo de antenas es limitado. Debido a la rigidez en la estructura, el uso de estos materiales no se justifica, mientras se favorece el uso de láminas de metal delgadas.

1.1.1.2 Antenas portátiles flexibles

Al momento de fabricar una antena de este tipo, tanto la elección de la técnica de fabricación, la elección material para el sustrato y el elemento radiante son de vital importancia. El uso de textiles brinda muchas ventajas al constructor. Como se podría suponer, en general los materiales hechos de tela cuentan con una gran flexibilidad lo que los hace muy adecuados para adaptarse a distintas superficies. Además de la gran variedad de tipos de tela que se encuentran disponibles, el diseño de la antena puede ajustarse a variadas situaciones y obtener un buen desempeño, siempre y cuando se elija correctamente.

Aun cuando las ventajas son muchas, las incógnitas en el comportamiento de estos materiales, tanto en el ámbito eléctrico como a factores ambientales ajenos a la antena son variadas. Un material de tela, está fabricado por medio del bordado de fibras que pueden seguir distintos patrones y es precisamente esta característica que puede hacer difícil el trabajo con estos materiales. La intrincada estructura interna que tiene una tela, junto con una superficie irregular, llena de poros y protuberancias minúsculas hacen que el conocimiento exacto de las características eléctricas de estos materiales sea difícil. Saber exactamente las cualidades del material como la conductividad y permitividad no es una tarea fácil, más aun cuando estas pueden cambiar con la frecuencia que se está trabajando. Por otro lado, debido al ambiente de operación que se espera debido al objetivo de este proyecto, estas interrogantes pueden ser de aún más difícil respuesta. Como responderá eléctricamente la tela ante humedad, cambios de temperatura, o golpes son interrogantes que aunque han sido tratadas anteriormente no existe un criterio común de cómo enfrentarlas.

A continuación, se presenta un estudio de la tecnología existente de antenas flexibles fabricadas con materiales textiles, en el cual se trata de entregar respuestas a los problemas antes mencionados, cuyas soluciones se han planteado abiertamente en la literatura del tema.

1.1.2 Técnicas de Fabricación

Las formas de fabricación de este tipo de antenas se pueden dividir en 4 categorías las cuales se describen a continuación:

1.1.2.1 Láminas metálicas delgadas unidas a un textil flexible

Esta técnica es la más rápida y práctica cuando se trata de fabricar una pequeña cantidad de antenas, mientras que no es la más adecuada cuando se intenta fabricación en masa debido al intrincado trabajo manual que conlleva cada una. Por lo anterior, esta técnica es muy adecuada cuando se fabrican prototipos experimentales u otros similares.

Un aspecto importante a destacar, es las dificultades que se pueden encontrar al momento de integrar la antena al cuerpo humano usando esta técnica. Debido a factores como la humedad y el movimiento, la lámina metálica puede tender a despegarse del sustrato lo que representa un problema mayor. En la Figura 1-3 se puede ver un ejemplo de este problema. Se muestra una

antena parche con sustrato de fieltro con una lámina de cobre como superficie radiante, la cual se encuentra parcialmente desprendida debido a factores ambientales como la humedad.



Figura 1-3 Antena Parche Textil [8].

1.1.2.2 Fibras de tela conductora tejidas sobre textil (Electro-Textiles)

El uso de esta técnica requiere un tiempo mayor de construcción para cada antena individual, pero debido a la posibilidad de la automatización de los tejidos, este método es apto para la producción en masa. El uso de telas conductoras puede dar como resultado antenas mucho más flexibles y resistentes que sus contrapartes fabricadas con láminas metálicas. En esta categoría se incluye el uso de telas fabricadas mediante el uso de fibras metálicas, de las cuales se puede mencionar la denominada Nora Dell®, el cual es una tela conductora metálica tejida con fibras de níquel y plata los cuales proporcionan al textil con una resistividad muy baja, de alrededor de los 0.09 ohm/sq. En la Figura 1-4 se muestra una foto de este material.

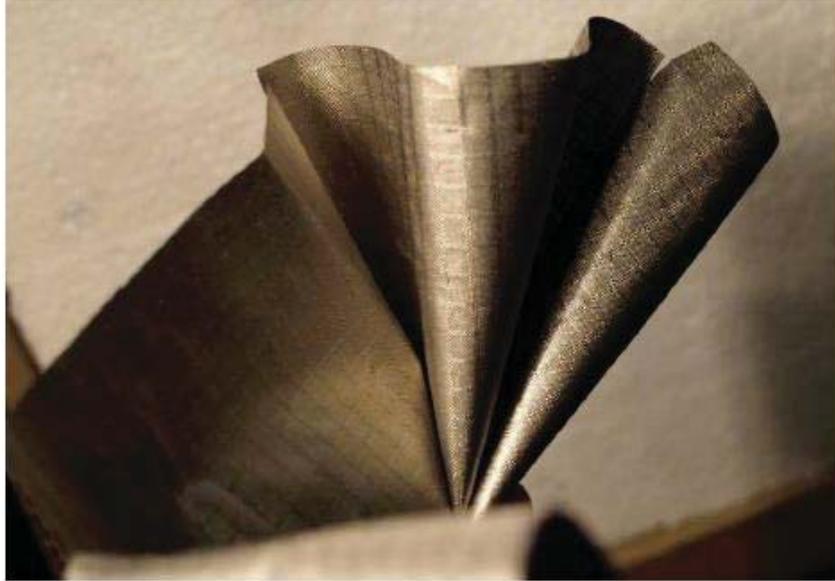


Figura 1-4 Tela conductora Nora Dell [8].

En la literatura sobre el tema, se pueden encontrar varios casos de antenas que hacen uso de este tipo de materiales. En [9] se presenta interesantes conclusiones sobre cómo realizar el pegado del textil conductor sobre el material del sustrato. Se fabricaron dos antenas usando dos métodos diferentes para el pegado de la tela conductora, hecha principalmente de cobre comercialmente conocida como Flectron sobre un sustrato hecho de lana (Figura 1-5).

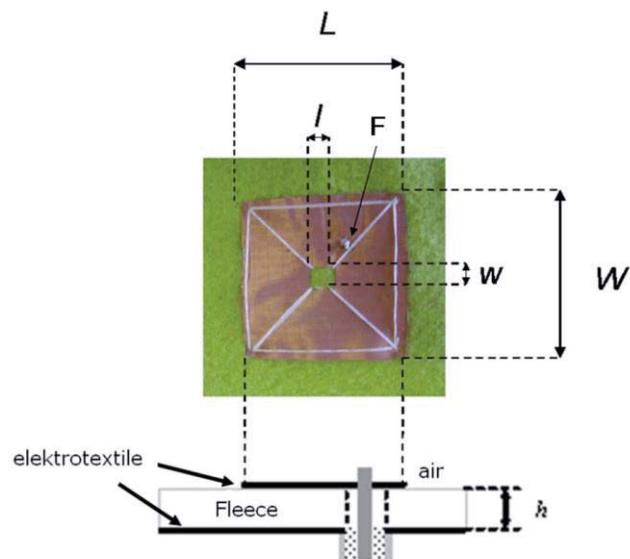


Figura 1-5 Antena textil rectangular-anillo [9].

De estas dos telas, en la primera antena se unieron usando tanto un pegamento entre ellas como fibras delgadas no conductoras cosidas para aumentar la robustez de la antena. En la segunda antena, las dos capas se unieron usando una tela adhesiva entre ellas, la cual se derretía al aplicar calor. Se concluyó que el primer método de pegado es mejor en función de los resultados mostrados tanto en los coeficientes de reflexión y banda de ancha.

1.1.2.3 Fibras conductoras bordadas

Tradicionalmente el bordado de fibras se usa para las distintas prendas que se usan diariamente. Aunque en sus principios era una labor casi enteramente manual, desde ya hace tiempo que por medio de la automatización, en estas tareas se puede ahorrar tiempo y dinero.

Usando estas mismas técnicas, pero usando esta vez fibras conductoras, diferentes tipos de antenas pueden ser fabricadas, ya sea bordando la forma de esta sobre algún sustrato textil o fabricando una tela conductora (Electro-textiles) la cual es posteriormente adherida a algún sustrato. En la Figura 1-6 se muestra una máquina para bordar que es capaz de fabricar distintos textiles mediante el uso de fibras conductoras.



Figura 1-6 Máquina para bordar computarizada (Universidad de Loughborough) [8]

Entre los principales retos que se enfrentan al diseñar una antena por medio de esta técnica se pueden mencionar [10]: la apropiada selección de la fibra conductora en función de su conductividad, la resistencia de la fibra y su comportamiento al ser bordada de forma que se aproxime a una superficie continua tomando en cuenta el rendimiento de antena [10] y la influencia en la dirección de los puntos del bordado y su densidad. Estos puntos se tratarán más en profundidad más adelante cuando se trate los Electro-textiles. En la Figura 1-7 se muestra una antena espiral bordada por una máquina de tejer sobre un sustrato textil



Figura 1-7 Antena bordada de forma espiral [8].

1.1.2.4 Pinturas conductoras: Inyección de tinta y “Screen Printed” Antenas

El uso de pinturas con propiedades conductoras ha sido usado anteriormente para la fabricación en el elemento radiante en antenas [11]. Clásicamente los materiales usados para sustratos son el papel o el Kapton, mientras que los textiles se consideran no aptos para la aplicación de este tipo de técnica. La técnica de “Screen Printed” consiste en el uso de una “máscara” la cual sirve como molde, la cual al momento del pintado deja la forma deseada en el sustrato. Este procedimiento requiere una máscara para cada forma que se requiera pintar, por lo que no es tan práctica en el caso que se requiera fabricar más de un tipo de antena. En la Figura 1-8 se muestra un ejemplo de antena impresa por medio de esta técnica.



Figura 1-8 Antena fabricada con el método de “Screen Printed” [11].

Por otro lado, se tiene el método de inyección de tinta, en la cual no se requiere de una máscara para la aplicación de la pintura. En este caso el pintado se realiza mediante una impresora especializada (Figura 1-9) para la tarea, la cual impregna el sustrato elegido con la tinta

conductora. Este método da al diseñador la capacidad de poder llevar a cabo un diseño en muy poco tiempo.



Figura 1-9 Impresora usada para la fabricación de antenas con el método de inyección de tinta [12]

Típicamente, el material más común para impregnar el sustrato es una solución de nano partículas de plata, el cual es usado para formar delgadas líneas conductoras de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ de grosor y es precisamente esta característica que hace la aplicación de estas pinturas sobre superficies no regulares, tales como las de los textiles, muy difíciles. Además, los poros que naturalmente tienen los textiles debido al bordado, hacen que la superficie pintada tienda a no ser continua. Otros retos al aplicar esta técnica son como adaptar la antena para que tenga una robustez que le permita soportar el continuo uso, lo que significa constante presión y fuerzas aplicadas sobre esta al igual de su resistencia ante los cambios de temperatura y el lavado.

Una posible a estos problemas se presenta en [13], en el cual se hace uso de una capa previa de interface sobre el textil (Figura 1-10), lo cual provee de una superficie continua sobre la cual trabajar y que a la ves da robustez al dispositivo.

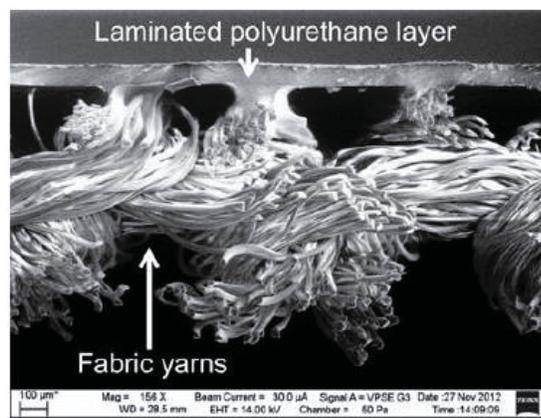


Figura 1-10 Sección transversal de fibra textil con tratamiento previo [13].

Esta técnica fue usada exitosamente para la fabricación de dipolos, en las que se demostró que en el uso de una sola capa se logran buenos resultados en cuanto a la eficiencia de la antena. En la Figura 1-9 se muestra el prototipo diseñado.

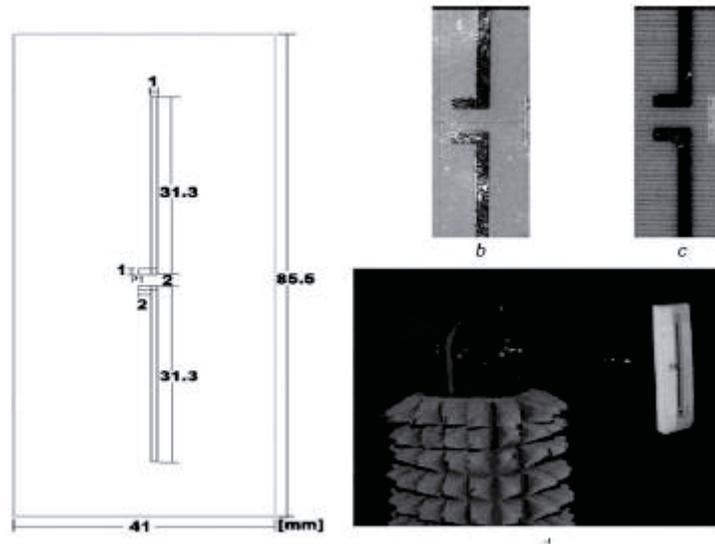


Figura 1-11 Dipolo sobre textil, Dimensiones; Prototipo; Pruebas en cámara anecoica [13].

1.1.3 Elección de materiales

La correcta elección de los materiales a usar en el diseño de una antena es de vital importancia, al igual que el proceso de manufactura que se usara. Teniendo en cuenta que el objetivo del diseño de la antena textil de este proyecto, tiene como principal objetivo que esta pueda ser integrada a la ropa en condiciones extremas, estos 2 factores deberían garantizar una similitud entre las características de diseño teóricas y lo que resulta en la vida real, además de garantizar una robustez que brinde al producto final, la capacidad de resistir tanto maltratos físicos como las condiciones ambientales.

1.1.3.1 Material Elemento Radiante

Los materiales textiles brindan una magnífica opción en esta situación, pero a la vez dan cabida a varias interrogantes acerca de tipo de uso que se les puede dar y de cómo utilizarlas para sacar provecho de sus características. En [14] se enumeran las principales características se esperarían de una tela conductora:

- Baja y estable resistencia eléctrica ($\leq 1\Omega/\text{sq}$) con el fin de minimizar pérdidas
- La resistencia de la tela debe ser homogénea en toda su área.
- Deberá ser flexible con el fin que pueda ser deformada
- Algún grado de elasticidad para soportar el movimiento

También en [14] se recomienda el uso de láminas de cobre, principalmente por las características eléctricas que estas ofrecen. Sin embargo, estas láminas no tienen la suficiente elasticidad para resistir el continuo movimiento que se verían expuestos al ser integrado en la ropa. Por esto es que se presentan 3 diferentes tipos de telas conductoras:

- Tela sin identificar bordada con fibras recubiertas de níquel [14]: A pesar que las propiedades conductoras del níquel son excelentes, debido al proceso de fabricación, en que el recubrimiento se aplica después que las fibras son bordadas, la tela da malos resultados en cuanto a su conductividad. En la Figura 1-12 se puede ver como las fibras, debido al proceso de fabricación, no cuentan con una superficie conductora constante.

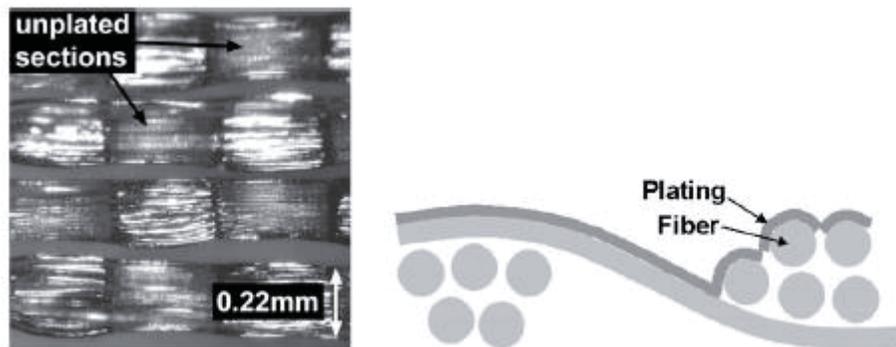


Figura 1-12 Resultado del recubrimiento de fibras luego del bordado [14].

- Tela bordada con fibras recubiertas con plata [14]: En general, este tipo de telas cumplen con casi todos los requisitos, excepto una resistencia homogénea en su superficie. Al someter la tela a una prueba de estiramiento, tanto en los ejes X como Y, esta demostró que su resistencia no se mantenía constante, especialmente en dirección al eje X. En la Figura 1-11 se ve el grafico de las pruebas de estiramiento sobre la tela. Se puede ver como al aumentar la fuerza en dirección del eje X, la resistencia aumento considerablemente.

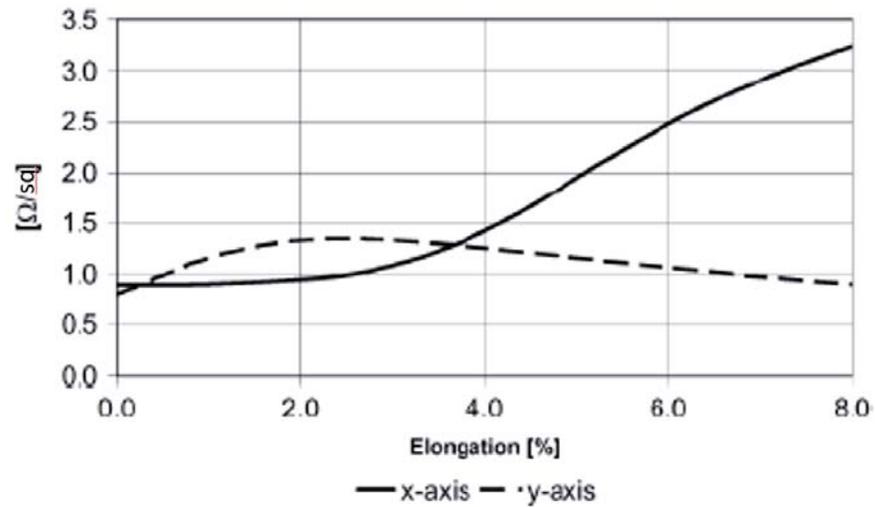


Figura 1-13 Pruebas de estiramiento tela bordada de plata [14].

Tela bordada con fibras de cobre-níquel-plata: Este tipo de material presenta una baja elasticidad comparado con los otros 2 ejemplos. En cuanto a las propiedades eléctricas que ofrece, en comparación con el primer ejemplo, el desempeño en esta es excelente. A diferencia de la primera tela nombrada, en esta tela las fibras son recubiertas antes del proceso de bordado, lo cual brinda una conductividad excelente. En la Figura 1-14 se puede ver la uniformidad que se logra en la superficie de este tipo de tela.

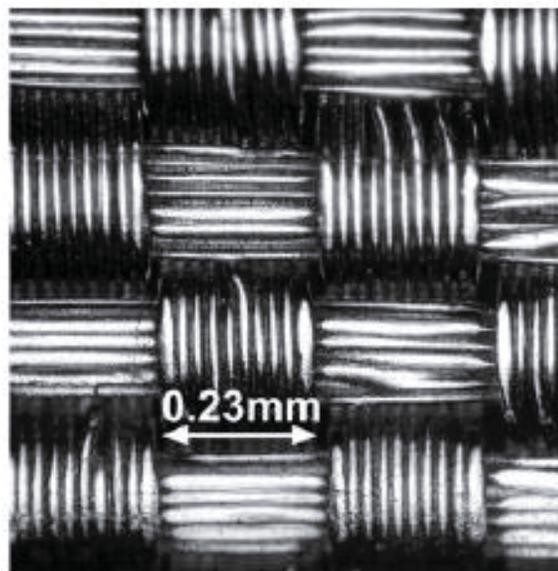


Figura 1-14 Tela con fibras recubiertas de cobre-níquel-plata (Nora dell) [14].

Una vez que se tiene claro las propiedades del material conductor, el paso siguiente es preguntarse cómo esta sección ira integrada en la ropa. Para esto se necesita una superficie estable la cual le dará a la antena la robustez necesaria para su funcionamiento. Las técnicas para

hacer esto son varias, por lo que algún conocimiento acerca de estas técnicas de fabricación es necesario.

1.2 Electro-Textiles

En la sección anterior presentaron diversas técnicas de fabricación en el campo de las antenas textiles en las cuales se vio que, en el uso de materiales de tela, existen variadas técnicas y formas de aplicarlas. En general, se le denomina electro-textiles a telas que tienen propiedades que les permiten, en menor o mayor medida la conducción de electricidad. Esto se logra interpolando fibras conductoras hechas de metal o polímero con fibras de tela normales. También existen casos de electro textiles fabricados enteramente de materiales conductores.

El uso de fibras metálicas en la ropa no es un concepto nuevo, pero el aprovechamiento de sus propiedades conductoras si lo es.

Se pueden mencionar 3 diferentes técnicas usadas para la fabricación de este tipo de fibras [15].

1. Relleno de las fibras con partículas de carbón o metal
2. Recubrimiento de fibras de tela con polímeros o metales conductores.
3. Uso de fibras de material completamente conductor

Según [15] , aun cuando existen otras, en términos de la conductividad del producto final, estas técnicas recién mencionadas son las mejores.

1.2.1 Superficie Electro-textil

1.2.1.1 Patrón de bordado

Un aspecto importante a la hora de medir las propiedades eléctricas de un electro-textil, es el tipo de bordado que se usó para su fabricación. En la Figura 1-15 se muestran los patrones de bordado usados, de los cuales se determina cual es más eficiente en términos de conductividad

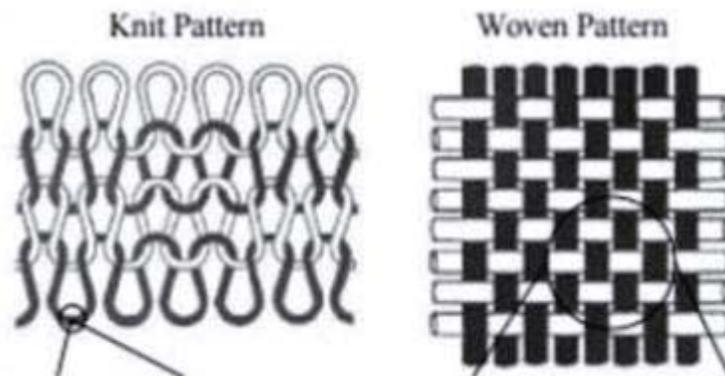


Figura 1-15 Patrones de tejido estudiados [15].

Los resultados que se presentan son relativamente fáciles de interpretar. Se postula que el “Woven Pattern” es mejor debido a la estructura simple con que cuenta, lo que le da a la corriente circulante un camino mucho más simple que su contraparte, lo que genera menos pérdidas. Aún más, si la dirección de la corriente va en el mismo sentido que el del bordado, la eficiencia será aún mejor.

1.2.1.2 Densidad de las Fibras

En [15] se mide tanto la conductividad (S/m) como la resistencia de superficie (Ω/m) de telas fabricadas con fibras de cobre cubiertas con plata con diferentes densidades (ppi). Estos resultados se presentan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Resultados efecto densidad del bordado de un textil [15]

Densidad Bordado (ppi)	Rs(Ω/m)	Conductividad (S/m)
20	0.197	$1.2 \cdot 10^6$
40	0.163	$1.7 \cdot 10^6$
51	0.132	$2.6 \cdot 10^6$
75	0.095	$5.0 \cdot 10^6$

Como se puede apreciar en la Tabla 1-1, con el aumento de la densidad se experimenta una disminución en la resistencia superficial, mientras que la conductividad tiende a aumentar. Esto se debe al hecho que, debido a que las telas bordadas cuentan con una superficie intrincada de hilos conductores, estos ofrecen a la corriente circulante una trayectoria mucho más difícil comparado con un conductor lineal equivalente, lo cual genera en la tela, una resistividad mucho mayor. Viendo esto de otra forma, al aumentar progresivamente la densidad del bordado, la superficie de la tela se va aproximando cada vez más a una superficie continua, lo que se traduce un mejor valor de conductividad, el cual tendería a converger en el valor de un bloque sólido equivalente.

Se debe hacer mención también que aun cuando con el incremento de la densidad se obtienen mejores resultados, los costos del material también aumentan. Es por esto que se debe encontrar un compromiso en estos dos factores.

1.2.1.3 Materiales no conductores

En [16] se realizan pruebas para determinar el efecto que tienen las fibras no conductoras cuando estas forman parte de una tela conductora. Se probaron 4 diferentes tipos de configuraciones las cuales se muestran en la Figura 1-16.

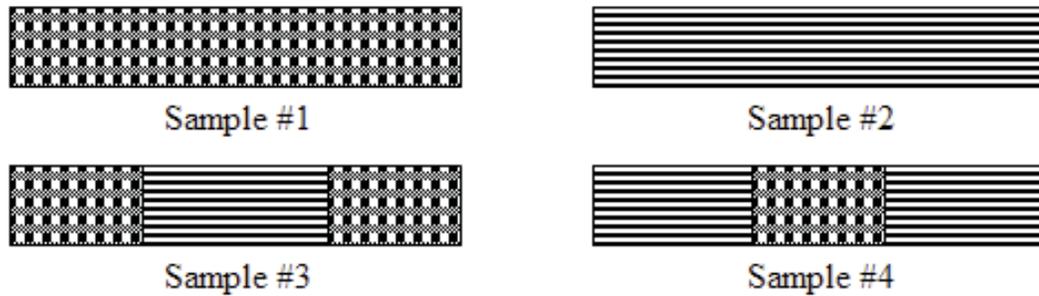


Figura 1-16 Prueba de fibras no conductoras [16].

En Sample #1 (Muestra 1) se exhibe una tela que consta de fibras de algodón (verticales) entrelazadas con fibras de metal (horizontales). Sample #2 (Muestra 2) es una tela con solo fibras conductoras (horizontales). Sample #3 (Muestra 3) consta de fibras conductoras entrelazadas con fibra no conductora en los extremos, mientras que en centro cuenta con solo fibras conductoras (horizontales). Por último, la Sample #4 (Muestra 4) tiene en los extremos solo fibras conductoras (horizontales) mientras que en su parte central consta de fibras conductoras entrelazadas con fibra no conductora.

Se concluyó que, al tratar de medir la conducción de un material, no solamente las fibras conductoras afectan este rendimiento, sino que también las fibras no conductoras que integran el tejido. En este caso se probó que las fibras de algodón, debido al campo eléctrico que guardan estas fibras, estas introducen pérdidas dieléctricas, que se traducen en generación de calor [16].

1.3 Materiales para sustrato

La elección del material que estará fabricado el sustrato de la antena portátil es de vital importancia, es por eso que es primordial tener claro que características son beneficiosas para obtener un buen desempeño. En [8] se nombran algunas de las principales características que se deberían buscar en un material candidato para ser usado con estos fines.

- Un buen material debe tener bajas pérdidas, con lo cual se logra aumentar la eficiencia de la antena cuando esta se encuentre cerca del cuerpo humano[8].
- Para antenas portátiles, la flexibilidad también es algo que se debe buscar, de modo que la adaptación al cuerpo humano sea más fácil[8].
- Una baja permitividad también es ideal, debido a que esto permite obtener antenas con una ganancia mayor y una alta eficiencia [8].
- El ancho de la tela, el cual tiene gran influencia en el ancho de banda de la antena. Además, como la permitividad de las telas es casi idéntico, este parámetro determinara esta característica casi por si sola [8].

Propiedades elásticas: La mayoría de las telas son inelásticas. Las que lo son, comúnmente son fabricadas por medio del tejido de fibras elásticas en la tela. En general cuanto más elástica es la

tela, más problemas se pueden presentar, debido que al estirar una fibra conductora la permitividad y el grosor de esta varían, generando cambios en la frecuencia de la antena. Además, se hace difícil la adhesión de otros materiales sobre la tela.

En la literatura se proponen variados materiales que pueden cumplir la función de sustrato, a continuación, se describen algunos de ellos:

- Felt: Tela sintética hecha a partir de fibras de poliéster. Posee una textura suave y blanda que le brinda su mayor desventaja: Puede ser fácilmente comprimido. Absorbe agua con facilidad, pero cuenta con un secado rápido (Figura 1-17)



Figura 1-17 Felt (fuente: <http://www.google.com>)

Fleece (Polar): Tela sintética compuesta de fibras de polyester. Muy suave y cómoda en contacto a la piel. Cuenta con el suficiente ancho para fabricar un sustrato de ancho considerable. Su baja permitividad es su mayor virtud, que puede brindar una gran ganancia y eficiencia

Delinova 200: tela tejida con fibras de cordura, la cual es una fibra de polímero hecha de nylon y membrana de Gore-Tex. Buena resistencia al agua y muy resistente mecánicamente. Su principal virtud es que es extremadamente delgada, lo que dificulta fabricar un sustrato con suficiente altura.

Denim (Mezclilla): Tela bordada principalmente con fibras de algodón. Comparado con el resto de materiales. Posee una buena resistencia mecánica y facilidad para crear sustratos de buena altura. Su principal debilidad es el contacto a la humedad.

Polystyrene foam: Espuma de poliestileno. Su mejor característica es su baja permitividad. Cuenta con una superficie blanda y suave, que puede ofrecer al usuario de protección extra. Se deforma fácilmente, variando su ancho lo cual no es una característica positiva.

Tabla 1-2 Cuadro Comparativo materiales aptos para sustrato [17], [18]

Material	ϵ_r	Humedad	Elasticidad	Ancho Constante	Resistencia
Felt	1.38	✗	✓	✓	✓
Delinova 200	1.98	✓	✗	✓	✓
Fleece	1.17	✗	✓	✓	✓
Denim	1.4	✗	✓	✓	✓
Polystyrene foam	1.02	✓	✓	✗	✗

1.4 Factores externos

1.4.1 Humedad

Diseñar la antena textil para que soporte diversos factores ambientales es fundamental. Entre todos los posibles que se pueden presentar, la humedad puede llegar a ser el factor que más afecta en el desempeño de la antena, debido que esta altera las propiedades electromagnéticas de los materiales expuestos[18]. Los materiales textiles cuentan con numerosas cavidades de aire las cuales permiten una gran absorción de agua. Tomando en cuenta que la permitividad relativa (ϵ_r) típica de un material textil ronda los valores de entre 1 y 2 mientras que el agua cuenta con una permitividad relativa de 78 y pérdidas tangenciales de 0.15 a 2.45 GHz es de esperar que esta afecte las propiedades del material [18].

En [19] se realiza un experimento, en el cual se usan cinco diferentes tipos de materiales, los cuales son usados como sustrato en antenas tipo parche microstrip, que posteriormente son expuestas a diferentes niveles de humedad. Para cuantificar el grado en que un material es afectado por esta, se definió la denominada “Moisture Regain” (MS) [%], la cual se define como la cantidad de humedad presente en el material después de 24 hr de la exposición en condiciones normales (20°C y 65 % de humedad relativa ambiental) comparado con su estado en seco [18]:

$$MR[\%] = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso en seco}}{\text{Peso en seco}} \cdot 100 \quad (1-1)$$

Los materiales puestos a prueba se presentan en la Tabla 1-3

Tabla 1-3 Materiales de prueba

	Material	Tipo	Densidad (g/m^2)	MR (%)	ϵ_r	$\tan \delta$	h(mm)
NAT1	Algodón(Jeans)	Sarga ¹	485	7.33	1.71	0.020	1.090
NAT2	Flax, Algodon	Plano-liso	250	8.02	1.70	0.020	0.858
NATSYN	Algodón, Polyamide	Sarga1	244	5.68	2.00	0.020	0.400
SYN	Polyethylene Terephthalate (PET)	Lana	294	0.95	1.15	0.00	2.060
FOAM	Polyurethane	Espuma flexible	523	1.99	1.25	0.001	3.500

En específico, la medición de como la humedad afecta al funcionamiento de las antenas se realizó en función del coeficiente de reflexión (return loss). Las antenas diseñadas para estas pruebas se hicieron para transmitir en la banda ISM 2.45 GHz. Al observar el corrimiento de esta frecuencia de resonancia, se pueden sacar conclusiones acerca del desempeño de la antena. Se debe tener presente que la frecuencia de resonancia está relacionada con la permitividad relativa del sustrato, mientras que el ancho del peak está asociado con las pérdidas tangenciales del mismo.

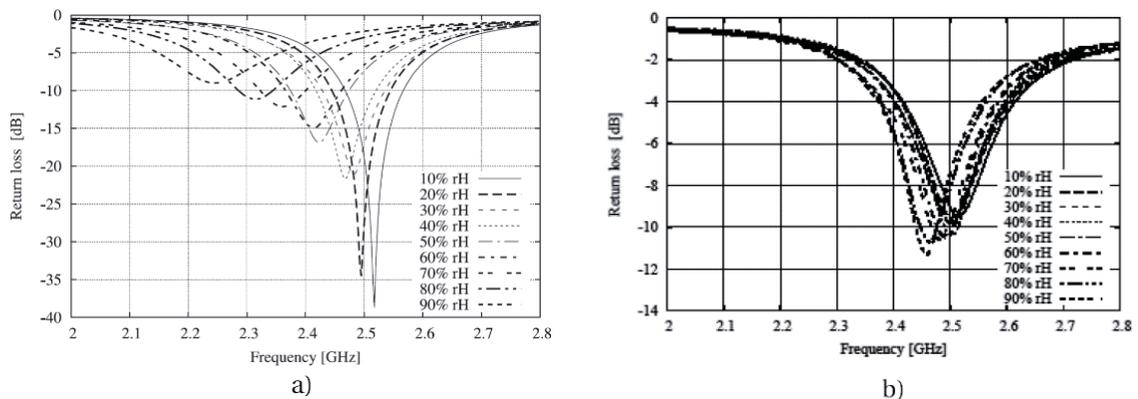


Figura 1-18 a) Simulación |S11| para antena con sustrato de NAT1 b) Simulación |S11| para antena con sustrato de FOAM (material Espuma) [18] .

¹ Tejido que cuenta con un patrón en forma de líneas diagonales

En general se pudo observar una disminución en la frecuencia de resonancia a medida que la humedad relativa en la antena aumentaba, sugiriendo esto que la permitividad relativa del material aumenta por igual. Como se podía predecir, los materiales que tenían un alto MR tuvieron los peores resultados. En la Figura 1-18 a), se puede apreciar el grafico del S11 del material NAT1 el cual sufrió una notable bajada en la frecuencia de resonancia. Por otro lado, en la Figura 1-18 b), en donde se muestra el grafico de S11 del material FOAM (Espuma Flexible), la variación en la frecuencia de resonancia fue considerablemente menor que en el caso anterior.

1.4.2 Efecto del cuerpo humano: Acoplamiento electromagnético

Cuando una antena funciona cerca del cuerpo humano, que es un caso que se puede dar frecuentemente en una red de área corporal (BAN), se produce un efecto de acoplamiento electromagnético entre ambos, que puede llegar a cambiar drásticamente las propiedades eléctricas de la antena. A cuál grado puede llegar este cambio, depende principalmente del tipo de antena que se está usando, las distancia respecto al cuerpo y la permitividad del tejido de cuerpo presente.

En [20] se investiga el efecto que tiene el cuerpo humano sobre una antena anular de tela, la cual trabaja entre los 4 GHz y 9 GHz. Cabe mencionar que esta no posee un plano a tierra. Además, se puso a prueba una antena SkyCross SMT-3TO10M-A, la cual se puede adquirir comercialmente. Para medir el efecto que tiene el cuerpo sobre el funcionamiento de las antenas, se procedió a la medición del coeficiente de reflexión a distintas distancias. Los resultados de estas pruebas se pueden ver en la Figura 1-19.

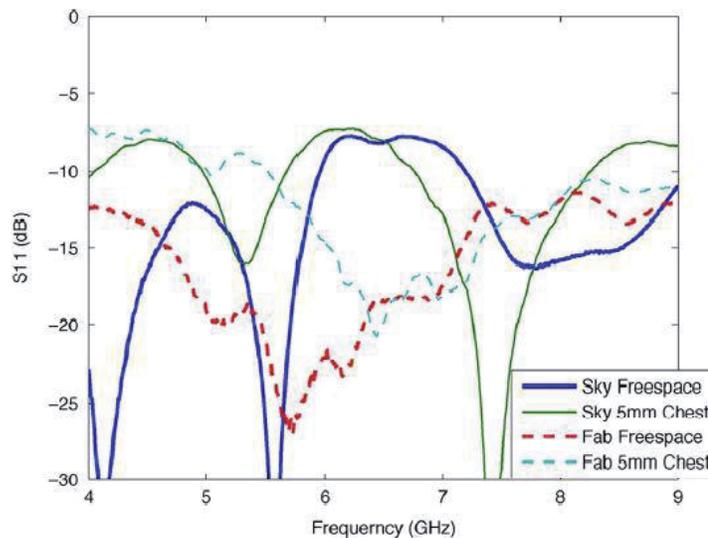


Figura 1-19 Variación del coeficiente de reflexión en las 2 antenas puestas a prueba [20]

El detalle de los resultados de esta prueba se muestra en la Figura 1-19 donde se dan los resultados a espacio libre como en las cercanías del cuerpo.

Tabla 1-4 Resultados medición coeficiente de reflexión en la cercanía del cuerpo humano (Pecho)

ΔS (mm)	SkyCross Antenna		Antena Anular	
	S11>-10dB	Promedio(dB)	S11>-10dB	Promedio(dB)
Free Space	24.8	-11.5	0	-15.4
0	74.3	-6.7	33.9	-12.7
5	40.7	-11.3	28.9	-11.7
10	38.7	-11.4	30.7	-11.6
15	29.9	-11	24.5	-11.6
20	67.0	-10	14.0	-12.8

Tanto de la Tabla 1-4 y la se pueden sacar interesantes conclusiones. Entre las variaciones más notables se puede destacar el cambio en la frecuencia de resonancia y el aumento en los coeficientes de reflexión. En ambas antenas, a la distancia de 0 mm de lograron los peores resultados, los valores de S11 mayores de -10 dB aumentaron considerablemente, lo que se traduce en una pobre transmisión de potencia por parte de las antenas.

La solución que se da a esta problemática es el uso de un plano a tierra para las antenas, la cual permite bloquear los lóbulos traseros y evitando que el cuerpo absorba esta radiación. De esta forma, además de evitar los cambios en las características de la antena, el diseñador solo se preocupa de la interacción con esta aislación, lo cual es una tarea mucho más sencillo

1.4.3 Compresión y doblado sobre la antena

Debido al continuo movimiento que una antena integrada a la ropa ve expuesta, es lógico considerar que esta se verá expuesta a algún grado de compresión, además de fuerzas que la obligaran a doblar su estructura longitudinalmente.

En [21] se estudian estos casos sobre una antena tipo parche, la cual se diseñó para su integración ropa protectora usadas por bomberos. En la Figura 1-20 se muestra la antena junto con sus dimensiones.

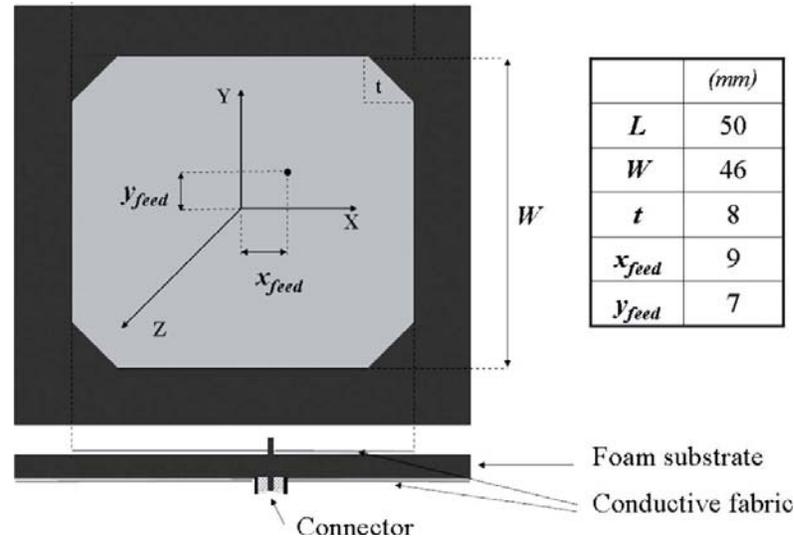


Figura 1-20 Antena parche [21].

Para esta antena se utilizó un material llamado “Shieldit Super” para el parche y FlecTron para el plano a tierra. El primero, debido a que cuenta desde fábrica con una superficie adhesiva que la hace especialmente apta para lograr una buena sujeción al sustrato, además de buenas propiedades conductoras. El segundo material se eligió debido a que permite soldaduras a altas temperaturas. Para el sustrato se usó un tipo de espuma, que por sus propiedades absorbentes sirve naturalmente como protección al usuario y además muestra una gran resiliencia. Las pruebas de compresión dieron los resultados mostrados en la Figura 1-21.

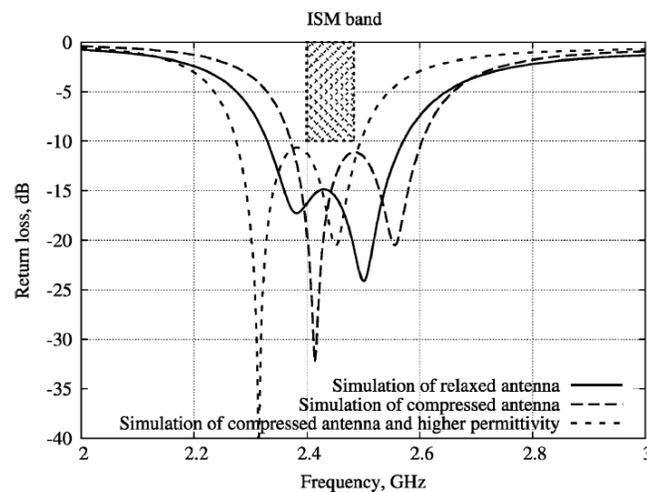


Figura 1-21 Resultados Coeficiente de reflexión ante compresión de la antena [21].

En esta prueba, al verse el espesor del sustrato reducido, la permitividad del material aumenta, debido a que menos aire es contenido en este, lo que produce un aumento en la frecuencia de resonancia de la antena.

De igual forma en [21], se pone a prueba la antena ante la situación que toda la estructura se vea deformada, como, por ejemplo, en el caso que se deba doblar para así adaptarse a alguna parte del cuerpo. En la Figura 1-22 se muestran los resultados del curvado de la antena, tanto en la dirección del eje X como del eje Y.

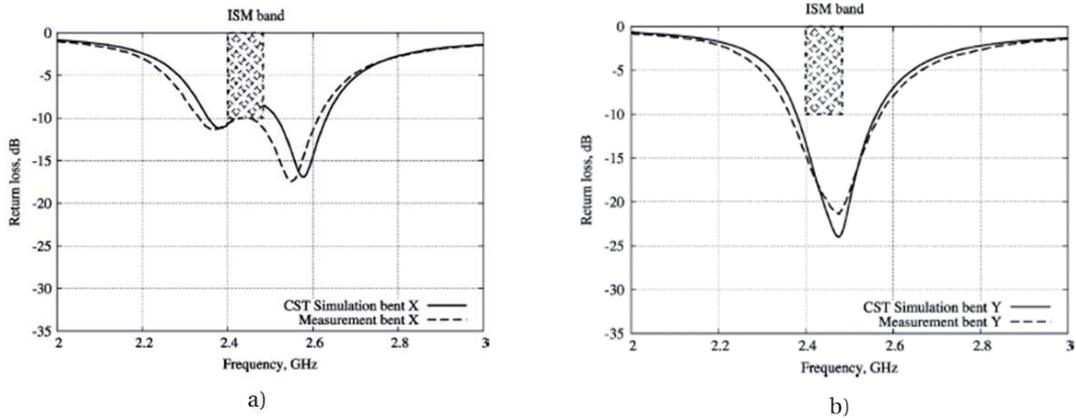


Figura 1-22 a) Flexión de antena en dirección eje X b) Flexión de antena en dirección eje Y [21].

Independiente de la dirección de curvado, en este caso se observa (aunque mucho más claro en el eje x) que en ambos casos la frecuencia de resonancia tiende a bajar su frecuencia, generando que el ancho de banda de la antena se vuelva cada vez reducido. Es por esto que, para mitigar este efecto se aconseja en el diseño, obtener el ancho de banda más grande posible.

2 Diseño de Prototipo

En cada vez más áreas de la ingeniería y ciencia en general, se pueden ver que el uso de dispositivos portátiles (redes corporales inalámbricas) se hace cada vez más común. Dependiendo de la aplicación, se pueden esperar diferentes requerimientos para un exitoso uso: por ejemplo, en aplicaciones militares y de seguridad asegurar un rango apropiado del enlace junto con su confiabilidad es vital, mientras que para aplicaciones civiles de uso cotidiano y/o de entreteniendo, el rango se puede esperar que sea más corto, pero se espera un tráfico de datos mucho más alto [22]. Todos los requerimientos antes mencionados tienen un común denominador: necesitan de una antena que sea eficiente al momento de irradiar, y que a la vez tome en cuenta el medio ambiente que opera, el cual puede introducir importantes pérdidas. En específico, para un sistema pensado para ser portátil, la eficiencia de la antena tendrá un efecto directo en el consumo de potencia del sistema y por lo tanto el tiempo de duración de las baterías.

Tomando en cuenta lo anterior, en la siguiente sección se presentarán las herramientas y líneas generales usadas para el diseño de antena textil capaz de operar, tanto en las cercanías del cuerpo humano como también mantener sus características mientras su estructura es doblada, cualidad que se espera para poder adaptarse a la ropa. En la Figura 2-1 se muestra el proceso de diseño que se llevó a cabo en este proyecto.

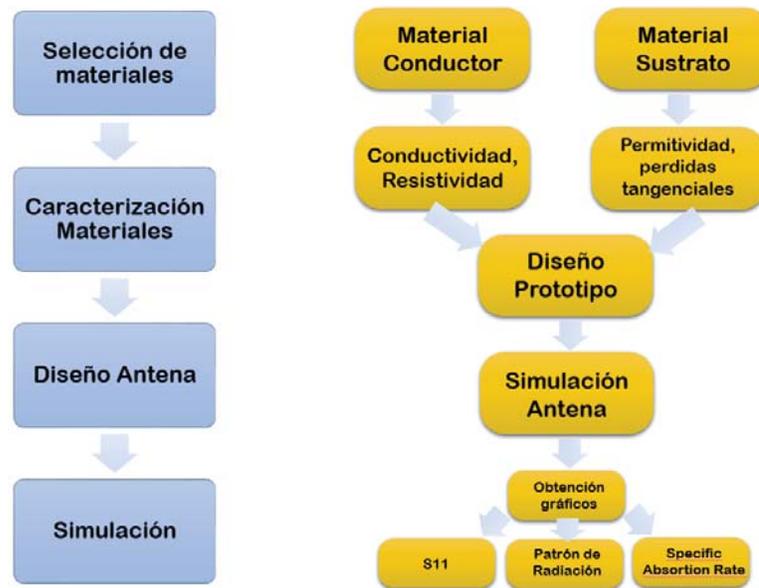


Figura 2-1 Proceso de diseño antena

A continuación, se presentan tanto las herramientas que se usaron a lo largo de este proyecto, y más importante aún, el tipo de topología que se eligió para la antena diseñada.

2.1 Herramientas de Diseño

2.1.1 ANSYS HFSS: High Frequency Electromagnetic Field Simulation

HFSS (High Frequency Structure System) es un software de alto rendimiento para el diseño, modelación y simulación de estructuras en 3D creado para altas frecuencias. Permite el estudio electromagnético de modelos a través del método de elementos finitos y mallas adaptativas, facilitando además la visualización del comportamiento de las ondas electromagnéticas por medio de herramientas interactivas y dinámicas. HFSS es una herramienta útil para resolver sistemas de estructura compleja que son difíciles o imposibles de modelar considerando métodos puramente algebraicos. Se utiliza por lo tanto para la creación de prototipos virtuales de guías de onda, conectores, filtros, chip, integradores de señal entre muchos otros. [23]

2.2 Autodesys: Bonzai3d

Bonzai3d es un programa desarrollado por AutoDesSys, que permite modelar de manera fácil y simple. El objetivo es ofrecer a las etapas conceptuales y bocetos de diseño, pero con modelos CAD precisos que se pueden utilizar al final de la línea de producción, tales como planos de construcción, renders, animaciones, fabricación, prototipado rápido con la impresión 3D, o con cualquier aplicación que depende de una buena limpieza de sólidos modelos 3D. Para este proyecto este software se utilizó para generar los modelos de la antena doblada para su posterior simulación en HFSS.

2.3 Tecnología UWB

Ultra Wideband (UWB) es un estándar inalámbrico para la transmisión de datos en forma digital, sobre un espectro ensanchado en bandas de frecuencias con muy baja potencia. Con esto se puede obtener una alta tasa de transferencia para aplicaciones de redes inalámbricas de área local. UWB no puede llevar solamente cantidades enormes de datos sobre una distancia corta con energía muy baja, sino también tiene la capacidad de llevar señales a través de obstáculos que tienden a reflejar señales en anchos de banda más limitados y una energía más alta. [24]

Por otro lado, surgen múltiples aplicaciones como sistemas de radar que utilizan estas tecnologías y que se podrán aplicar a situaciones de rescate, incendios o desastres naturales. Las mejoras que proporciona esta tecnología implicarán que tecnologías actualmente utilizadas como es el caso del Bluetooth desaparezcan y den paso a UWB, o en su caso, adoptar el estándar UWB para mejorar su producto. Además, los puertos Fire Wire y USB también corren el riesgo de verse afectados debido a la comodidad que ofrecen las conexiones inalámbricas.

UWB se define como cualquier transmisión de radio que ocupa un ancho de banda mayor que el 20% de su frecuencia central o más de 1.5 GHz de esta. Aun cuando esta definición no es la más exacta, es útil para distinguir este tipo de tecnologías con otros tipos de sistemas tradicionales de ancho de banda angosto. El ancho de banda corresponde a la franja de frecuencias en que la antena se desempeña, en términos de su impedancia de entrada, patrón de radiación.



Figura 2-2 Tipos de sistemas en función del ancho de banda [25]

El funcionamiento de UWB se basa en la transmisión de secuencias de pulsos extremadamente estrechos y de baja potencia, los cuales se sitúan de forma precisa en el tiempo (con posibles

desviaciones inferiores al picosegundo) [24]. Como resultado se obtiene un espectro de banda ancha que debe cumplir la máscara de emisión, es decir, una limitación en potencia regulada para que no interfieran en otros sistemas que operen en el mismo rango de frecuencias.

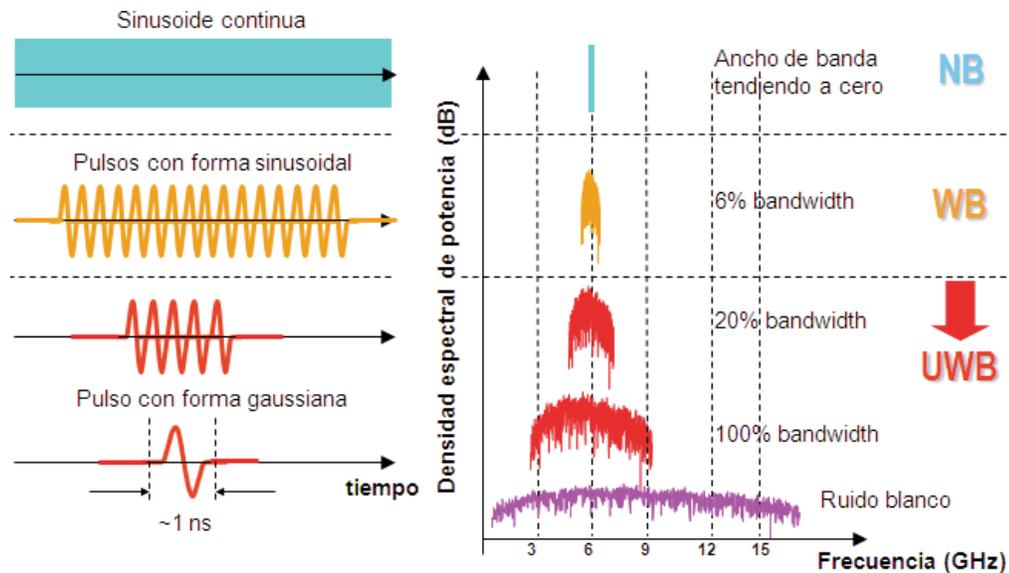


Figura 2-3 Tipos de sistemas en función de BW [25]

El sistema deberá cumplir las siguientes condiciones [24]

- Este dispositivo no debe causar interferencias dañinas, es decir, que obstruya, degrade o interrumpa repetidamente un servicio de comunicaciones vía radio.
- Este dispositivo debe aceptar cualquier interferencia recibida incluyendo aquellas que causen una operación indeseada. Lo que implica que aquellos aparatos que funcionen sin licencia deberán poder coexistir en un ambiente inestable e incontrolado.
- Este dispositivo debe emitir a baja potencia con el objetivo de optimizar el uso del espectro y no interferir sobre los canales adyacentes. Esta baja potencia está regulada mediante una máscara de emisión propuesta por la FCC en los EE. UU y por la CEPT en Europa.

2.4 Topología antena a diseñar: Monopolo circular alimentado mediante CPW

En este proyecto se diseñó una antena UWB monopolo con forma de disco alimentado con una línea coplanar (CPW). Esta técnica de alimentación ya se ha usado antes en antenas planas

textiles, ya sean de ancho de banda angosto como UWB [26]. La línea coplanar elimina el problema que podría ocurrir al alinear diferentes capas (textiles, por ejemplo), en distintos planos de la estructura de la antena [27].

En [27] se presenta una antena UWB de este mismo tipo, la cual está destinada para aplicaciones portátiles, fabricada 100% con materiales textiles y que sirvió como punto de inicio y referente para este proyecto.

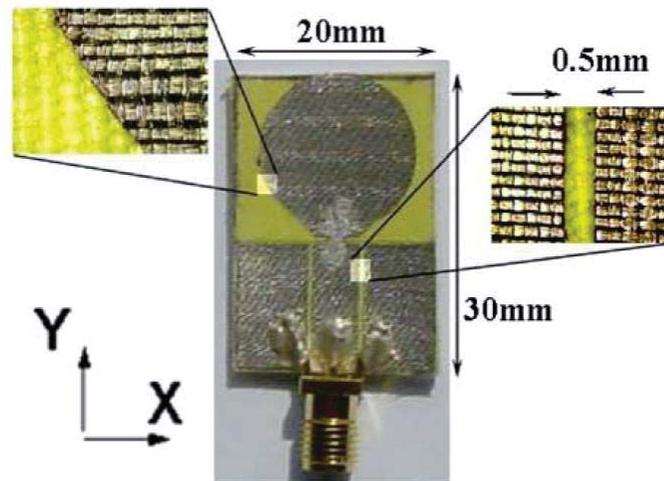


Figura 2-4 Antena monopolo tipo disco [27]

En la Figura 2-4 se puede ver la antena fabricada la cual se sostiene que es apta para el uso corporal. Además, se concluye a través de simulaciones de coeficiente de reflexión (Figura 2-5), que las bandas de transmisión de la antena corresponden a una del tipo UWB.

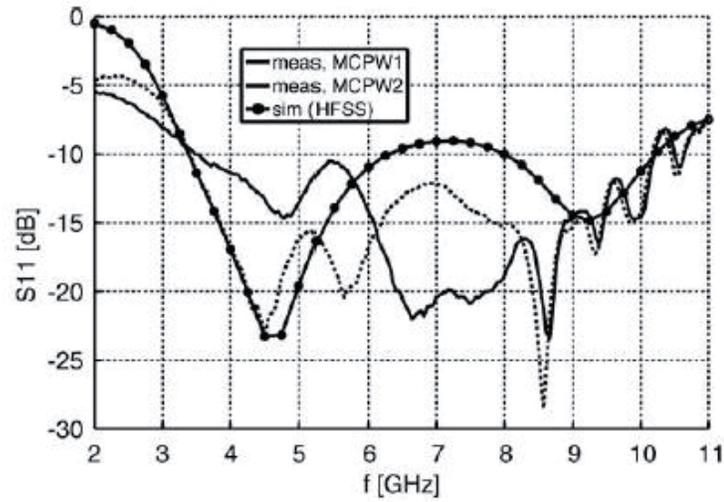


Figura 2-5 Simulación S11 (sim HFSS) [27]

De igual forma que el estudio anterior, pero esta vez desde un punto de vista más teórico, en [26] se presenta un análisis de este tipo de antena. Se concluyó que los parámetros que más influyen en el desempeño de la antena son las distancias “h”, “r” y “w” las cuales se muestran en la Figura 2-6.

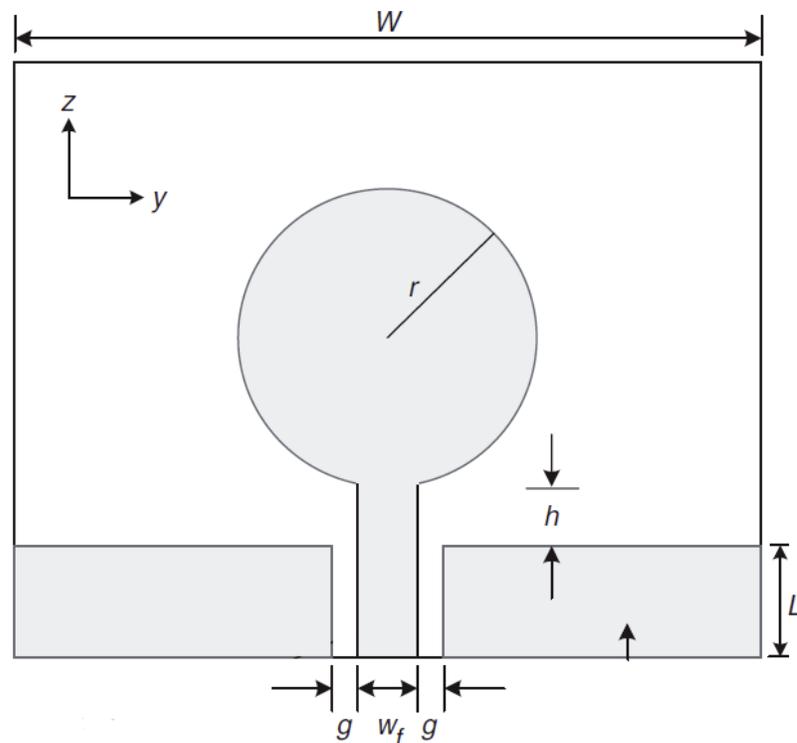


Figura 2-6 Topología antena diseñada [26]

De lo observado de estos casos es que presentan a continuación las dimensiones de la antena que se simulara en este proyecto, para lo cual se usan las mismas variables que se muestran en la Figura 2-6. Los resultados de las simulaciones y las pruebas realizadas sobre esta antena se muestran en el capítulo siguiente.

Las dimensiones de la antena que se simula en este proyecto son las que se muestran en la Tabla 2-1

Tabla 2-1 Dimensiones Antena

Parámetro	Valor (mm)
r	25
h	1.6
wf	4
g	1
Wsus	90
h	1.6

2.5 Materiales Utilizados

Para el diseño de la antena propuesta se utilizaron 2 materiales distintos, los cuales se describen en la Tabla 2-2

Tabla 2-2 Materiales Sustrato

Material	Permitividad ϵ_r	Perdida Tangencial
Fleece (Polar)	1.17	0.0035
Denim(Jeans)	1.8	0.025

Se eligieron estos materiales tanto por razones técnicas como por motivos prácticos. Como se expuso en el capítulo anterior, ambos materiales cuentan con su pros y contras. El material Denim (Jeans) posee la mejor resistencia mecánica y además brinda facilidad para crear sustratos de buena altura, por su parte, el material Fleece (Polar) cuenta con una baja permitividad lo cual lo hace un buen candidato para servir como sustrato. Además, ambos materiales son usados

masivamente en ropa de uso cotidiano, por lo que tanto el acceso a estos materiales como su costo no representarían ningún problema ante la eventual fabricación de prototipos. Visto desde otro punto de vista, la oportunidad de comparar el desempeño de 2 antenas iguales mediante el uso de estos 2 materiales da la oportunidad de poder comparar cuantitativamente su desempeño y poder ofrecer una solución de bajo costo.

2.5.1 Línea Coplanar (CPW)

En la guía de onda coplanar los planos de tierra están al lado del conductor en lugar de estar abajo como en la línea de microstrip, como se puede observar en la Figura 2-7:

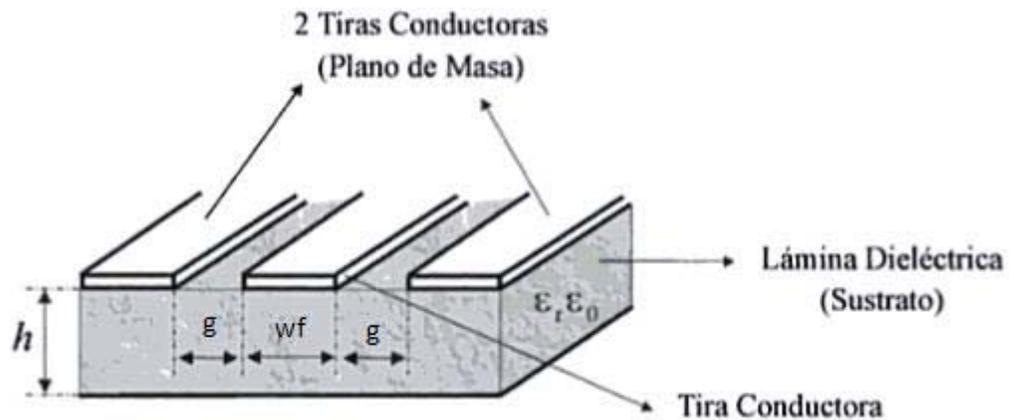


Figura 2-7 Línea CPW [25]

Los parámetros de diseño de esta línea son la anchura de la tira metálica central (W), y el espacio que existe entre dicha tira y las dos tiras laterales que definen el plano de masa (s). Presentan, por tanto, dos grados de libertad a la hora de obtener una determinada impedancia característica (Z_0). Una de las ventajas que presenta esta configuración es la facilidad para realizar conexiones a tierra [25]. Una segunda ventaja es que permite utilizar impedancias de línea muy bajas (inalcanzables si se utiliza microstrip, ya que las líneas deberían ser de un ancho muy poco factible) [25]. Presentan menor dispersión que en el caso de las líneas microstrip, lo que permite implementar circuitos que trabajen a frecuencias mayores. Los planos de masa sirven como protección frente al acoplamiento con otras líneas adyacentes

2.6 Tasa de absorción específica

La radiación de la radiofrecuencia deposita energía en el cuerpo, cuya cantidad depende de la fuerza del campo electromagnético emitido. La Tasa de Absorción Específica, o SAR, indica la cantidad de energía de la radiación de la radiofrecuencia que es absorbida por el cuerpo, por ejemplo, cuando se utiliza un teléfono inalámbrico. Se define como el índice de absorción de la energía por unidad de masa, y se expresa en unidades de vatios por kilogramo (W/kg). El SAR interna no se puede medir directamente en el cuerpo, sino que se estima por cálculos teóricos [28].

Los gobiernos o las agencias gubernamentales en los diferentes países han establecido los valores máximos permitidos de la SAR tanto para usos casuales como del ámbito profesional, que él es objetivo de este proyecto. En muchos casos los valores se basan en los estándares recomendados por la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No-Ionizante (ICNIRP) u otras organizaciones independientes [28]. En la Tabla 2-3 se muestran los límites permitidos

Tabla 2-3 Valores límite SAR [28]

Tipo de exposición	SAR promedio cuerpo entero (w/kg)	Limites ICNIRP	
		Sar Local (Promediado 10 g) (w/kg)	Cabeza y Tronco y Extremidades
Profesional	0.4	10	20
Publico General	0.08	2	4

3 Simulación y Resultados

En el siguiente capítulo se presentan los resultados del diseño y simulación del monopolo circular diseñado mediante el software HFSS. Como se hizo mención en el capítulo anterior, se usaron dos materiales distintos para el sustrato (Jeans y Polar). En la Figura 3-1 se puede ver el modelo de la antena simulada, en donde las partes rojas serían las partes con tela conductora, mientras lo azul pertenecería al sustrato textil.

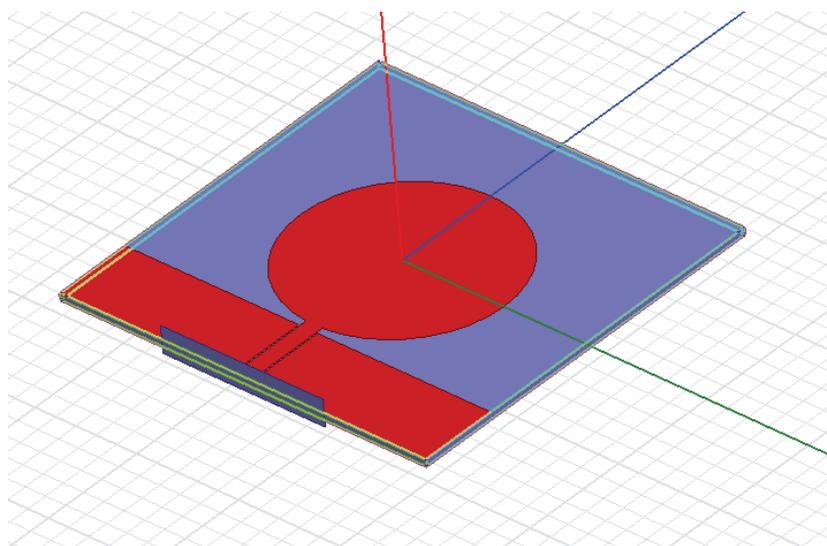


Figura 3-1 Modelo antena monopolo circular en software HFSS

Tanto en la Figura 3-2 y Figura 3-3 se pueden observar los gráficos de coeficiente de reflexión de las antenas con ambos sustratos. Estos resultados corresponden a simulaciones realizadas en condiciones espacio libre y libre de flexión. En ambos se logró obtener un ancho de banda suficiente para poder transmitir en servicios básicos tales como Wifi y algunas bandas GSM

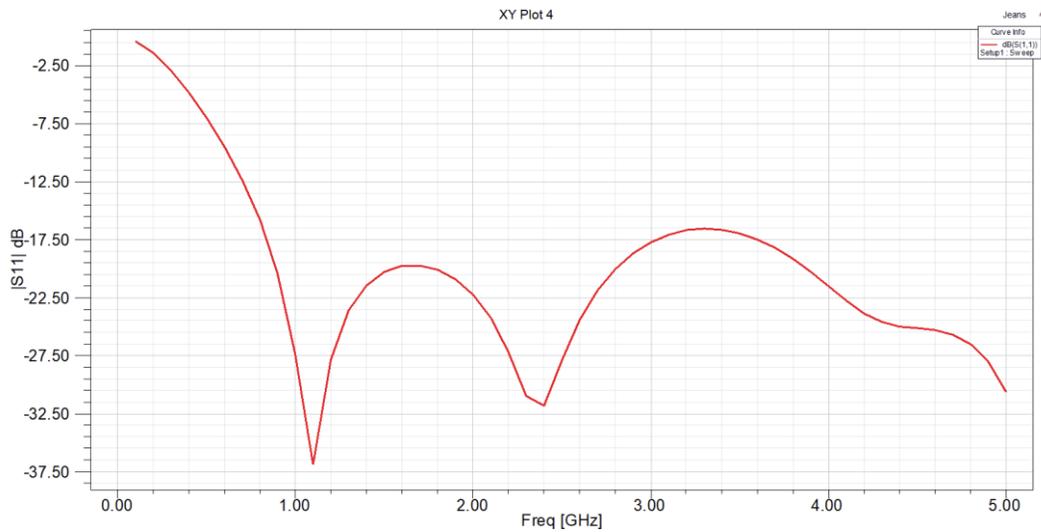


Figura 3-2 |S11| Antena con sustrato Denim (Jeans)

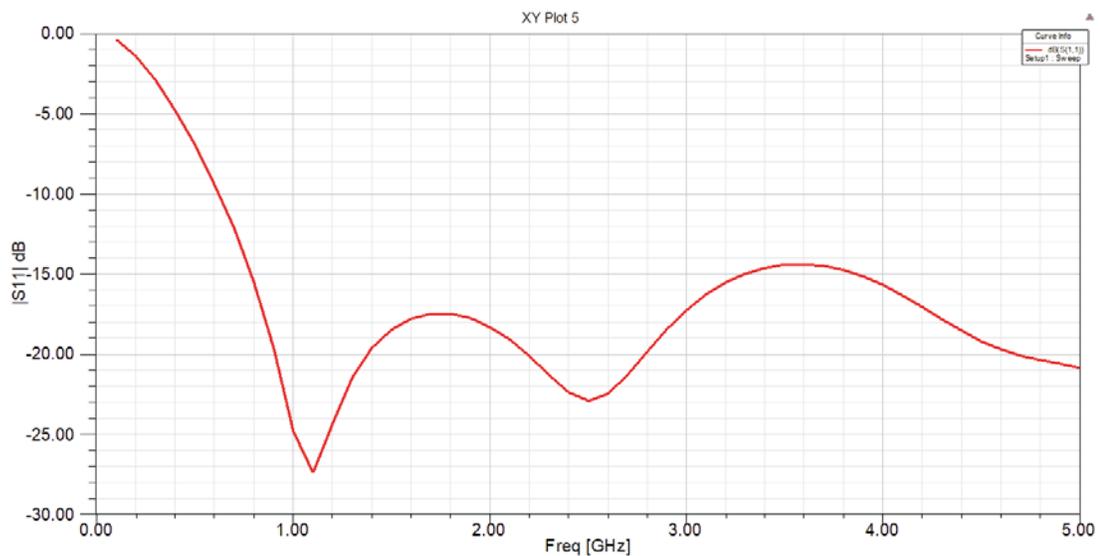


Figura 3-3 |S11| Antena con sustrato Fleece (Polar)

3.1 Pruebas de Flexión

A modo de poner a prueba el diseño y cumplir con los requisitos mínimos para poder operar, y tal como se describió en el Capítulo 1, la antena debe contar con cierta flexibilidad para así adaptarse a diferentes formas, en este caso, al cuerpo humano. En la Figura 3-4 se puede apreciar la orientación de la antena que se tomó en cuenta para realizar las pruebas de flexión. En la Figura 3-5 se puede ver el modo que se realizó la flexión en la dirección del eje X, procedimiento que se repitió en los casos con flexión en dirección de eje Y.

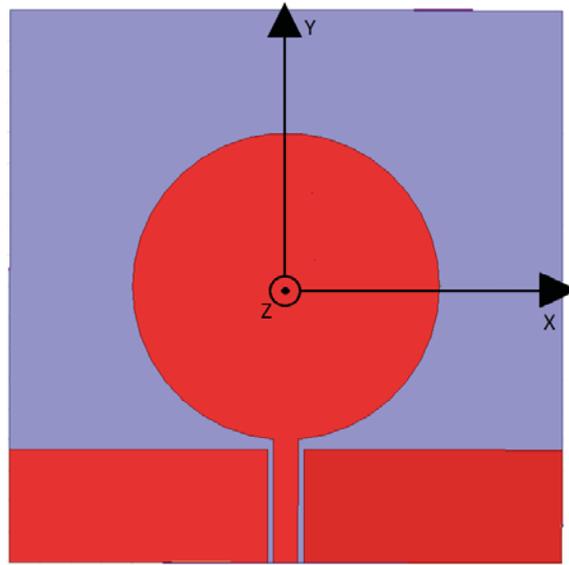


Figura 3-4 Orientación antena para pruebas de flexión

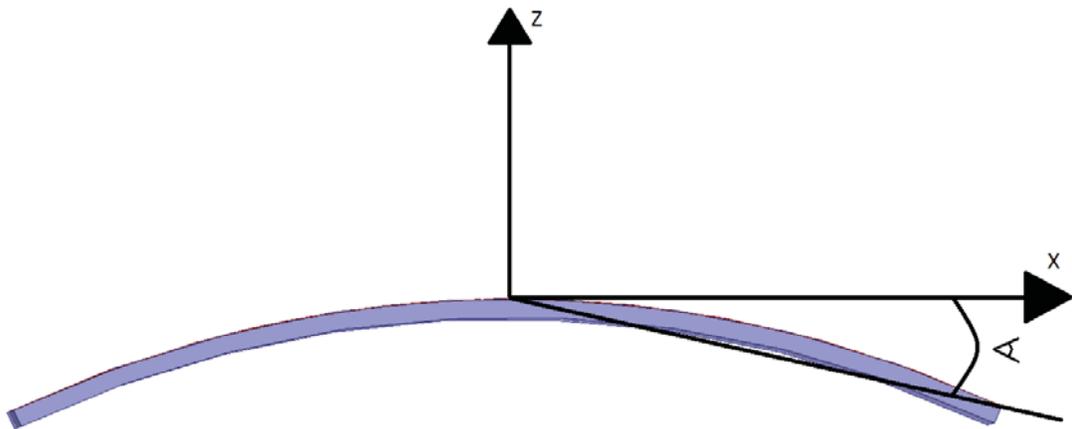


Figura 3-5 Medición de ángulo flexión en estructura antena en dirección X

En la Figura 3-6 , en a) y b) respectivamente se puede apreciar como el modelo simulado fue doblado en 30° y 50° respectivamente en dirección X.

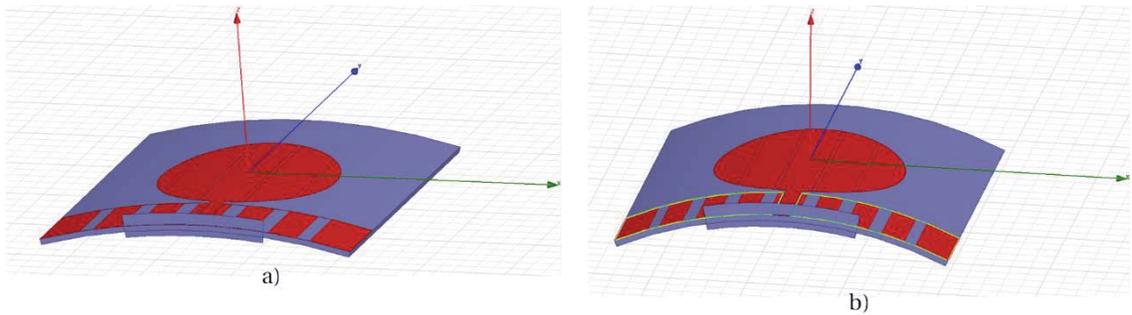


Figura 3-6 a) Simulación antena con flexión en dirección X, 30° b) Simulación antena con flexión en dirección X, 50°

De la misma forma anterior, en Figura 3-7 , en a) y b) respectivamente se puede ver como el modelo se sometió a flexión esta vez en dirección del eje Y tanto para 30° como 50°.

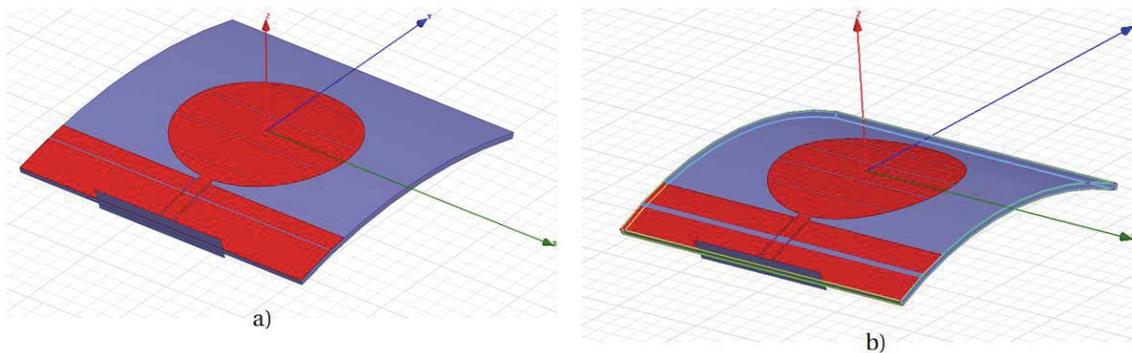


Figura 3-7 a) Simulación antena con flexión en dirección Y ,30° b) Simulación antena con flexión dirección Y, 50°

Siguiendo con lo mostrado anterior, en las Figura 3-8, Figura 3-9, Figura 3-10 y Figura 3-11 se muestra los gráficos del coeficiente de reflexión para los diversas simulación realizadas. Si se comparan los resultados obtenidos con el mostrado en el capítulo 1, en donde se mostraron pruebas de este tipo sobre antenas textiles se puede apreciar claramente las ventajas de una antena UWB.

De igual modo junto a cada gráfico, se muestran en las Tabla 3-1, Tabla 3-2, Tabla 3-3 y Tabla 3-4 la medición de coeficiente de reflexión, en que se tomaron en cuenta 4 frecuencias de aplicaciones comunes tales como la de 0.8 GHz, 1800 GHz, 2.6 GHz y 5 GHz que corresponderían a aplicaciones tanto GSM como Wifi comunes.

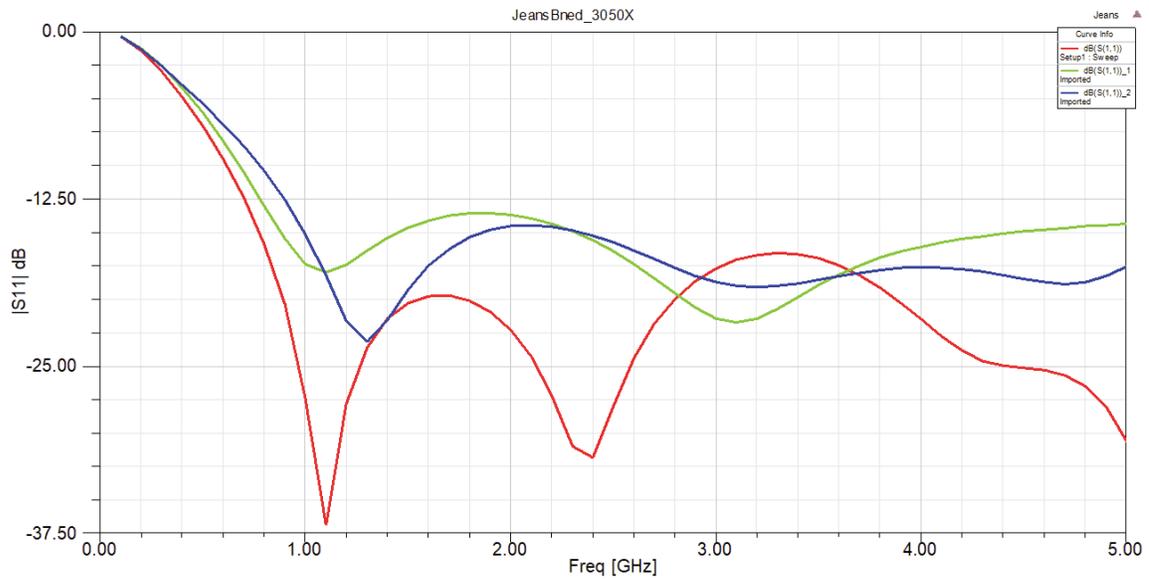


Figura 3-8 |S11| para distintos ángulos de flexión con sustrato Jeans, Rojo= 0° Verde=30° Azul=50°, dirección X

En la Tabla 3-1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del gráfico de la Figura 3-8, en que se tabula el nivel de S11 en dB para las frecuencias mostradas.

Tabla 3-1 Simulación |S11|

Frecuencia (GHz)	S11 (dB)		
	Flexión 0°	Flexión 30°	Flexión 50°
0.8	15.86	13.02	10.4
1.8	20.12	15.38	13.58
2.6	24.41	17.37	16.35
5	30.64	17.54	14.36

El hecho de doblar la estructura de una antena, cambio de forma notoria las características de transmisión de la antena. En los resultados antes mostrados, se puede ver como el ángulo de flexión afecta al desempeño de la antena, siendo el caso de 50° a 0.8 GHz el más drástico donde se obtuvo la mayor desadaptación.

En la Figura 3-9 se muestran los resultados obtenidos por el caso de flexión en dirección del eje Y. Además, en la Tabla 3-2 se tabulan de S11

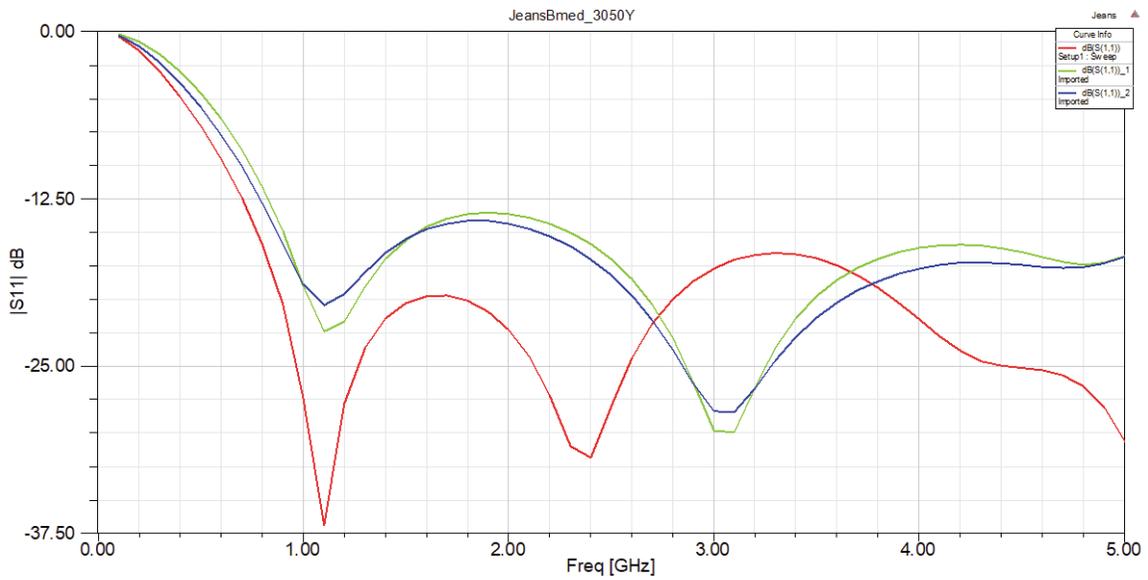


Figura 3-9 |S11| para distintos ángulos de flexión con sustrato Jeans, Rojo= 0° Verde=30°Azul=50°, dirección Y

Tabla 3-2 Simulación |S11|

Frecuencia (GHz)	S11 (dB)		
	Flexión 0°	Flexión 30°	Flexión 50°
0.8	15.86	11.57	12.79
1.8	20.12	13.66	14.41
2.6	24.41	18.52	19.73
5	30.64	16.75	16.45

En la Figura 3-10 se muestran los resultados obtenidos por el caso de flexión en dirección del eje X. Además, en la Tabla 3-3 se tabulan los resultados de S11.

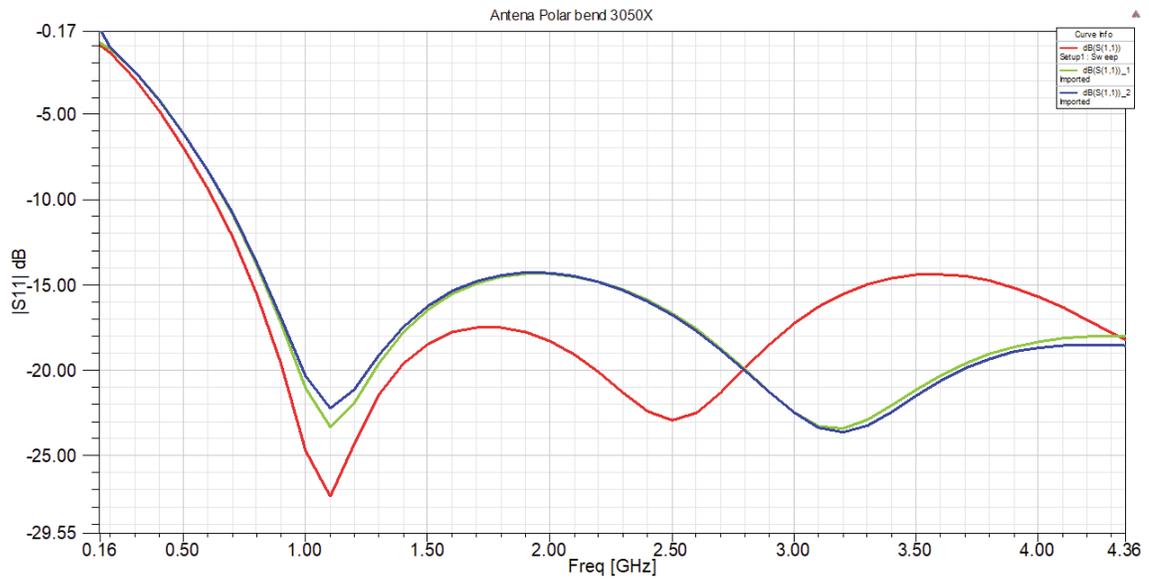


Figura 3-10 |S11| para distintos ángulos de flexión con sustrato Fleece, Rojo= 0° Verde: 30° Azul =50°, dirección X

Tabla 3-3 Simulación |S11|

Frecuencia (GHz)	S11 (dB)		
	Flexión 0°	Flexión 30°	Flexión 50°
0.8	15.36	13.77	13.63
1.8	17.40	14.55	14.43
2.6	22.35	17.60	17.71
5	20.95	18.43	18.84

En la Figura 3-11 se muestran los resultados obtenidos por el caso de flexión en dirección del eje Y. Además, en la Tabla 3-4 se tabulan los resultados de ancho de banda.

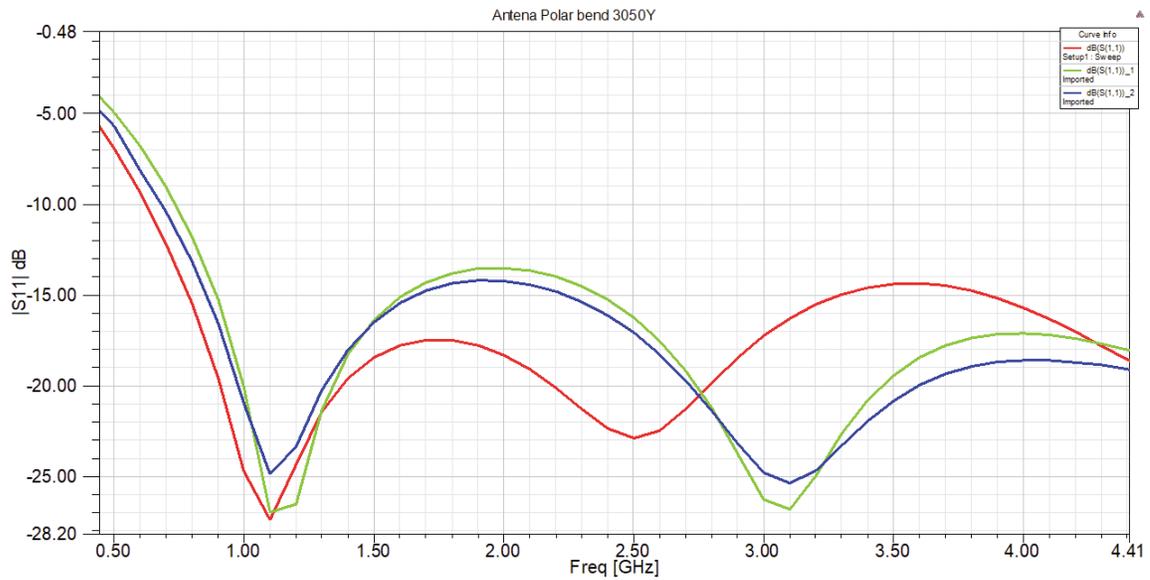


Figura 3-11 |S11| para distintos ángulos de flexión con sustrato Fleece, Rojo= 0° Verde: 30° Azul =50°, dirección Y

Tabla 3-4 Simulación |S11|

Frecuencia (GHz)	S11 (dB)		
	Flexión 0°	Flexión 30°	Flexión 50°
0.8	15.36	11.79	13.15
1.8	17.40	13.80	14.37
2.6	22.35	16.27	17.09
5	20.95	20.75	20.42

Desde la Figura 3-12 hasta Figura 3-19, se pueden ver los patrones de radiación de las antenas para los 2 materiales de sustrato simulados junto los valores de ganancia máxima.

En la Tabla 3-5 se puede ver un resumen con las ganancias obtenidas

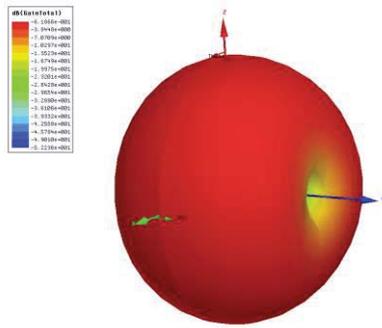


Figura 3-12 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Fleece,1800 MHz

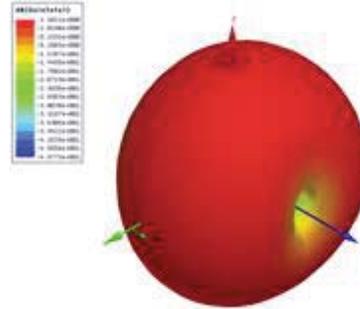


Figura 3-13 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Fleece ,2.4 GHz

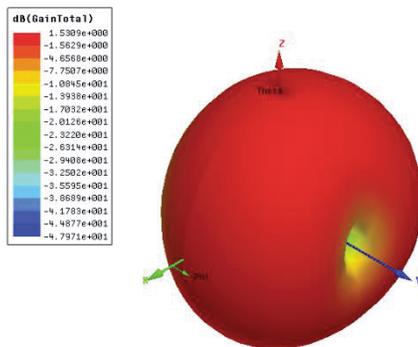


Figura 3-14 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Fleece ,2.6 Ghz

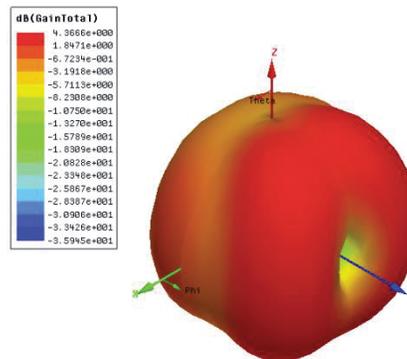


Figura 3-15 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Fleece , 5 Ghz

Tabla 3-5 Ganancias Máximas, Sustrato Fleece

Aplicación (GHz)	Ganancia Máxima (dB)
1.8	-0.6
2.4	1.10
2.6	1.5
5	4.3

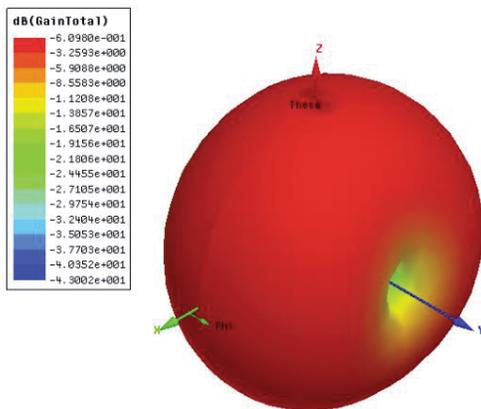


Figura 3-16 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Jeans ,1800 GHz

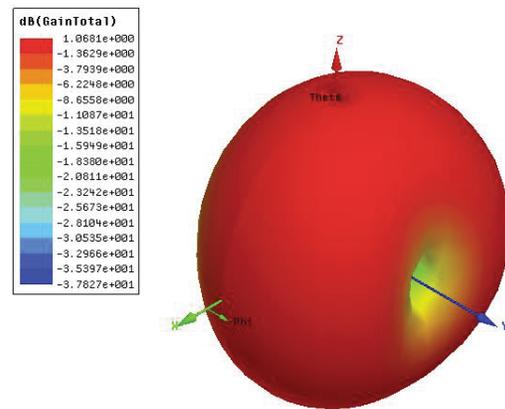


Figura 3-17 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Jeans ,2.4 GHz

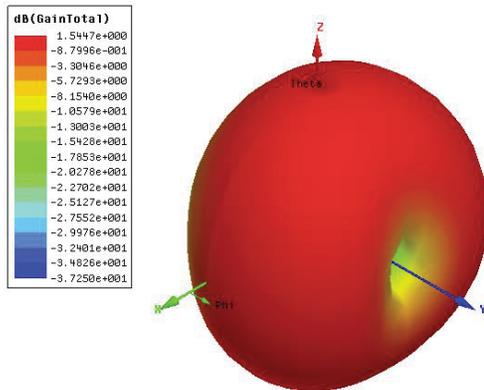


Figura 3-18 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Jeans ,2.6 GHz

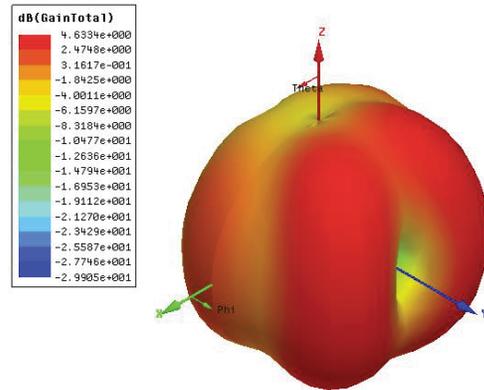


Figura 3-19 Ganancia en 3D obtenida con antena sustrato Jeans ,5 GHz

En la Tabla 3-6 se puede ver un resumen con las ganancias obtenidas

Tabla 3-6 Ganancias Máximas, Sustrato Jeans

Aplicación (GHz)	Ganancia Máxima (dB)
1.8	-0.6
2.4	1.06
2.6	1.544
5	4.63

En general se puede apreciar que los valores para frecuencias bajas, se obtienen valores de ganancia bajos. Se observa que para valores mayores que 1.5 GHz se obtienen valores positivos

de ganancia, lo cual al menos deja la posibilidad de transmitir Wifi en cualquiera de sus dos bandas y en 2.6 GHz (4G)

En la Figura 3-21 se puede comparar el coeficiente de reflexión de la antena en espacio libre v/s en las cercanías del cuerpo. Esto se logró al simular el cuerpo humano mediante la construcción de un modelo miniaturizado del cuerpo, que incluye tanto la piel, grasa y hueso de la piel junto con sus distintas permitividades. Se puede apreciar en el grafico que el efecto es significativo pero la antena aún se desempeña dentro de márgenes permitidos para transmitir.

En la Figura 3-20 se puede ver la medición de SAR para el modelo antena, la cual dio un valor máximo de 1.058 w/kg, lo cual es aceptable dentro de los márgenes antes expuestos en el capítulo 2.

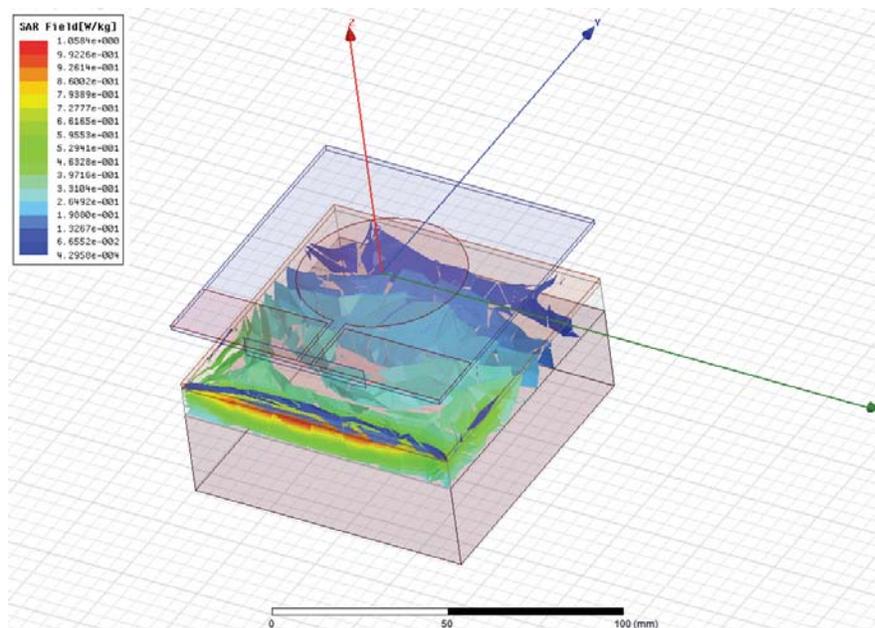


Figura 3-20 Simulación SAR sustrato Jeans

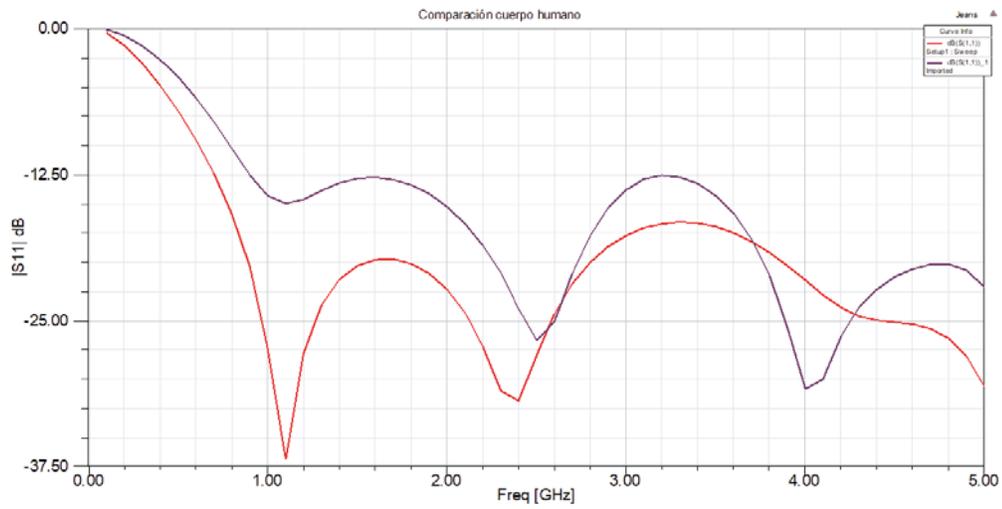


Figura 3-21 Comparación S11, Rojo: Espacio Libre, Café: Cercanía cuerpo humano (1.5cm)

En las Figura 3-22, Figura 3-23 y Figura 3-24 se muestran los patrones de radiación obtenidos de la simulación de la antena (Sustrato Jeans) cuando opera a 1 cm del cuerpo humano.

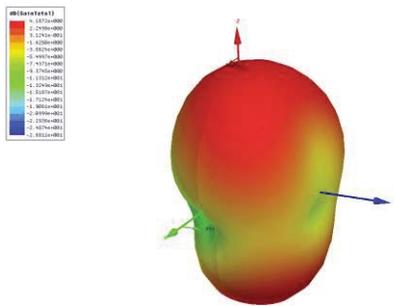


Figura 3-22 Patrón de radiación 2.6 GHz en la cercanía del cuerpo humano

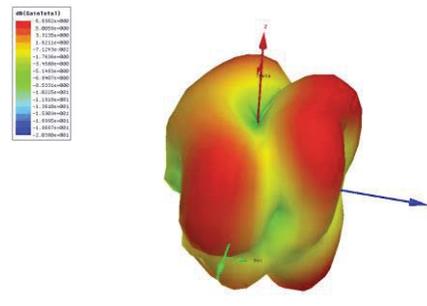


Figura 3-24 Patrón de radiación 5 GHz en la cercanía del cuerpo humano

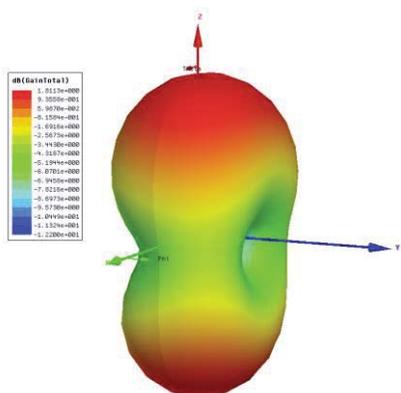


Figura 3-23 Patrón de radiación 1.8 GHz en la cercanía del cuerpo humano

Discusión y conclusiones

El uso de materiales textiles supone un concepto relativamente nuevo en cuanto a construcción de antenas. Se pudo ver cómo debido a la naturaleza irregular, he incluso se podría decir no predecible, de su superficie y forma de construcción, los desafíos al que diseña este tipo de dispositivos pueden ser varios. Aun cuando el objetivo de este proyecto no alcanzo a incluir la construcción, entender la problemática a profundidad es esencial y entender los aspectos que influirían en el diseño de una antena de este tipo fue más que necesario

En cuanto al diseño y simulación de la antena propuesta, se expuso el diseño de una antena monopolo circular mediante alimentación coplanar, en la cual se usaron 2 materiales distintos como sustrato. Tanto el Fleece, más conocido como polar, y el material de Jeans fueron elegidos en parte por sus buenas características, ya sea eléctricas, mecánicas, como por su facilidad de adquirir y costo.

Como se vio en el Capítulo 3, las antenas diseñadas con estos materiales presentaron buenos rendimientos. Como se vio en lo obtenido en la Figura 3-8 y Tabla 3-1, que muestran el desempeño de la antena fabricada con sustrato de jeans, a través del gráfico de coeficiente de reflexión S11 cuando la antena se sometió a flexión, tanto en direcciones del eje X he Y son muy interesantes. En condición normal, o sea flexión 0°, la antena como era de esperarse dio los mejores resultados, destacando su adaptación a 5 GHz que alcanzó los -30.64 dB. Por otro lado, y a medida que el ángulo aumento hasta los 50°, se pudieron ver los peores resultados en 0.8 GHz, frecuencia a la cual dio una adaptación de -10.4 dB, lo cual aun cuando es lo mínimo esperable, es aceptable para una correcta operación. En la misma antena, pero respecto a las mediciones de ganancia (Tabla 3-6) se pudo observar que aun para frecuencias bajas, como la banda GSM de 800 GHz, en que se mostró adaptada en si grafico S11, se obtuvieron resultados moderados en cuando a ganancia, obteniéndose -0.6 dB, mientras que para servicios en frecuencias más altas tales como 4G (2.6 GHz) y Wifi (5 GHz) se dieron ganancias de 1.544 dB y 4.64 dB respectivamente lo cuales son cifras más que aceptables. De estos resultados se puede ver cómo, aun cuando en este tipo de antenas se puede ofrecer una infinidad de servicios, debido al gran valor de banda de ancha, asegurar el desempeño a lo largo de toda esa banda no es tarea fácil.

De los patrones de radiación se puede decir que no existieron sorpresas. A bajas frecuencias la forma típica de radiación de un monopolo se mostró claramente, solo a frecuencias altas es que la forma de radiación sufrió cambios visibles, lo que no sería problema para el correcto funcionamiento de la antena.

Respecto a la medición de la tasa de absorción específica, se pudo ver que se cumple la norma para el caso de personal profesional. También de los gráficos del coeficiente de reflexión, para este mismo caso, en que se consideró una separación con la piel de 1.5 cm, se puede ver que tuvo esta cercanía tuvo un gran impacto en la adaptación de la antena (Figura 1-19), pero aun así la adaptación mantuvo un nivel bueno

Bibliografía

- [1] P. J. S. F. S. A. N. H. M. Rais, «A Review of Wearable Antenna,» de *Antennas & Propagation Conference*, Loughborough, 2009.
- [2] P. Hall y Y. Hao, «Antennas and propagation for body centric communications,» de *European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2006.
- [3] P. Hall, Y. Hao y Y. Nechayev, «Antennas and Propagation for On-Body Communications Systems,» de *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2007.
- [4] C. W. A. N. a. M. B. D. Neiryneck, «Exploiting multiple-input multiple-output in the personal sphere,» 2007.
- [5] D. Malan y T. Fulford-Jones, «CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care,» Boston.
- [6] H. R. Carla Hertleer, «A Textile Antenna for Off-Body Communication Integrated Into Protective Clothing for Firefighters,» de *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, 2009.
- [7] «Small uni-planar antenna suitable for body wearable applications,» de *In Proceedings of the Military Communications Conference*, Washington, 2010.
- [8] W. G. W. a. A. A. A. Aris Tsohis, «Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities,» de *School of Electronic, Electrical and Systems Engineering*, 2014.
- [9] H. R. C. H. a. L. V. L. Anneleen Tronquo, «Applying Textile Materials for the design of Antennas for wireless body area networks,» de *Proceedings of the European Conference on antennas for Wireless Body Area Networks*, 2006.

Error! Use the Home tab to apply Título 6 to the text that you want to appear here. Error! Use the Home tab to apply Título 6 to the text that you want to appear here.

- [10] A. Chauraya, «Addressing the challenges of fabricating microwave antennas using conductive threads,» de *proceedings of the European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2015.
- [11] D. Z. Y. L. a. E. M. Salah-Eddine Adami, «A 2.45 GHz rectenna screen-printed on polycotton for on-body RF power transfer and harvesting,» de *Wireless Power Transfer Conference (WPTC)*, 2015.
- [12] S. S.-N. a. N. S. George Shaker, «Inkjet Printing of Ultrawideband (UWB) Antennas on Paper-Based Substrates,» de *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2011.
- [13] A. C. e. al, «Inkjet printed dipole antennas on textiles for wearable communications,» de *IET Microw*, 2013.
- [14] K. M. K. T. & T. G. L. I., «Design and Characterization of Purely textile patch antennas,» de *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, 2006.
- [15] Y. Ouyang, «High Frequency Properties of Electro-Textiles for Wearable Antenna Applications,» de *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, 2008.
- [16] «Measurement of electrotexiles for high frequency applications,» de *International Microwave Symposium Digest*, 2005.
- [17] A. Tsolis, W. G. Whittow y A. A. Alexandridis, «Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities,» 2014.
- [18] A. V. L. H. R. a. L. V. L. Carla Hertleer, «Influence of Relative Humidity on Textile Antenna Performance,» Belgium, 2010.
- [19] C. Hertleer, A. Van Laere, H. Rogier y L. Van Langenhove, «Influence of Relative Humidity on Textile Antenna Performance,» Belgium, 2010.
- [20] W. Thompson, R. Cepeda, G. Hilton, M. A. Beach y S. Arthur, «An improved Antenna Mounting for ultra-Wideband On-body Communications and Channel Characterization,» de *IEEE Transactions on microwave theory and technics*, 2011.
- [21] H. R. L. V. V. L. a. L. Carla Hertleer, «A Textile Antenna for Off-Body Communication Integrated Into Protective Clothing for Firefighters,» de *Transactions on antennas and propagation*, 2009.
- [22] A. K. Skrivervik, M. Bosiljevac y J. Trajkovikj, «Design Considerations for Wearable Antennas,» de *2016 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS)*, 2016.

Error! Use the Home tab to apply Título 6 to the text that you want to appear here. Error! Use the Home tab to apply Título 6 to the text that you want to appear here.

- [23] V. Tapia y P. Mena, de *Manual introductorio a HFSS*, pp. 3-5.
- [24] D. Gonzales, «Estudio comparativo del estandar ultrawideband frente a bluetooth y zigbee,» Universidad Austral de Chile, 2011.
- [25] J. C. Fernández, «Proyecto Fin de Carrera: Diseño de Nuevas Estructuras de Antenas Ultra,» 2011.
- [26] J. Liang, L. . Guo y C. Chiau, «Study of CPW-fed circular discmonopole antenna for ultra wideband applications,» de *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag*, 2005.
- [27] M. Klemm y G. Troester, «Textile UWB Antennas for Wireless Body Area Networks,» de *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, 2006.
- [28] I. C. o. N.-I. R. Protection, «Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz),» de *Health Physics*, 1998.