



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Juan Francisco Vecchiola Aspé

Diseño e implementación de antena GPS en tecnología textil para aplicación de búsqueda de personas

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Electrónico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



Diseño e implementación de antena GPS en tecnología textil para aplicación de búsqueda de personas

Juan Francisco Vecchiola Aspé

Tesis para el grado 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 Guillermo Pizarro Torres
Profesor Guía

Sr. Ariel Leiva Lopez
Segundo Revisor

Sr. Sebastian Fingerhuth Massmann
Secretario Académico

Valparaíso, 09 de agosto de 2017

Resumen

En el siguiente informe se presenta un estado del arte, diseño, simulación, construcción y medición de una antena GPS a base de materiales textiles, para la aplicación de búsqueda de personas. Este informe cuenta con 4 capítulos en los que se muestra el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo 1 se explica el problema el cual este proyecto pretende solucionar, que es hacer la antena para búsqueda de personas, mostrando antecedentes de esta problemática.

En el Capítulo 2 se muestra el estado del arte, donde se muestra literatura acerca de las antenas textil GPS, se explica el sistema GPS, se presentan características técnicas acerca de las antenas parche o microstrip, como también trabajos pasados.

En el Capítulo 3 se muestra cómo se obtuvieron los parámetros de las telas escogidas, la metodología y los resultados. Luego se muestra cómo se realizaron los diseños de las antenas con estas telas, mostrando el cuaderno de cargas realizando simulaciones en el software HFSS.

El Capítulo 4 se muestra el proceso de construcción de las antenas con el diseño escogido, medición de estas y luego se comparan con las simulaciones realizadas en HFSS anteriormente.

Palabras claves: Antena, Global Positioning System GPS, textil, dieléctricos, HFSS, resonador, microstrip.

Abstract

In the next report, it is presented the state of art, design, simulation, construction and measurements of a GPS antenna based in textile materials, to be applied in the searching of lost people. This report counts with 4 chapters where it explains the development of this project.

In Chapter 1 explains the problem in which this project pretends to solve, which is to make an antenna for lost people searching.

In Chapter 2 explains the state of art, where literature about the textile GPS antennas are shown, it explains the GPS system, technical characteristics of the microstrip antennas are presented, also past works are presented too.

In Chapter 3 explains how the textiles parameters of the chosen ones are obtained, the methodology and the results. After that it shows how the designs with these textiles were made, showing the technical specifications making simulations in the HFSS software.

Chapter 4 explains the construction process of the chosen antennas, the measurements of these and then are compared with the HFSS simulations.

Key words: Antenna, Global Positioning System GPS, textiles, dielectrics, HFSS, microstrip resonator.

Índice general

Introducción.....	1
Objetivos generales.....	2
Objetivos específicos	2
1 Problemática	3
2 Marco teórico y estado del arte	5
2.1 Telas	5
2.2 Sistema GPS.....	6
2.2.1 Características de antenas GPS	7
2.3 Teoría microstrip	8
2.4 Soluciones existentes.....	10
2.4.1 Parche cuadrado con dos bordes truncados.....	10
2.4.2 Parche cuadrado con ranura en forma de H.....	14
2.4.3 Parche cuadrado con ranura en forma de polígono	16
2.4.4 Parche cuadrado con dos bordes truncados alimentado por línea microstrip.	20
3 Caracterización de telas y diseño.....	24
3.1 Caracterización de las telas con resonador microstrip de lambda cuarto.	24
3.1.1 Mediciones.....	27
3.2 Diseño	29
3.2.1 Frecuencia.....	32
3.2.2 Polarización	34
3.2.3 Patrón de radiación	36
4 Construcción de antenas y resultados de medición.....	39
4.1 Construcción de las antenas	39
4.1.1 Diseños finales.....	39
4.1.2 Construcción.....	40
4.2 Mediciones	44
4.2.1 Mediciones del parámetro S11.....	44
4.3 Comparaciones	47

Discusión y conclusiones.....	50
Bibliografía	52

Introducción

La búsqueda de personas es una labor llevada a cabo por organismos especializados como las fuerzas armadas, fuerzas del orden y servicios de emergencia. Esta labor, dependiendo de la situación, puede llegar a ser muy compleja, ya sea debido a un lugar de difícil acceso o a condiciones climatológicas adversas, aumentando el riesgo del o los individuos extraviados, como también el de los mismos rescatistas. Es por esto que, con tal de encontrar a las personas extraviadas lo antes posible, amerita ver alguna solución tecnológica que permita disminuir estos riesgos. Una posible solución es que el individuo potencialmente extraviado lleve consigo algún tipo de dispositivo que indique su posición.

Como la tendencia actual de miniaturizar los objetos tecnológicos como los computadores, se hace imperativo que esta solución sea pequeña y portable. Lo ideal de esta solución es que avise la posición por medio de radiofrecuencias, para la transmisión por medio de radiofrecuencias, se necesita una antena. Otro avance tecnológico del último tiempo es el crecimiento de la tecnología integrada en la vestimenta [1], las vestimentas inteligentes podrían llegar a ser parte de nuestro día a día en algún futuro [1]. Es por esto que una antena implementada en prendas de vestir sería una buena solución. Para realizar esto, esta antena debe ser flexible de manera que no impida el movimiento.

Para realizar estas antenas integradas en la vestimenta, es necesario contar con materiales textiles dieléctricos y conductores. La selección de materiales es de suma importancia ya que deben contar con ciertas características. Los sustratos textiles en particular deben tener una baja permitividad relativa, lo que reduce las ondas en la superficie y mejora la impedancia [1].

Para usar una determinada tela dieléctrica, se deben conocer sus parámetros. Los parámetros de interés son su permitividad, tangente de pérdidas y su espesor. La permitividad y la tangente de pérdidas se obtienen luego de caracterizar la tela.

Para caracterizar una tela dieléctrica y así obtener sus propiedades antes descritas, se tienen diferentes métodos, principalmente vía resonadores. Los resonadores consisten en hacer resonar un parche con la tela que se desea caracterizar a una cierta frecuencia y sus múltiplos. Una vez hecho esto se miden las frecuencias de resonancia exactas, que en conjunto a una serie de fórmulas se logran estimar la permitividad. Como ejemplos de resonadores, se tienen resonadores

separados post dieléctrico [1], resonador microstrip en forma de anillo [2] o el resonador microstrip de lambda cuarto [3].

Para obtener el espesor tan solo basta con medir la tela, dependiendo de su espesor aproximado, se utiliza un pie de metro si es un espesor del orden de los centímetros, o un micrómetro si el espesor es del orden de milímetros.

La antena que se implemente en una prenda debe ser pequeña, capaz de ser confeccionada con materiales textiles dieléctricos y conductores. Un tipo de antena que se adecúa a estos requerimientos, son las antenas tipo parche o antenas microstrip [4]. Estas antenas tienen la particularidad de tener poco volumen, ser aptas para superficies planas y fáciles de alimentar, además de ser de bajo costo y fáciles de construir [4], entre otros. Este tipo de antenas además pueden ser usadas en el sistema GPS [5]. Que se pueda usar en el sistema es de gran ayuda, ya que este sistema de navegación por satélite es ampliamente usado alrededor del mundo por diferentes organismos, como por ejemplo rescatistas que se pueden enfrentar a situaciones con climas adversos. En la actualidad se han desarrollado antenas GPS textiles para condiciones adversas [6], en las cuales, para proteger a la antena, se ponen encima revestimientos que repelen el agua y protegen contra las temperaturas extremas.

Más allá de las condiciones adversas en las cuales se necesite ubicar a una persona, también puede haber situaciones menos riesgosas y como se ve, la implementación de este tipo de tecnologías puede ser de utilidad.

Objetivos generales

- Diseño e implementación de antena para GPS basados en tecnología de textiles conductores.

Objetivos específicos

- Estudio de tecnologías RF con conductores textiles.
- Caracterización de las telas escogidas.
- Diseñar las antenas con las distintas telas.
- Simularlas en el software HFSS.
- Construcción de las antenas
- Medición
- Comparación

1 Problemática

En la actualidad hay diversos motivos por los cuales una persona ha de extraviarse. Por ejemplo, excursionistas, que por alguna irresponsabilidad o debido a un cambio climático severo y repentino, se pueden ver envueltos en algún tipo de inconveniente. Esto sobre todo en Chile, que cuenta con una geografía montañosa, por lo que se debe tener conciencia de estos riesgos.

Actualmente, la situación demográfica en Chile es preocupante debido a que la natalidad disminuye y la esperanza de vida aumenta. Como consecuencia, el número de adultos mayores va en aumento [7] y el resto de la población se va concientizando con los fenómenos que le ocurren a ese sector etario. Una de las características principales de los adultos mayores, es su deterioro de la salud en diferentes ámbitos como cardíaco, físico, etc. El factor que nos interesa a nosotros son las demencias. En la actualidad las demencias afectan a tanto hombres como mujeres, independiente de su nivel socioeconómico y educación. Se estima que afectan al 5-7% de los mayores de 65 años de edad y sobre el 35% de los mayores de 85, actualmente en Chile habrían más de 100 000 enfermos [8].

Otro factor en el que una persona ha de extraviarse es el de los rescatistas, ya sea en incendios, como los que lamentablemente han acontecido en Valparaíso estos últimos años y los frecuentes incendios forestales en época de verano. Siniestros en los cuales dentro del caos algún bombero o rescatista se puede ver en alguna situación compleja donde necesita ser encontrado por sus colegas. Los servicios de búsqueda y rescate también se pueden ver en aprietos después de los terremotos, muy frecuentes en Chile debido a que es un país sísmico.

Con todas estas situaciones que afectan a nuestro país, se hace necesario un dispositivo que pueda ayudar a ubicar a una persona, como por ejemplo el GPS del celular o algún dispositivo GPS comercial. Un excursionista ya lleva demasiado equipo en sus mochilas como para además estar con otro dispositivo adicional o algún tipo de radio de gran tamaño. Un anciano con Alzheimer con riesgo de extravío ya no está en edad de portar dispositivos pesados o que requieran mucho conocimiento tecnológico para ser usados. Un bombero o rescatista ya tienen un equipo considerable y con la complejidad de la situación no puede estar viendo algún tipo de dispositivo adicional para ver la posición.

Es por esto que la mejor solución a estos problemas es un tipo de sistema portable y lo menos invasivo posible y que además sea confiable. Es aquí donde la mejor opción es hacer una antena

implementada en una prenda, con materiales textiles. Para que esta antena muestre la ubicación de quien la usa de forma precisa, lo mejor sería que funcione en el sistema de posicionamiento global GPS.

A continuación, se muestra material bibliográfico que abarca el tema de materiales textiles y antenas GPS textiles ya realizadas.

2 Marco teórico y estado del arte

En este capítulo se muestra una revisión de la literatura acerca de las soluciones existentes para la problemática. Se ve en detalle las características de las antenas textiles, como su estructura y el tipo de telas que tienen, así como también se ve el sistema GPS.

2.1 Telas

Las telas dieléctricas deben tener ciertas características para ser tomadas en cuenta. En el caso de las antenas textiles, es normal pensar en telas del mercado para ser consideradas como sustrato, debido a que son flexibles y fáciles de integrar a alguna prenda. Los requerimientos básicos que debe tener un sustrato para ser considerado en una antena textil son [1]:

- Baja tangente de pérdidas para alcanzar buena ganancia y eficiencia.
- Una estructura flexible.
- Los sustratos deben tener un espesor constante con tal de mantener el buen funcionamiento de la antena.
- Debe tener poca absorción a la humedad, para que la antena pueda mantener sus propiedades en ambientes húmedos.

Materiales textiles dieléctricos usados como sustrato en otras antenas GPS textiles [1] han sido:

- Fleece: una tela tipo polar de 4 [mm] de espesor.
- Upholstery fabric: telas para tapicería de 1.1 [mm].
- Vellux: una tela a base de nylon de 5 [mm] de espesor.
- Synthetic Felt: pañolenci o fieltro sintético de 4 [mm] de espesor.
- Cordura: un tejido de poliéster de 0.5 [mm] de espesor.

En cuanto a las telas conductoras que usan para el parche estas deben tener las siguientes características [9]:

- Baja y estable resistencia eléctrica, con el fin de minimizar las pérdidas
- La resistencia de la tela debe ser homogénea a lo largo y ancho de toda su área
- Flexible para que pueda ser doblada
- Que tenga un grado de elasticidad

Para las antenas GPS conformada por los 5 substratos descritos, para el parche se usó una cinta de cobre [1], pero por lo general las cintas o láminas de cobre a pesar de que tienen buenas características eléctricas, no tienen buena flexibilidad [9].

Como alternativa a esta cinta de cobre, se presenta la tela Nora Dell [1], que es una tela conductora metálica a base de fibras de níquel y plata que tiene una resistividad muy baja. Además esta tela conductora es muy flexible, en la Figura 2-1 se ve.

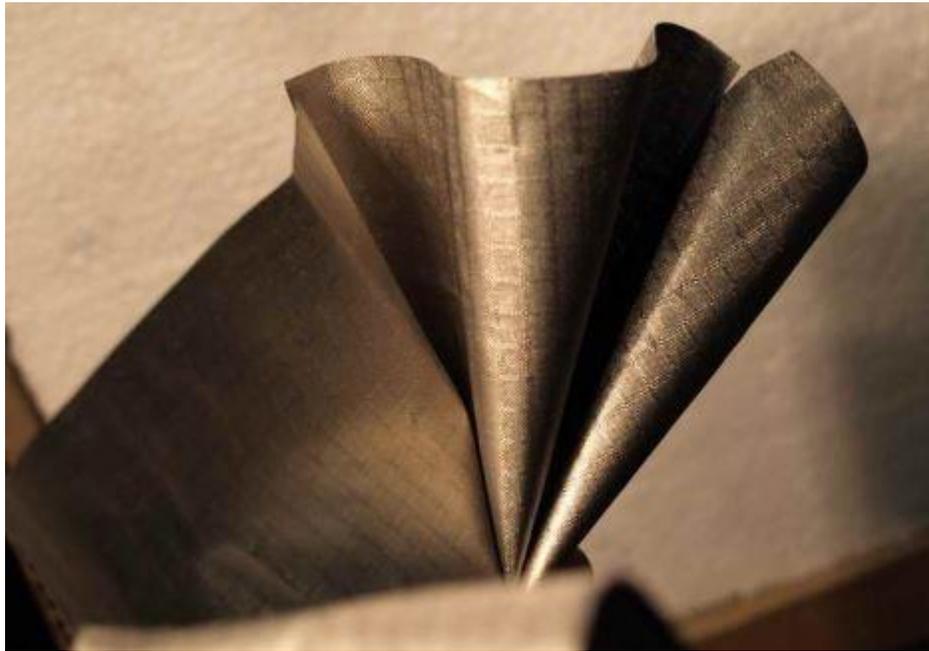


Figura 2 -1 Tela conductora Nora Dell [1]

2.2 Sistema GPS

El sistema GPS o sistema de posicionamiento global en español [5], es un sistema GNSS o sistema global de navegación por satélite, que cuenta con 24 satélites en órbita a 20183 [km] de altura. El sistema cuenta con orbitas circulares de 12 Hrs inclinadas a 55° del ecuador en 6 planos orbitales [5]. Los satélites poseen relojes atómicos con precisión de 1 [us] que se puede mejorar cuando pasa por una estación de monitoreo terrestre. Las estaciones proveen correcciones en el reloj como también información de qué satélites deberían estar visibles en el futuro a 180 días. Para calcular la posición se necesitan 4 satélites simultáneos. Una de las frecuencias que usa es la frecuencia portadora de 1.575 [GHz] [5].

Los principales problemas que enfrenta el sistema son los efectos de la Ionosfera [5] que se encuentra de 50 [km] a 1000 [km], debido a que es una capa que contiene electrones, por lo que las ondas de radio que la atraviesan pueden cambiar su polarización (Rotación de Faraday). El otro problema es la propagación multicamino, este problema ocurre cuando el receptor toma señales del satélite que han viajado por más de un camino, principalmente señales que se han

reflejado en diferentes superficies, como en los edificios. Esto produce imprecisiones a la hora de calcular la posición.

2.2.1 Características de antenas GPS

Las antenas se caracterizan por su polarización, frecuencia y patrón de radiación. Para que funcionen en el sistema GPS deben tener ciertas características con respecto a estas tres categorías. Para la propagación, o como se viaja la onda, es de forma de onda plana, la cual se caracteriza por no tener componente de campo eléctrico ni campo magnético en la dirección de propagación, como se muestra en la Figura 2-2.

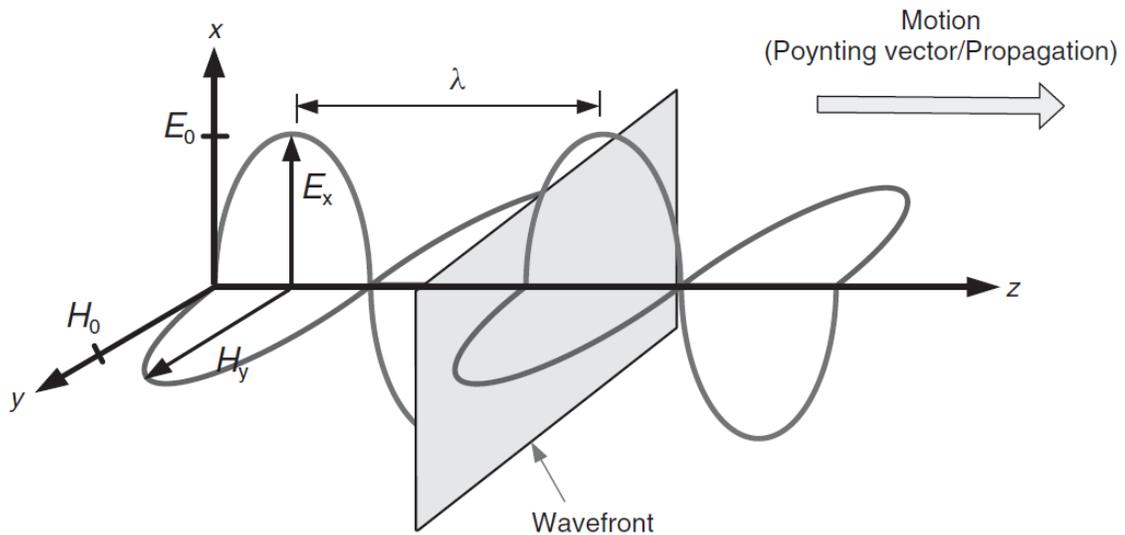


Figura 2 -2 Atributos de una onda plana [5]

La polarización de la onda plana puede ser lineal, circular o elíptica. Para el sistema GPS es necesaria una polarización circular, esto quiere decir que el vector de campo eléctrico rota en la dirección de propagación de la onda, haciendo un círculo en el plano XY que se muestra en la Figura 2-3. La polarización se caracteriza de dos formas, RHCP o polarización de mano derecha donde la onda se propaga en dirección del pulgar derecho y el campo eléctrico gira en el sentido que se curva el resto de los dedos. La segunda forma es LHCP o polarización de mano izquierda donde la onda se propaga en dirección del pulgar izquierdo y el campo eléctrico gira en el sentido que se curva el resto de los dedos como se ilustra en la Figura 2-3.

Se utiliza polarización circular debido a que aumenta la eficiencia de la polarización en la antena receptora, lo que permite que, usando polarización RHCP, no se necesite alinear la antena receptora a diferencia de las otras polarizaciones [5]. Otra razón es porque esta polarización logra combatir la rotación de Faraday en la ionosfera, debido a que al atravesarla solo cambia de RHCP a LHCP, a diferencia de la polarización lineal, que al atravesar la ionosfera cambia su polarización a circular o elíptica, lo que provoca que el receptor logre captar una fracción de la señal [5]. Por último, la polarización circular rechaza las señales multicamino, porque estas señales pasan a ser LHCP luego de reflejarse, por lo tanto, el receptor puede rechazar estas señales [5].

Para tener polarización circular, la razón entre las componentes ortogonales del campo eléctrico debe ser menor a 3 [dB] [5]. Este cociente se llama Axial Ratio, que se explica con más detalle posteriormente.

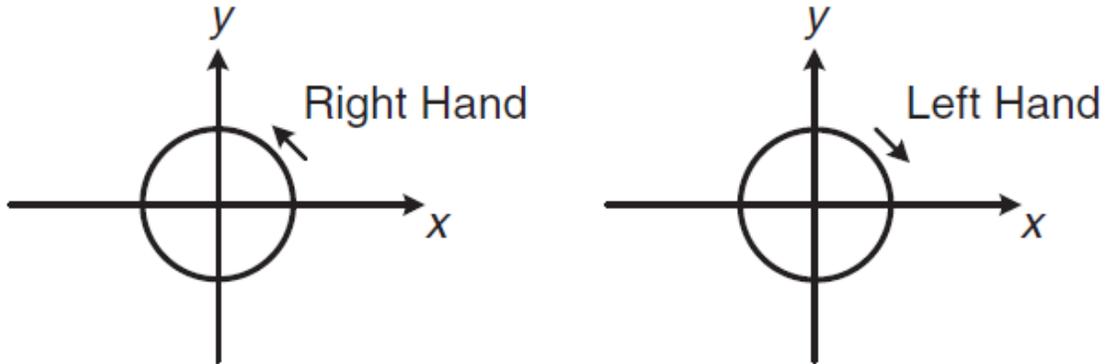


Figura 2 -3 Polarización de mano derecha RHCP e izquierda LHCP [5]

En cuanto a la frecuencia, se utiliza la banda L que es de 1 a 2 [GHz]. Principalmente se utiliza la portadora $L1=1575.42$ [MHz] y $L2=1227.6$ [MHz] [5]. La antena tiene un ancho de banda centrado en estas portadoras, para que la antena esté adaptada.

El patrón de radiación debe tener una forma de semiesfera, debido a que debe abarcar tanto cielo como sea posible [5], esto debido a que debe concentrar toda la potencia en dirección hacia los satélites.

2.3 Teoría antenas microstrip

Las antenas microstrip o antenas tipo parche, están compuestas por un parche irradiante hecho de un material conductor de medidas W por L en la parte superior, que va sobre un sustrato dieléctrico. En la parte inferior va el plano tierra, estructura que se ve en la Figura 2-4 y en la Figura 2-5 vista lateral [4].

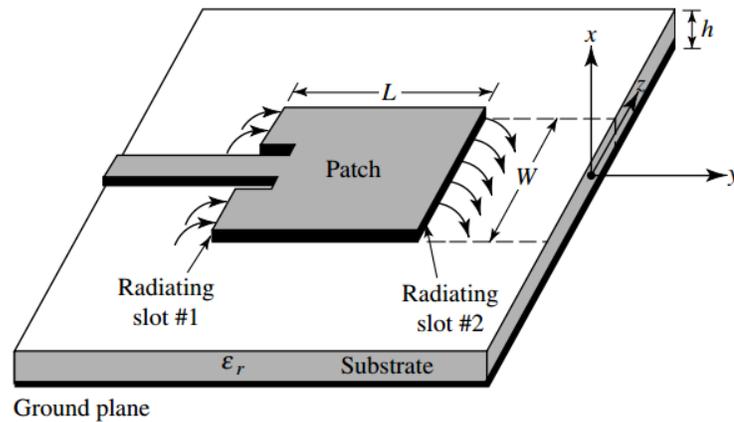


Figura 2 -4 Antena Microstrip [4]

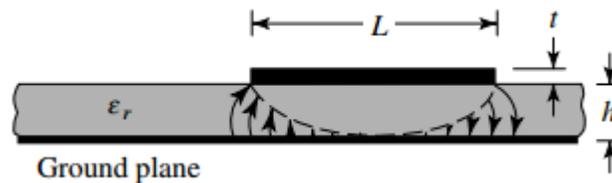


Figura 2 -5 Antena Microstrip vista lateral [4]

En la Figura 2-5 se ve la vista lateral de la antena microstrip, en donde t es el espesor del parche irradiante, L el largo del parche, h el espesor del sustrato y ϵ_r la permitividad del sustrato.

Las ventajas de este tipo de antenas son [4]:

- Mecánicamente robustas y de poco volumen
- Aptas para superficies planas y no planas
- De fabricación simple y poco costosa
- Fáciles de alimentar
- Compatibles con tecnologías MMIC
- Versátiles en términos de frecuencia y resonancia, polarización y patrón.

Desventajas:

- Baja eficiencia debido a las pérdidas en los conductores y dieléctricos
- Baja pureza de la polarización
- Bajo manejo de potencias
- Ancho de banda estrecho

El hecho de que tengan poco volumen, sean aptas para superficies planas y no planas, son características deseables para conformar e implementar una antena en la vestimenta. Que sean

versátiles en cuanto a su frecuencia, polarización y patrón de radiación, permite que pueda ser usada en el sistema GPS.

2.4 Soluciones existentes

2.4.1 Parche cuadrado con dos bordes truncados

Se diseñó una antena portátil GPS con telas, para que informe acerca de la posición de rescatistas. La antena es de estructura microstrip con dos bordes truncados en el parche como se ve en la Figura 2-6 [10]. Se usa este diseño porque los bordes truncados hacen que el vector de campo eléctrico gire, creando la polarización circular [5].

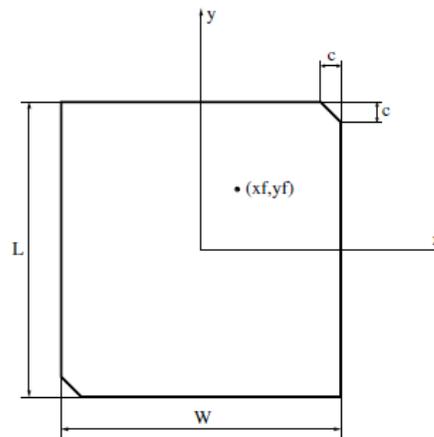


Figura 2 -6 Parche con los bordes truncados [10]

Cuenta con los siguientes parámetros de la tabla 2-1 en donde de tela conductora se usa Flectron y de sustrato se usa una espuma hidrofóbica, con el fin de no impedir el movimiento.

Tabla 2-1 Parámetros del parche diseñado [10]

Parámetros Optimizados	Largo del parche $L = 83.48$ [mm]
	Ancho del parche $W = 78.81$ [mm]
	Largo de los cortes $c = 5.66$ [mm]
	Punto de alimentación $(\pm x f, y f) = (\pm 9.64, 16.5)$ [mm]
Parámetros Fijos	Altura del sustrato $h = 5.55$ [mm]
	Material conductor: Flectron (parche y plano tierra)
	Material del sustrato: espuma protectora
	Permitividad del sustrato $\epsilon_r = 1.12$

Esta antena fue diseñada para toda la banda L1 GPS de 1.56342 [GHz] a 1.58742 [GHz], rango en el cual el coeficiente de reflexión debe ser menor a -10 [dB] y el Axial Ratio menor a 3 [dB] para que funcione. El diseño fue simulado para ver el coeficiente de reflexión, que se muestra en la Figura 2-7.

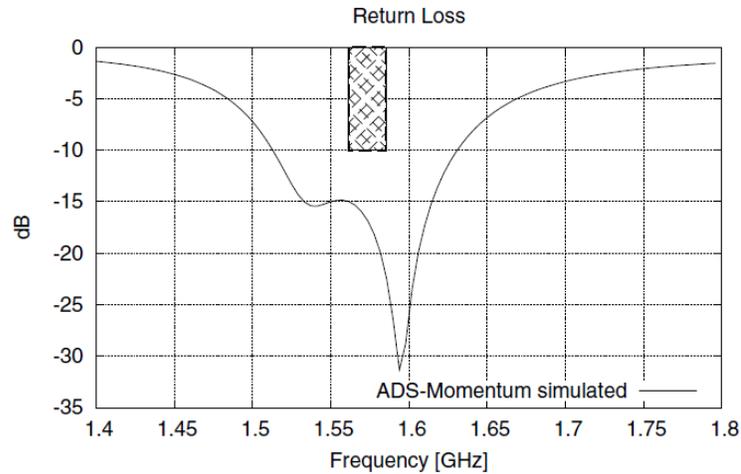


Figura 2 -7 Coeficiente de reflexión simulado de la antena diseñada [10]

En la Figura 2-7 se ve que el coeficiente de reflexión simulado es menor a -10 [dB] entre 1.52 [GHz] y 1.62 [GHz], mostrando que el requerimiento del coeficiente de reflexión está alcanzado.

Para las mediciones, con tal de investigar el funcionamiento realizado del prototipo, se realizaron mediciones en tres situaciones. Siendo los parámetros de evaluación el coeficiente de reflexión, axial ratio y los patrones de ganancia.

El primer escenario fue la medición en espacio abierto, esto es en una cámara anecoica emulando esta situación. El segundo escenario fue colocando la antena bajo una capa combinada de una barrera térmica y de humedad y un recubrimiento externo como se ve en la Figura 2-8. El tercer escenario fue la antena integrada en una chaqueta protectora de bomberos.

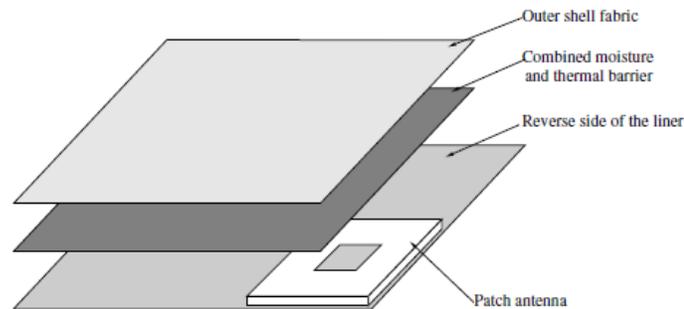


Figura 2 -8 Estructura de capas sobre la antena [10]

Para los tres casos se midió el coeficiente de reflexión que se muestra en la figura 2-9.

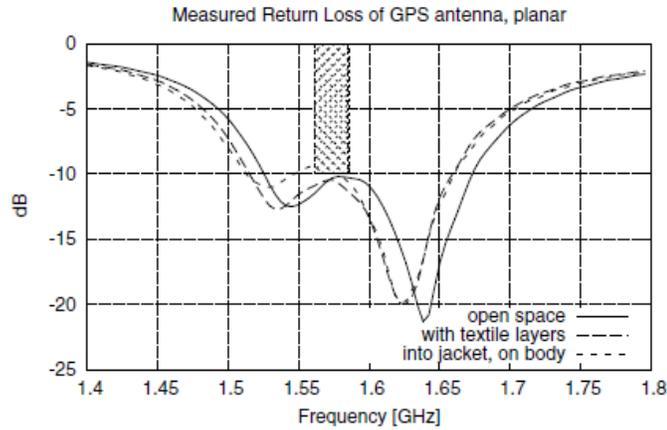


Figura 2 -9 Coeficiente de reflexión en los tres casos [10]

Como se ve en la Figura 2-9, en todos los casos considerados, el coeficiente de reflexión se mantiene satisfactorio sobre la banda GPS-L1, siendo siempre menor a -10 [dB] en espacio abierto y cubierto por las telas, y menor a -9.4 [dB] cuando se integró en la chaqueta.

Al medir el axial ratio para los tres casos como se muestra en la Figura 2-10.

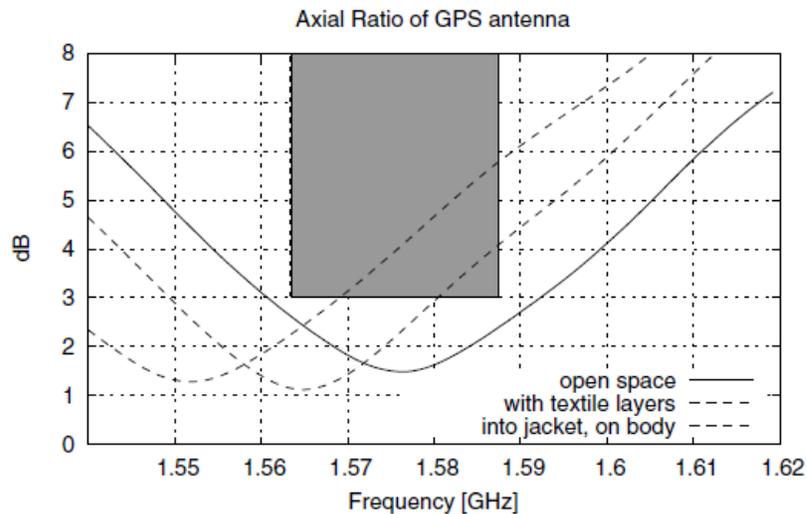


Figura 2 -10 Axial Ratio en los tres casos [10]

En la Figura 2-10 se ve un corrimiento en la frecuencia para los dos casos de operación, donde la antenna está cubierta por telas y cuando está integrada en la chaqueta, con respecto al escenario de espacio abierto. El axial ratio se mantiene menor a 3 [dB] por toda la banda GPS-L1 en el caso de espacio abierto. En el caso de la antenna cubierta por telas, el axial ratio se ve corrido hacia frecuencias menores, manteniéndose menor a 4 [dB] en la banda GPS-L1. En el caso de la antenna integrada en la chaqueta de bombero el corrimiento es aún mayor y el axial ratio se mantiene menor a 6 [dB] en la banda GPS-L1, eso es sobre el límite del requerimiento inicial. Sin embargo,

los valores en los tres casos para la frecuencia central de 1.575 [GHz] se mantiene en un valor aceptable para alcanzar la comunicación GPS, no excediendo el valor de 3.88 [dB] [10]. En los tres casos medidos se ve polarización en el sentido de la mano derecha, como es requerido para el estándar GPS.

Los patrones de ganancia se midieron en una cámara anecoica para los tres casos a lo largo del plano XZ en la frecuencia 1.575 [GHz], los resultados se muestran en la Figura 2-11.

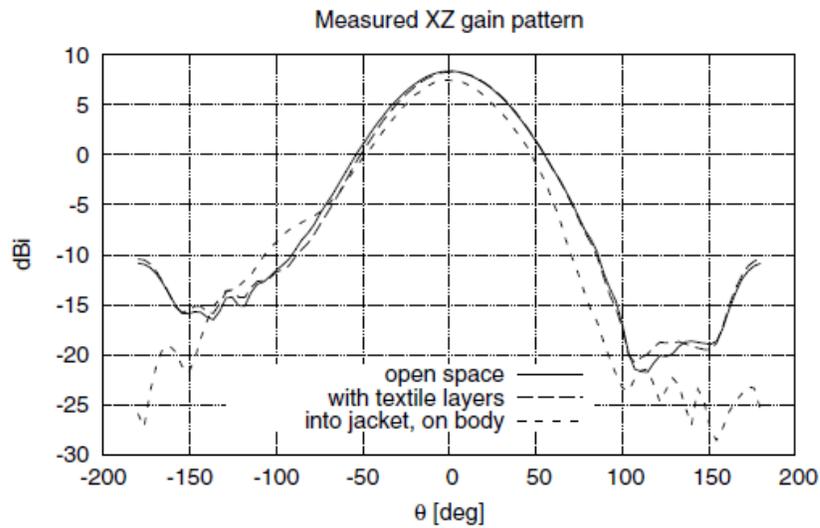


Figura 2 -11 Patrones de ganancia a 1.575 [GHz] para los tres casos [10]

En espacio abierto se observa una ganancia máxima de 8.4 [dBi] que es suficiente para asegurar un buen enlace. En el caso de la antena cubierta con capas se ve que la ganancia disminuye cerca de 0.06 [dB] con respecto a la de espacio abierto, probablemente debido a la disipación de potencia en los materiales textiles, sobre todo porque el recubrimiento externo contiene carbono para hacerlo antiestático. La antena integrada a la chaqueta de bombero tiene una mayor disminución con respecto al espacio abierto de 0.9 [dB], probablemente producto de la interacción con el cuerpo humano.

Los resultados quedan recopilados en la tabla 2-2

Tabla 2-2 Mediciones a la anchura del lóbulo a -3 [dB] y ganancia máxima para los tres casos [10]

	Espacio Abierto	Con capas textiles adicionales	Integrada a la chaqueta de bombero
max(G xz [dBi])	8.4	8.34	7.52
-3 [dB] ancho lóbulo XZ [°]	63	62.1	56.7

Los valores máximos de ganancia y el ancho de lóbulo de -3 [dB] que se ven en la tabla 2-2 son lo suficientemente altos para garantizar una transmisión confiable.

Con estas mediciones se concluye que la antena GPS propuesta hecha de materiales textiles es capaz de cubrir la banda GPS-L1 completamente en espacio abierto. En las dos situaciones posteriores, la antena recubierta por las telas y la implementada en la chaqueta de bombero, muestra que el rendimiento se degrada un poco, aunque continúa siendo aceptable. Por lo tanto la antena propuesta representa una solución viable para el uso de sistemas textiles portables para los rescatistas.

2.4.2 Parche cuadrado con ranura en forma de H

Para hacer un análisis de telas conductoras se propone una antena parche con ranura tipo H [11] como se ve en la figura 2-12, porque es capaz de suprimir el lóbulo que va en dirección trasera [11]. Este estudio se concentra en la ganancia y coeficiente de reflexión de la antena propuesta, para tres tipos de conductores textiles.

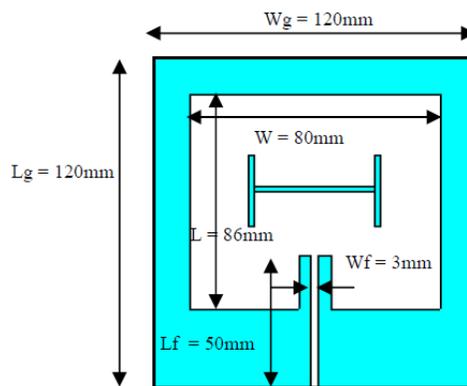


Figura 2 -12 Estructura antena con ranura H [11].

En esta investigación, se diseñó el parche para el sistema GPS con la frecuencia de 1.575 [GHz], el parche es un parche rectangular con una ranura en forma de H que se ve en la Figura 2-12. Las telas conductoras usadas como parches irradiantes fueron Zelt, Pure Copper Taffeta Fabric y

Shieldit Super. Para todas las antenas implementadas se alimentaron con una sonda coaxial SMA de 50 [Ohms]. Para el plano tierra se usó una hoja de cobre de 120 [mm] x 120 [mm]. El sustrato usado es una espuma de permitividad relativa de 1.006 y un espesor de 3 [mm]. Las propiedades conductoras de las tres telas conductoras se ven en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Propiedades de los tres conductores [11]

	Zelt	Pure Copper Taffeta Fabric	Shieldt Super
Espesor [mm]	0.0635	0.08	0.15
Conductividad [S/m]	1.749×10^5	2.5×10^5	6.67×10^5
Resistencia Superficial [Ω]	0.05	0.05	1

Luego de simular las tres antenas, los coeficientes de reflexión se ven en la Figura 2-13.

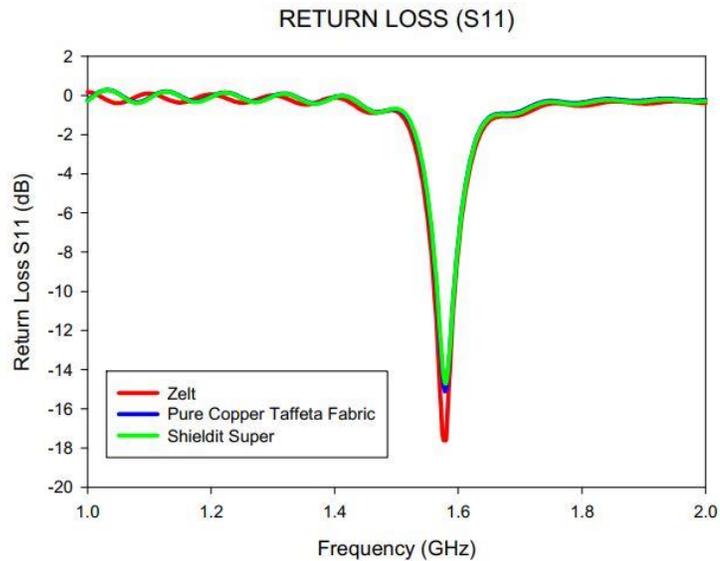


Figura 2 -13 Coeficiente de reflexión medido de las telas conductoras

En la Figura 2-13 se ven los coeficientes de reflexión de los tres casos, en donde las antenas fueron diseñadas para 1.575 [GHz] bajo el coeficiente de reflexión de -10 [dB] que indica que el 90% de la potencia es transmitida y el 10% es reflectada.

Los valores del coeficiente de reflexión y los valores de la ganancia obtenidas están en la tabla 2-4.

Tabla 2-4 Coeficiente de reflexión, ganancia y eficiencia para los tres materiales [11]

	Zelt	Pure Copper Taffeta Fabric	Shieldit Super
S11 [dB]	-17.6	-14.5	-13.9
Ganancia [dBi]	6.735	7.564	7.7
Eficiencia de Radiación	0.858	0.962	0.978
Eficiencia total	0.843	0.928	0.939

Para la antena de Zelt el coeficiente de reflexión es de -17.6 [dB], para la antena de Pure Copper Taffeta Fabric es de -14.5 [dB] y para Shieldit Super es de -13.9 [dB]. Entonces se concluye que las tres antenas funcionan en la frecuencia de 1.575 [GHz], que el Zelt es el material irradiante con mejor coeficiente de reflexión de -17.6 [dB]. Shieldit Super es el material irradiante que obtuvo la mejor ganancia de 7.7 [dB]. Con estos resultados y mediante otras técnicas de integración a prendas, las antenas propuestas tienen potencial para ser implementadas en la vestimenta en aplicaciones GPS.

2.4.3 Parche cuadrado con ranura en forma de polígono

Para una posible aplicación de monitoreo de la salud de pacientes o de posición de rescatistas, se diseña una antena textil para ser implementada en una prenda, para así no interferir con otros componentes o dispositivos. Es por esto que se desea que la antena funcione en el sistema GPS e Iridium. Para esto la antena tiene que ser flexible y de doble banda para ambos sistemas y de preferencia, que tenga polarización circular de mano derecha cuando esté doblada.

Para esto se diseñó una antena tipo parche plana debido a su bajo perfil, óptimo para integrarlo en una prenda. El diseño seleccionado tiene una geometría particular, un rectángulo con una ranura en forma de polígono como se ve en la Figura 2-14, debido a que está demostrado que alcanza la polarización circular [12] y que además se obtiene un ancho de banda amplio [12], lo suficiente para abarcar GPS en 1.575 [MHz] e Iridium que tiene una banda de 1621.35 [MHz] a 1626.50 [MHz] [12]. En este caso es necesario ese ancho de banda para cuando esté doblada, debido a un posible cambio en la frecuencia en este estado. Para asegurar el correcto funcionamiento hasta cuando estuviera doblada, se agregó 30 [MHz] al diseño.

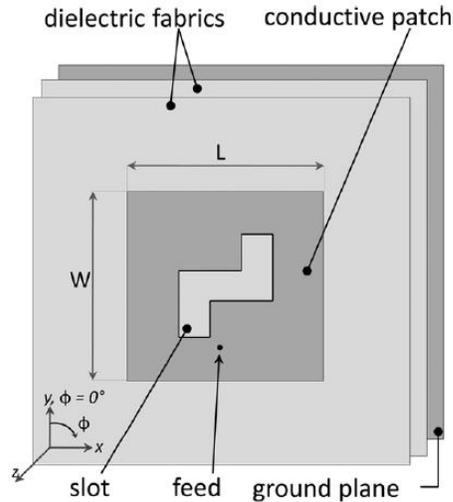


Figura 2 -14 Estructura de la antena con ranura de forma de polígono [12]

Para la elección de los materiales, estos no deben absorber humedad y tolerar temperaturas de soldadura. De muchos materiales los materiales escogidos fueron Cordura para el sustrato, y el parche irradiante y el plano tierra con un nylon de pocas pérdidas chapado en cobre. Se usaron 2 capas de dieléctrico para obtener un determinado espesor de 3 [mm] y se alimentó por medio de un cable SMA (coaxial miniatura) cerca del centro, como se ve en la Figura 2-14. Para la obtención de la permitividad del sustrato Cordura, se hicieron tres mediciones separadas en tres direcciones ortogonales, usando un método de resonancia por cavidad. Los resultados obtenidos fueron de $\epsilon_x=1.88$, $\epsilon_y=1.91$ y $\epsilon_z=1.67$.

En un principio al medir el prototipo, este resonaba a una frecuencia menor con respecto a la simulación, por lo que se construyó un segundo prototipo y al volver a medir se ve en la Figura 2-15 que hay una diferencia de 50 [MHz] entre la simulación y los valores simulados.

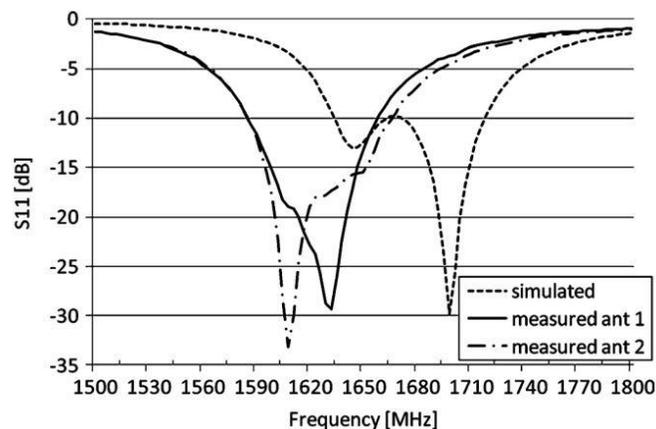


Figura 2 -15 S11 simulado y medidos [12]

Esto es posible que se deba a una inexactitud de la permitividad medida del material.

Para examinar los efectos ocurridos al doblar la antena, esta se dobló en 4 posiciones diferentes como se ilustra en la Figura 2-16.

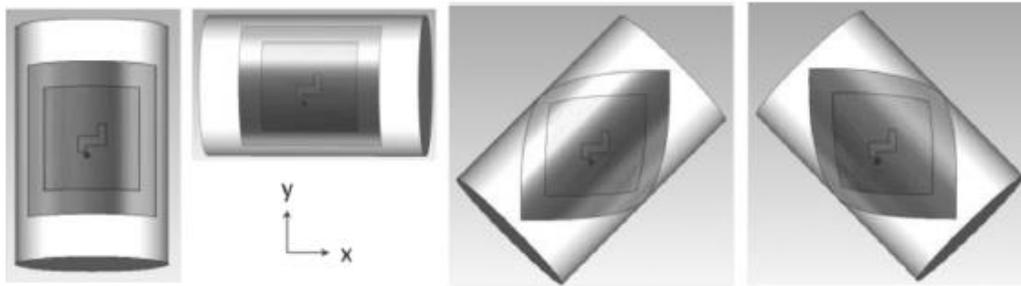


Figura 2 -16 Direcciones de doblado de la antena con respecto a X, Y, Y-45° e Y+45° [12]

El radio de curvatura para doblar fue de 50 [mm], correspondiente al brazo humano, en el peor caso. El doblado fue realizado con un medio tubo.

Los coeficientes de reflexión para los diferentes casos se ilustran en la Figura 2-17.

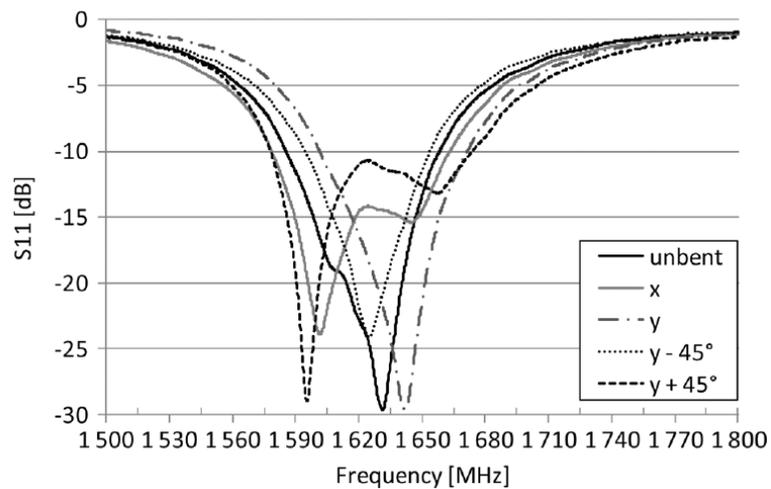


Figura 2 -17 Coeficientes de reflexión para las distintas posiciones [12]

Al medir el coeficiente de reflexión en los diferentes casos, el ancho de banda en el que se aseguran los -10 [dB] es de 53 [MHz] como se ve en la Figura 2-17.

La eficiencia total medida para la antena sin doblar y doblada en los 4 casos, se muestra en la Figura 2-18.

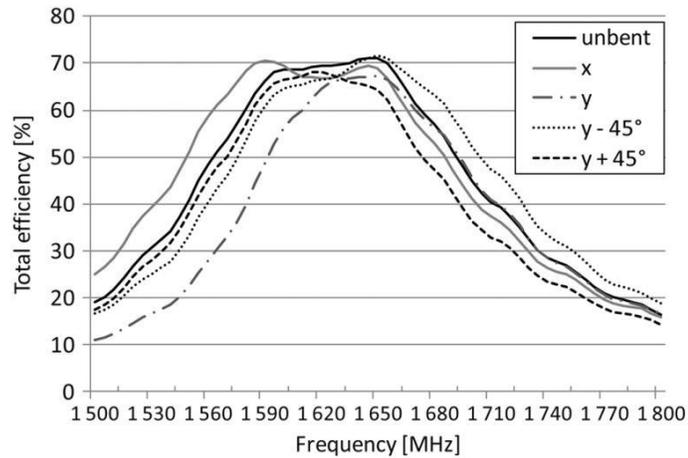


Figura 2 -18 Eficiencia total para la antena sin doblar y para los 4 casos

En la Figura 2-18 se ve que la eficiencia se mantiene relativamente al doblar las antenas, quedando cerca de un 70% a lo largo de la banda, hay que notar que al doblar en la dirección Y es el peor caso, afectando la eficiencia en la banda más que en las otras direcciones.

El axial ratio medido se muestra en la Figura 2-19, si la curva de la dirección Y es separada, hay 28[MHz] de ancho de banda en donde el axial ratio se mantiene menor a 5 [dB], independiente de como esté doblada, lo que indica que se alcanza la polarización circular.

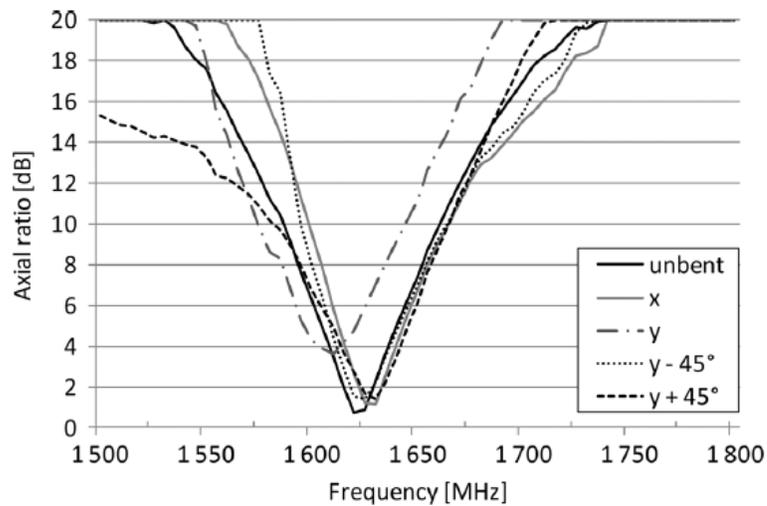


Figura 2 -19 Axial ratio para los distintos casos con $\theta=0^\circ$ [12]

Con todos estos resultados se ve que las dos antenas tienen buena adaptación tanto para Iridium como GPS. También al doblar en las diferentes direcciones el axial ratio se mantiene menor a 5 [dB] en Iridium (excluyendo el dobles en la dirección Y), mientras que para la antena GPS la polarización que se alcanza es elíptica, que sirve para el sistema. Con esto, las antenas son buenas candidatas para una posible aplicación en la vida real.

2.4.4 Parche cuadrado con dos bordes truncados alimentado por línea microstrip.

Las antenas microstrip normalmente operan en superficies planas, mientras que una antena en una prenda funciona tanto en estado plano como doblado. El interés para que funcione en una prenda es para que pueda ser usada con algún sistema de monitoreo, como el sistema GPS. Por eso es que se diseñó una antena textil microstrip para que funcione en GPS, en la cual se analizó la polarización circular, para la antena en estado normal y doblada.

El diseño propuesto es el de un parche cuadrado, el cual se trunca dos esquinas opuestas, con el fin de obtener así polarización circular [13]. La antena está compuesta de fieltro, como material dieléctrico, con forma de cuadrado de medidas $W \times L$ como se ve en la Figura 2-20, la constante dieléctrica para 1.575 [GHz] es de 1.22. Encima va el parche con los bordes truncados alimentado por una línea microstrip de 1.7 [mm] de espesor y en la parte de abajo va el plano tierra. Ambos elementos radiantes son de Shieldit Super, el diseño se puede ver en la Figura 2-20.

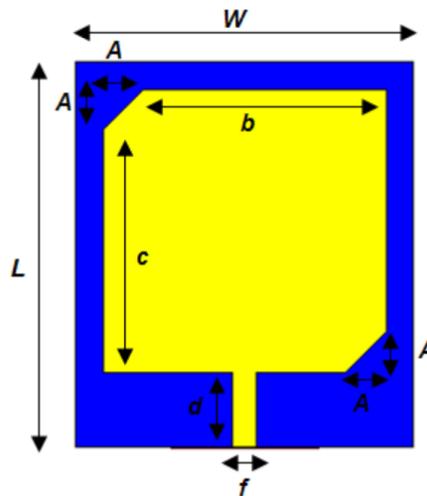


Figura 2-20 Estructura de la antena parche [13]

Las dimensiones están en la tabla 2-5.

Tabla 2-5 Valores de los parámetros [13]

Parámetros	L	W	A	b	c	d	F
Valor [mm]	113	99	12	71	71	22	7

La antena se probó para distintas posiciones, estando plana y doblada en diferentes ángulos, 5°, 25°, 45°, 65° y 85° siendo el dobles en el eje Y, o sea que el arco se realiza a lo largo de L, como se ve en la Figura 2-21.

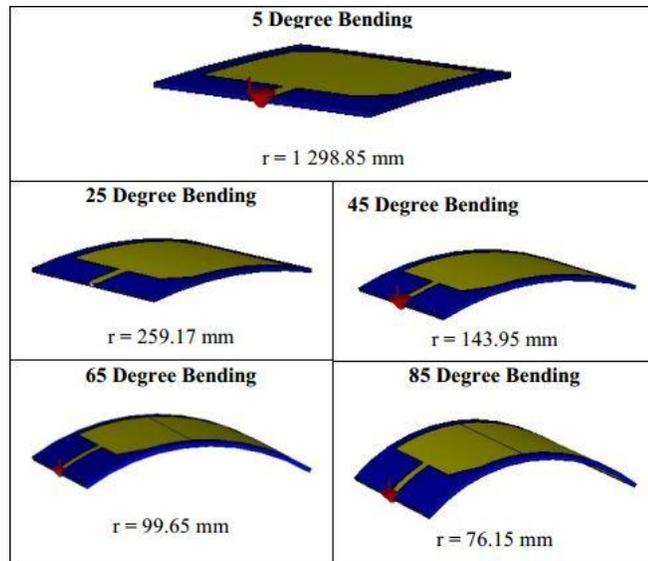


Figura 2 -21 La antena en diferentes condiciones de doblado [13]

La antena con todos los casos fue simulada en el software CST Studio Suite 2014, en el cual el desempeño de la antena se evaluó basándose en el coeficiente de reflexión, axial ratio y patrón de radiación con su ganancia.

Los coeficientes de reflexión simulados para los diferentes casos se ven en la Figura 2-22.

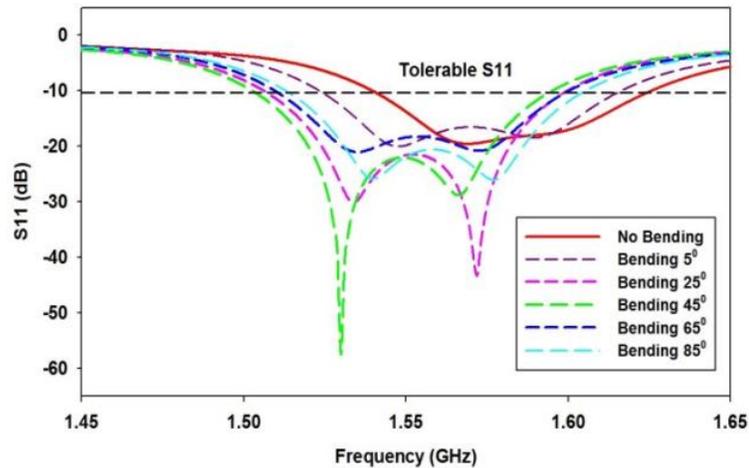


Figura 2 -22 Coeficientes de reflexión para las diferentes posiciones [13]

En la Figura 2-22 se ve que para la antena sin doblar se obtiene un ancho de banda de 85 [MHz] para los -10 [dB], 91 [MHz] para el caso de 5°, 91 [MHz] para 25°, 89 [MHz] para 45°, 90 [MHz] para 65° y 89 [MHz] para 85°. La frecuencia de operación para los casos doblados tuvo un corrimiento hacia frecuencias mas bajas, sin embargo, para todos los casos se cubre la frecuencia GPS de 1.575 [GHz].

El axial ratio se ve en la Figura 2-23.

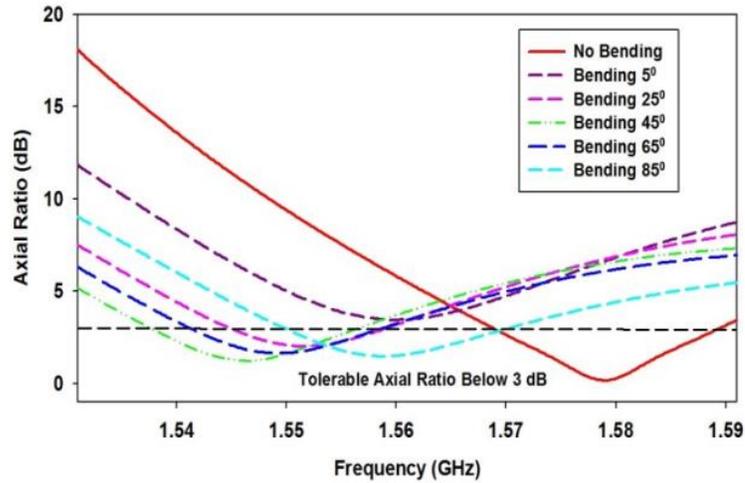


Figura 2 -23 Axial ratio para los diferentes casos [13]

En la Figura 2-23 se ven los resultados de la simulación para los diferentes casos. Para que la polarización circular se alcance, se espera que el axial ratio sea menor a 3 [dB], el resultado muestra que la antena en estado plano es de 1.142 [dB] en 1.575 [GHz]. Para todos los demás casos, a excepción del de 5° que no alcanza a estar menor a 3 [dB], hay un corrimiento de los 3 [dB] hacia frecuencias menores.

Los patrones de radiación simulados para los diferentes casos se ven en las Figuras 2-24 y 2-25.

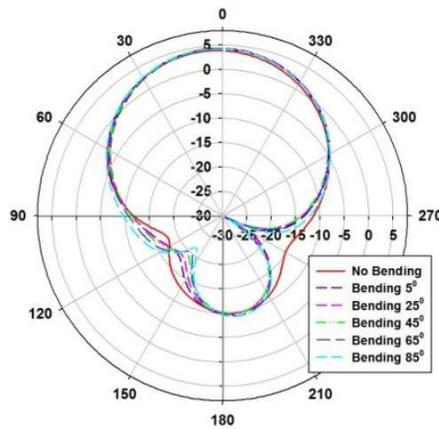


Figura 2 -24 Patrón de radiación simulado para todos los casos en 1.575 [GHz] plano X-Z [13]

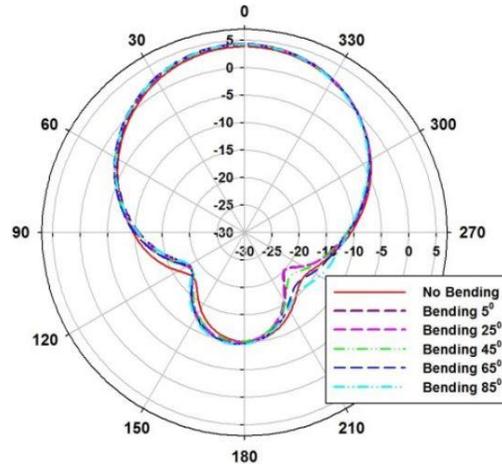


Figura 2 -25 Patrón de radiación simulado para todos los casos en 1.575 [GHz] plano Y-Z [13]

En las Figuras 2-24 y 2-25 el lóbulo mayor del patrón de radiación en los casos donde se dobla, no se ve afectado en comparación al caso plano. Los patrones en el plano X-Z e Y-Z para los casos en donde se dobla, el patrón es similar al de la antena plana.

En la tabla 2-6 se hace un resumen para los diferentes casos.

Tabla 2-6 Resumen de los resultados de las distintas condiciones [13]

	S11 [GHz]	Axial Ratio bajo 3[dB] [GHz]	Ancho de banda del Axial Ratio [MHz]	Ganancia [dBi]
Sin doblar	1.540-1.625	1.569-1.589	20	3.93
Doblada 5°	1.524-1.615	NA	NA	4.17
Doblada 25°	1.507-1.598	1.544-1.559	15	4.34
Doblada 45°	1.504-1.593	1.538-1.556	18	4.22
Doblada 65°	1.509-1.599	1.541-1.559	18	4.33
Doblada 85°	1.513-1.602	1.550-1.569	19	4.25

En la tabla 2-6 se ven los resultados de los diferentes casos, en donde se ve que la ganancia de la antena aumentó un poco en los casos donde se dobla.

A modo de conclusión, la frecuencia de resonancia de las antenas dobladas tuvo un leve corrimiento hacia frecuencias más bajas en comparación a la antena sin doblar. El axial ratio fue menor a 3 [dB] para todos los casos excepto para el caso de 5°. El patrón de radiación de las antenas dobladas no está distorsionado, mientras que la ganancia aumenta un poco. Este estudio muestra que el diseño propuesto es óptimo debido a estos resultados favorables, pero en caso de implementarla en una prenda, habrá que tomar en cuenta otras consideraciones.

3 Caracterización de telas y diseño

En el capítulo anterior se vieron antenas GPS textil con diferentes formas y materiales. De las soluciones existentes, la estructura de parche con dos bordes truncados [10][13] es la más factible debido a su simplicidad en la construcción. El material dieléctrico que usaremos por los buenos resultados obtenidos en [13] y por la facilidad de conseguir, es el fieltro. Como tela conductora usamos Nora Dell [1] por sus propiedades eléctricas y flexibilidad. También para probar otra tela dieléctrica, diseñaremos otra antena usando seda. El fieltro y la seda son telas que abundan en los mercados locales a un precio de 1700 pesos el trozo de 50 [cm] x 50 [cm].

Pero antes de empezar a diseñar la antena, hay que caracterizar el fieltro que consigamos debido a que no es el mismo usado en [13] y es posible que haya variaciones en sus parámetros. Con caracterizar se refiere a obtener los parámetros de permitividad ϵ_r y su grosor. Para esto se usa el método del resonador microstrip de lambda cuarto [3].

En este capítulo se expondrán el proceso de caracterizado de las telas y diseño de las antenas.

3.1 Caracterización de las telas con resonador microstrip de lambda cuarto.

Las telas escogidas son el fieltro y la seda, ambas conseguidas en el mercado local, las cuales se midieron sus espesores y se encuentran en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Espesor de cada tela

Tela	Espesor [mm]
Fieltro	1.5
Seda	0.17

Para medir la permitividad se utiliza el método del resonador microstrip de $\lambda/4$ de stub abierto [3], el cual consiste en encontrar las frecuencias de resonancia que serán sustituidas por el stub

de lambda cuarto. Para encontrar la frecuencia se debe construir el resonador con la estructura de la Figura 3-1. Uno por cada tela.

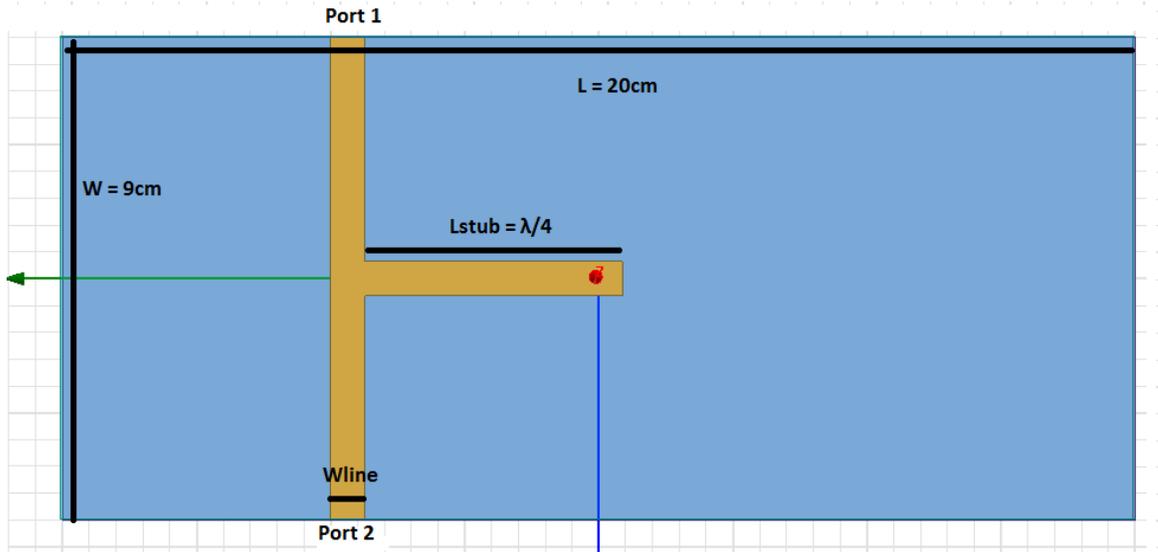


Figura 3 -1 Vista superior resonador lambda cuarto

El resonador de la Figura 3-1 consta de tres partes, la primera es la parte celeste que representa una de las telas escogidas. La parte amarilla vendría siendo la línea microstrip en conjunto del stub. Por ultimo en la parte inferior va el plano tierra, el cual es conformado por un trozo de tela conductora de medidas $W \times L$, pero para efectos prácticos se usa una lámina de cobre de esas medidas.

Primero se caracteriza el fieltro. Como nuestro espectro de interés es de 300[MHz] a 3[GHz] y para mayor precisión diseñaremos el resonador para que nos muestre los primeros dos múltiplos no cero de lambda cuarto, el 1 y el 3, o sea en 800[MHz] y 2700[GHz], aproximadamente.

Primero se calcula la longitud de onda guiada con la ecuación (3-1) [4], con una permitividad estimada de 1.3.

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} * f} = \frac{3 * 10^8}{\sqrt{1.3} * 800 * 10^6} = 0.33[m] \quad (3-1)$$

Por lo tanto, el largo del stub es $L_{stub} = 0.33/4 = 8.2$ [cm].

Para el ancho W_{line} se utilizan las ecuaciones (3-2) y (3-3) [2], estimando una permitividad $\epsilon_r = 1.3$ y un $Z_o = 50$ [Ohms].

$$B = \frac{377\pi}{2Z_o\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3-2)$$

$$\frac{W}{h} = \frac{2\pi}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right], \quad \frac{W}{h} \geq 2 \quad (3-3)$$

Obteniendo $W_{line} = 6.4$ [mm]

La estructura física del resonador es la de la Figura 3-2.

Para la seda, el largo del stub L_{stub} se toma lambda cuarto, para el cálculo de lambda se debe usar lambda guiado, pero para efectos de simplificación utilizaremos lambda corriente como se ve en la ecuación 3-1 [4].

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.575 \cdot 10^9} = 19.0476 [mm] \quad (3-4)$$

Por lo tanto, $L_{stub} = \lambda/4 = 19.0476/4 = 4.76 [mm] = 4.8 [cm]$.

El ancho W_{line} de la línea se calcula también con (3-2) y (3-3) [4], estimando una permitividad $\epsilon_r = 1.3$ y un $Z_0 = 50 [Ohms]$, obteniendo un espesor de 0.8 [mm]. La estructura del resonador se ve en la Figura 3-2.



Figura 3 -2 Resonador lambda cuarto de seda

En la tabla 3-2 se resumen las medidas.

Tabla 3-2 Ancho y largo del stub para las telas

	Espesor Wline [mm]	Largo Lstub [cm]
Filtro	6.4	8.2
Seda	0.8	4.8

3.1.1 Mediciones

Las mediciones se realizaron con un VNA (Vector Network Analyzer) Figura 3-3 el cual se conectó a las sondas coaxiales Port 2 y Port 1 de la Figura 3-1 y se midió el coeficiente de transmisión S21, en una banda menor a 3 [GHz] ya que nuestra antena funcionará en la frecuencia del sistema GPS, hasta 100 [MHz].



Figura 3 -3 VNA Network Analyzer (fuente: <http://miniradiosolutions.com>)

Al conectar el VNA en el port 1 y el port 2 se obtiene la siguiente medición de la Figura 3-4 para la seda.

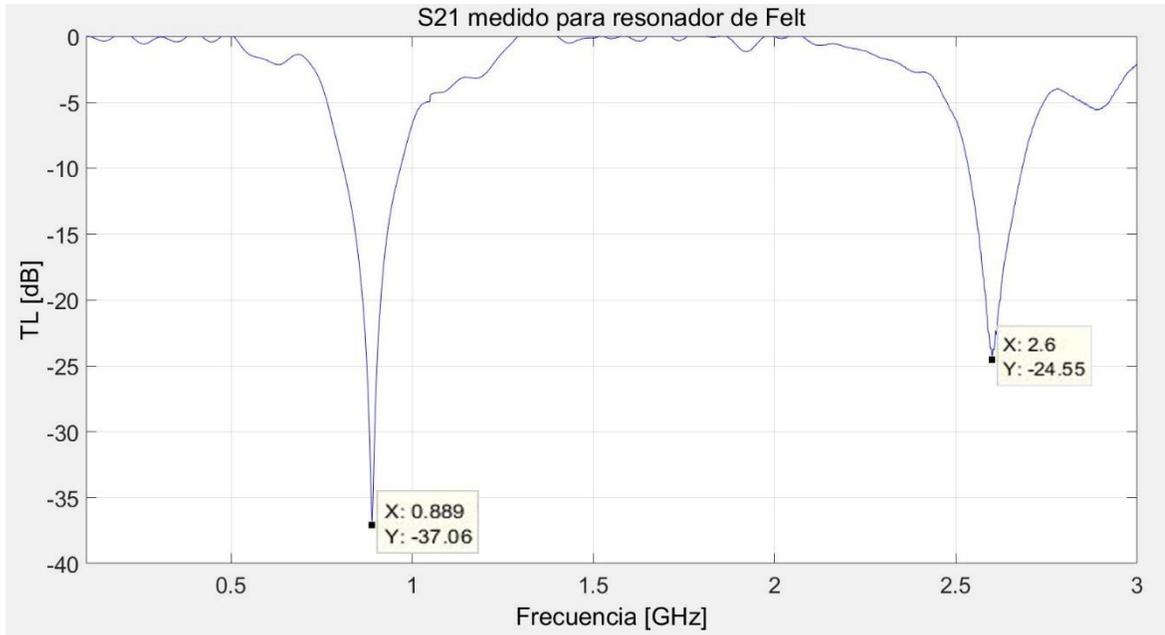


Figura 3 -4 Medición del VNA para resonador de Felt

Como vemos el primer circuito abierto es en $f=890$ [MHz] y el del tercer múltiplo es en $f=2.6$ [GHz].

Con cada frecuencia se calcula con la ecuación (3-5) y (3-6) [3] la permitividad, siendo $n=1$ y $n=3$ para cada caso.

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{n \cdot c}{4 \cdot f_0 \cdot L_{stub}} \right)^2 \quad (3-5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} * \left(1 + 12 * \frac{h_{sub}}{w_{line}} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3-6)$$

Obteniendo permitividades de 1.04 y 1.16 para cada caso.

Al medir la seda obtenemos el S21 de la Figura 3-5.

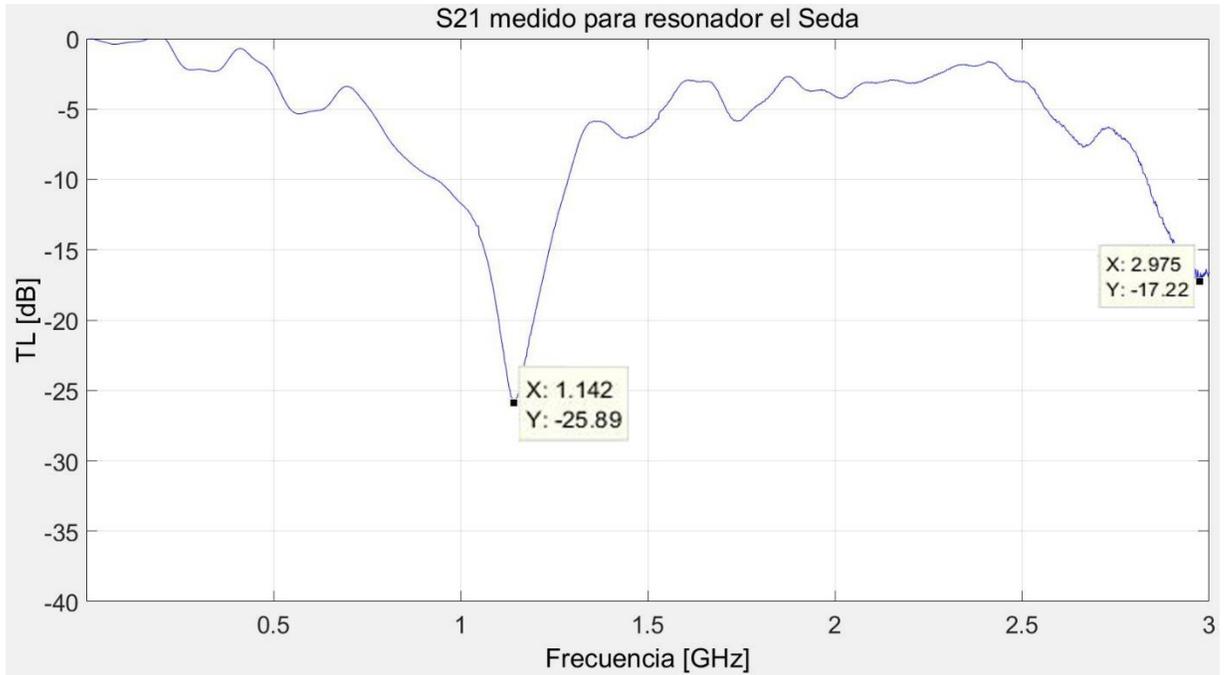


Figura 3 -5 Medición VNA para resonador de seda

En la seda obtuvimos el primer y segundo múltiplo, pero por simplicidad solo utilizaremos la frecuencia del primer múltiplo que es en 1.14 [GHz]. Usando las ecuaciones (3-5) y (3-6) se obtiene una permitividad de 2.15.

3.2 Diseño

Al haber caracterizado las telas dieléctricas, se procede a diseñar las antenas. Para el diseño se necesitan tener los parámetros del espesor y su permitividad para poder hacer uso de las ecuaciones de diseño para el parche irradiante de tela conductora.

El espesor del fieltro es de 1.5 [mm] y su permitividad es de 1.04 para 890 [MHz] y 1.16 para 2.6 [GHz], pero para efectos de diseño utilizaremos el promedio entre las dos permitividades, o sea usaremos 1.1.

El espesor de la seda es de 0.17 [mm], pero debido a que es muy delgada, juntaremos 9 capas para aumentar el espesor, quedando así de 1.53 [mm]. Su permitividad es de 2.15.

Para el diseño del parche se utiliza la expresión (3-7) para calcular el ancho óptimo W_{opt} [4].

$$W_{opt} = \frac{\lambda_o}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3-7)$$

Para el largo del parche, tenemos que calcular la permitividad efectiva ϵ_{reff} primero con la expresión (3-8).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_{opt}} \right]^{-1/2} \quad (3-8)$$

Con esto calcularemos la extensión del largo en la expresión (3-9).

$$\frac{\Delta L}{h} = \frac{0.412(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W_{opt}}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W_{opt}}{h}+0.8\right)} \quad (3-9)$$

Para después calcular el largo L del parche con la expresión (3-10).

$$L = \frac{\lambda_o}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (3-10)$$

Para mayor comodidad alimentaremos la antena por medio de una sonda coaxial en vez de la línea microstrip, para ello se calcula la conductancia de apertura G_1 y la resistencia de entrada en el lado irradiante R_{in} con las siguientes expresiones [4].

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_o}\right)^2 \text{ si } W \ll \lambda_o \quad (3-11)$$

$$G_1 = \frac{1}{120} \left(\frac{W}{\lambda_o}\right) \text{ si } W \gg \lambda_o \quad (3-12)$$

$$R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad (3-13)$$

Con esto calculamos la posición de la sonda coaxial y_o .

$$y_o = \frac{L}{\pi} \arccos \left(\sqrt{\frac{Z_o}{R_{in}}} \right) \quad (3-14)$$

La estructura de la antena queda como en la Figura 3-8.

Para truncar el parche, se saca el 14.5% del ancho y el largo total, como en el diseño de [6], el largo y ancho del dieléctrico es de 100 [mm] por 100 [mm].

Al simular los parches en el software HFSS, hubo que hacer un ajuste fino en las medidas de los parches para obtener la adaptación.

La estructura de la antena con las medidas se ve en la Figura 3-7.

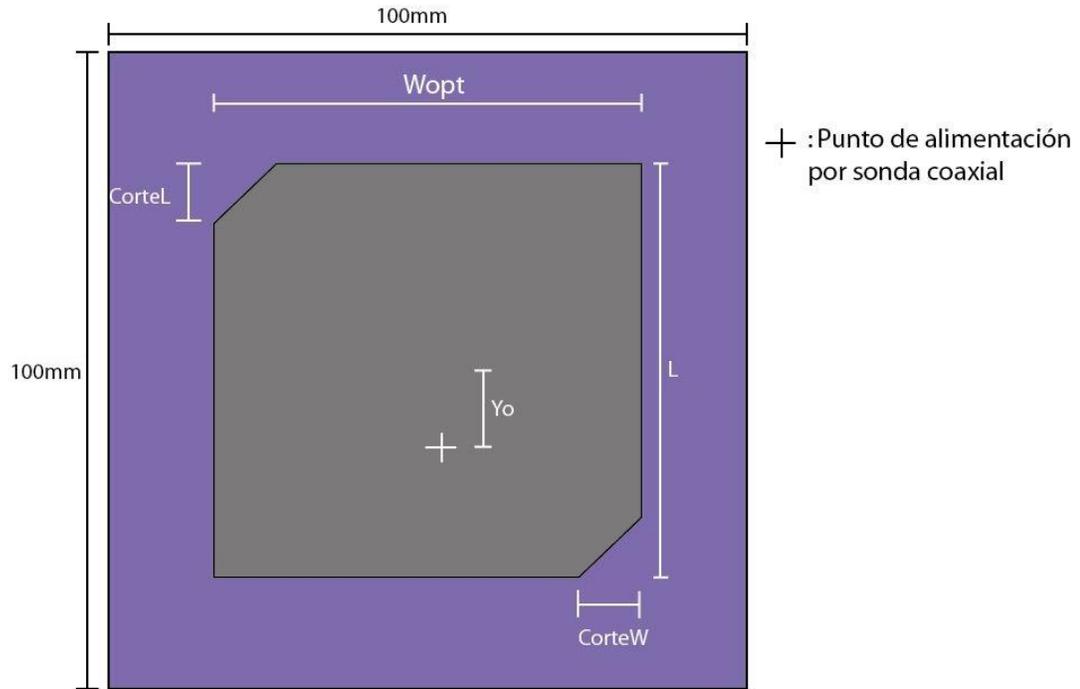


Figura 3 -3 Estructura de la antena

Las medidas calculadas para el parche de la antena de fieltro se ven en la tabla 3-3.

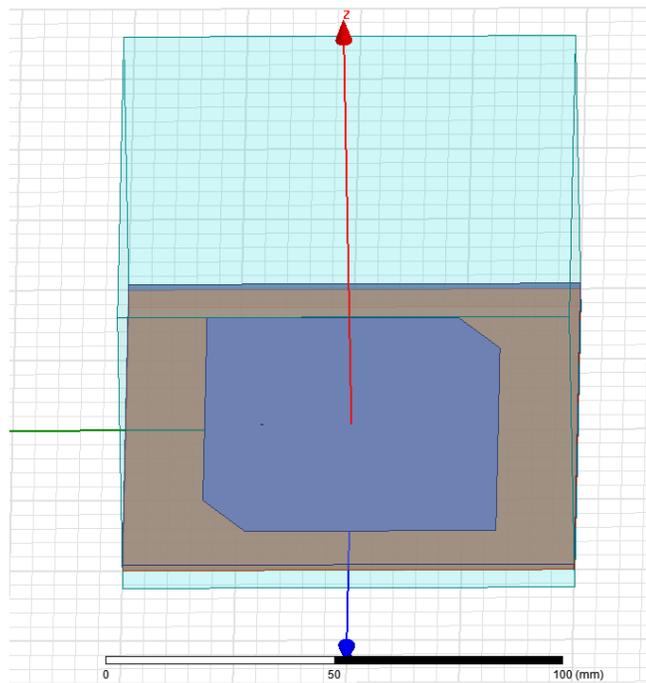


Figura 3 -4 Modelo realizado para la simulación en HFSS

Tabla 3-2 Medidas del parche de la antena de fieltro

Parámetro	Medida en [mm]
Ancho W	87.5
Largo L	87.5
Posición de la sonda coaxial Yo	26
Corte W	13
Corte L	13

Las medidas calculadas para el parche de la antena de seda están en la tabla 3-4.

Tabla 3-3 Medidas del parche de la antena de seda

Parámetro	Medida en [mm]
Ancho W	67
Largo L	65
Posición de la sonda coaxial Yo	12
Corte W	9.8
Corte L	9.4

Estos diseños se simulan en el software HFSS, donde se ve el funcionamiento de estas antenas. Con este software se hace el cuaderno de cargas, se ve la adaptación, el ancho de banda, la polarización y el patrón de radiación con su ganancia.

3.2.1 Frecuencia

Se diseña una antena GPS, entonces debe estar resonando en la portadora del sistema GPS que es 1.575 [GHz]. El tipo de diseño es una antena microstrip o antena parche, estas antenas se caracterizan por tener anchos de banda bajos [4], del orden del 3% de la frecuencia de resonancia. Para que la antena esté adaptada, su coeficiente de reflexión S11 debe ser menor a -10 [dB].

Al simular la antena en el software HFSS, se ve el coeficiente de reflexión en la Figura 3-9.

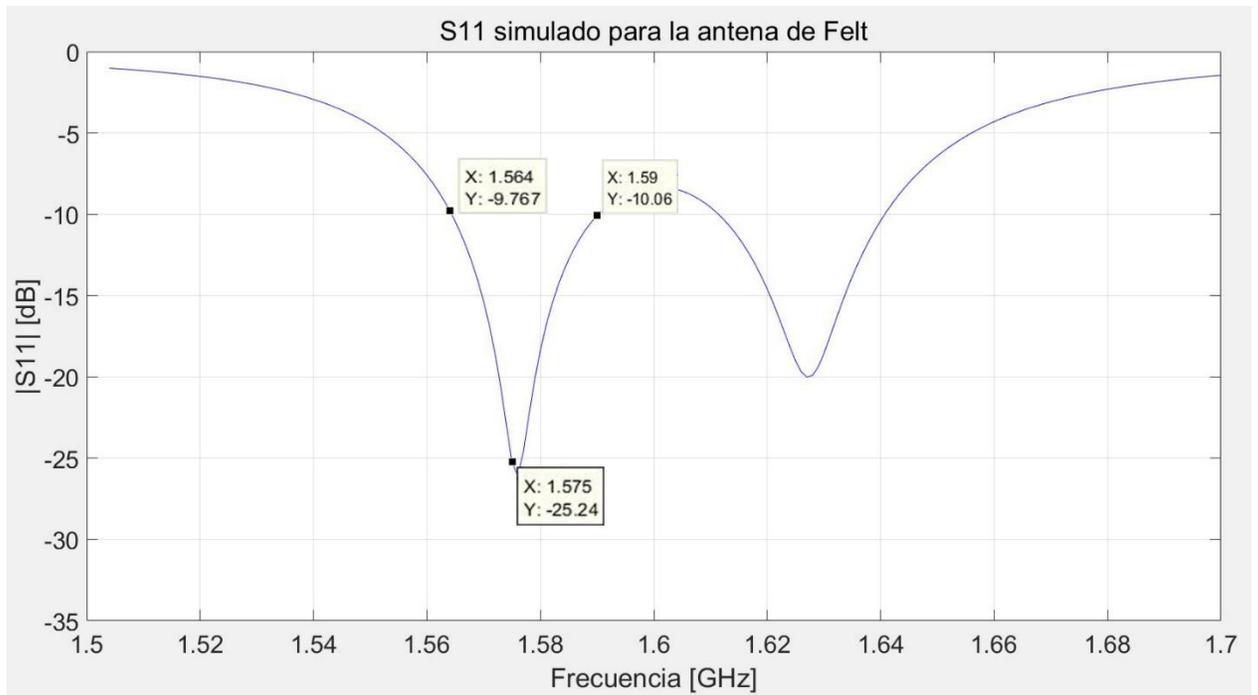


Figura 3 -5 S11 simulado de la antena de fieltro

Se ve que la antena de fieltro está adaptada para la frecuencia GPS teniendo -25.24 [dB] y cuenta con un ancho de banda de 26[MHz], dentro del rango de lo esperado.

En la Figura 3-10 se ve el S11 de la seda.

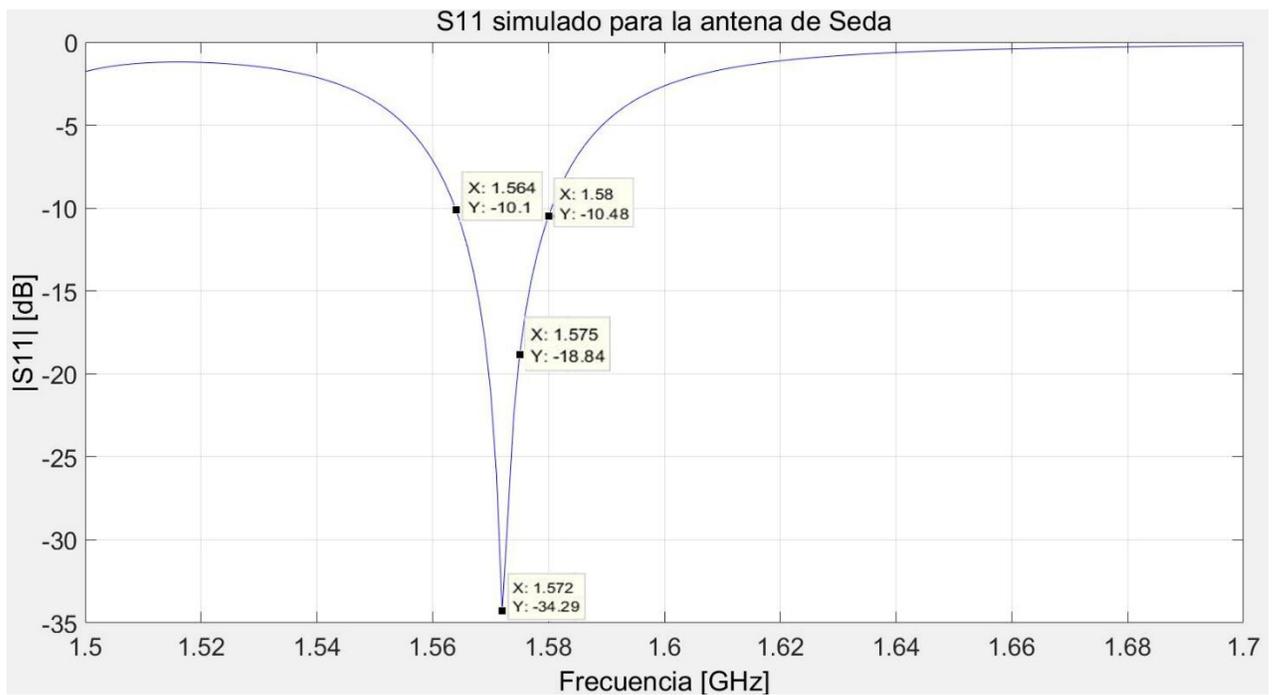


Figura 3 -6 S11 simulado de la antena de seda

Se ve que está resonando en 1.572 [GHz], y el S11 en la frecuencia GPS es de -18.84 [dB], por lo que está adaptada. Su ancho de banda es de 16 [MHz], dentro de lo esperado.

3.2.2 Polarización

Como se está diseñando una antena GPS, esta tiene que tener una polarización circular [5], esto quiere decir que el vector de campo eléctrico rote en dirección de la propagación. Para esto la razón entre las dos componentes ortogonales del campo eléctrico deben ser 1, o sea que tengan la misma magnitud. En la Figura 3-11, se ven las dos componentes ortogonales, OA la mayor y OB la menor.

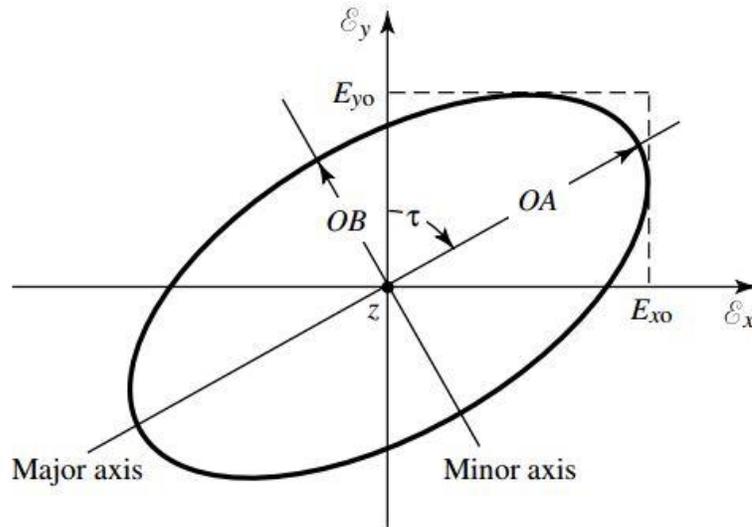


Figura 3 -7 Componentes ortogonales del campo eléctrico visto de forma transversal a la propagación [4]

Al hacer la división de las componentes se obtiene el axial ratio o AR como se ve en la ecuación 3-15 [4].

$$AR = \frac{\text{major axis}}{\text{minor axis}} = \frac{OA}{OB}, 1 \leq AR \leq \infty \quad (3-15)$$

Para que la polarización sea circular, el AR tiene que ser 1 (0 [dB]), pero en la práctica esto no se da, por lo que se busca una polarización elíptica, para esto el axial ratio AR debe ser menor a 3[dB] en la frecuencia de resonancia.

Al ver el axial ratio en la simulación del fieltro obtenemos la Figura 3-12.

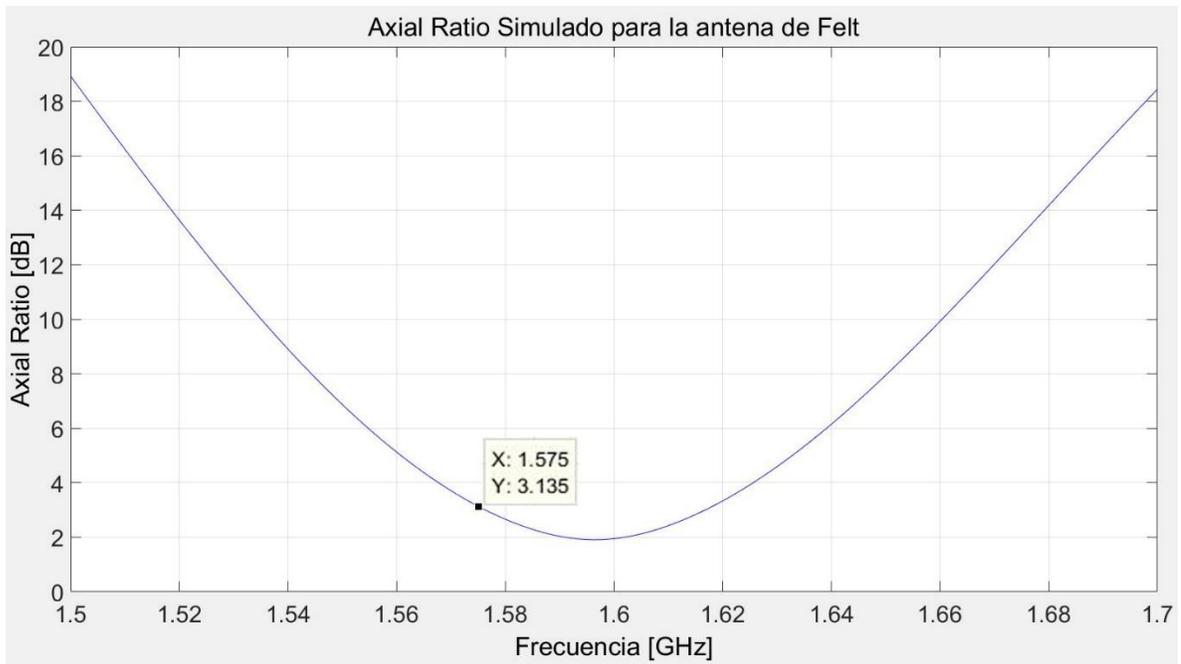


Figura 3 -12 Axial ratio simulado para la antena de fieltro

Como se ve en la Figura el axial ratio en la frecuencia GPS es de 3 [dB], si bien no es menor a 3 [dB], está corrido unas decenas de [MHz], que como ya vimos, es aceptable para este tipo de antenas [2][6].

El axial ratio de la antena de seda simulada se ve en la Figura 3-13.

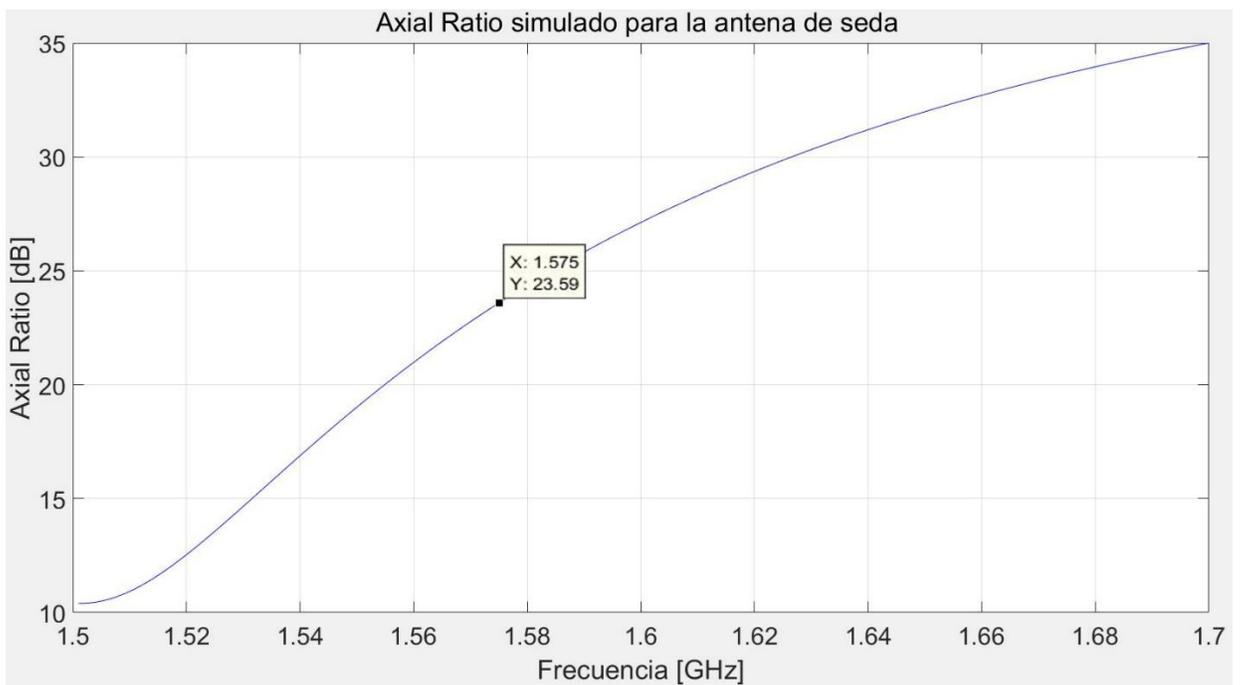


Figura 3 -8 Axial ratio de la antena de seda simulada

Como se ve en la Figura 3-13, el axial ratio está lejos de ser menor a 3 [dB], esto puede deberse principalmente porque el parche no es cuadrado, es de 67 [mm] por 65 [mm]. Esta falta de simetría explica este hecho.

Como la seda es diferente al fieltro en cuanto a textura, espesor y permitividad, construiremos aun así la antena para propósitos educativos.

3.2.3 Patrón de radiación

El patrón de radiación debe irradiar hacia arriba y abarcar tanto cielo como sea posible [5]. De las Figuras 3-9 a 3-11 se ven los patrones de radiación de las componentes de los campos eléctricos y magnéticos, así como también el diagrama 3D, simulados en el software HFSS del fieltro.

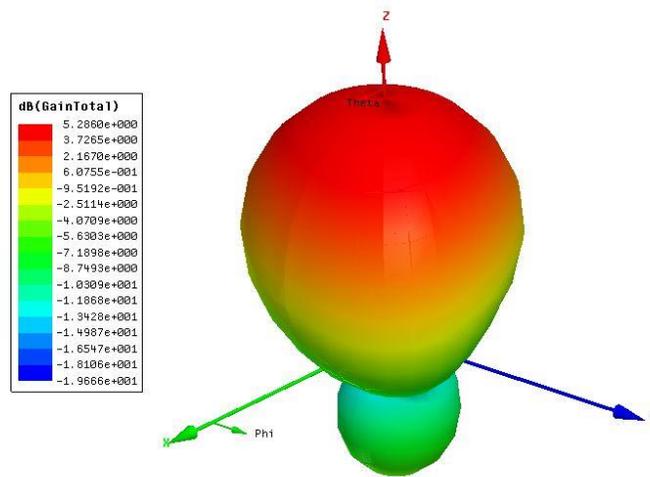


Figura 3 -9 Patrón de Radiación antena de Fieltro

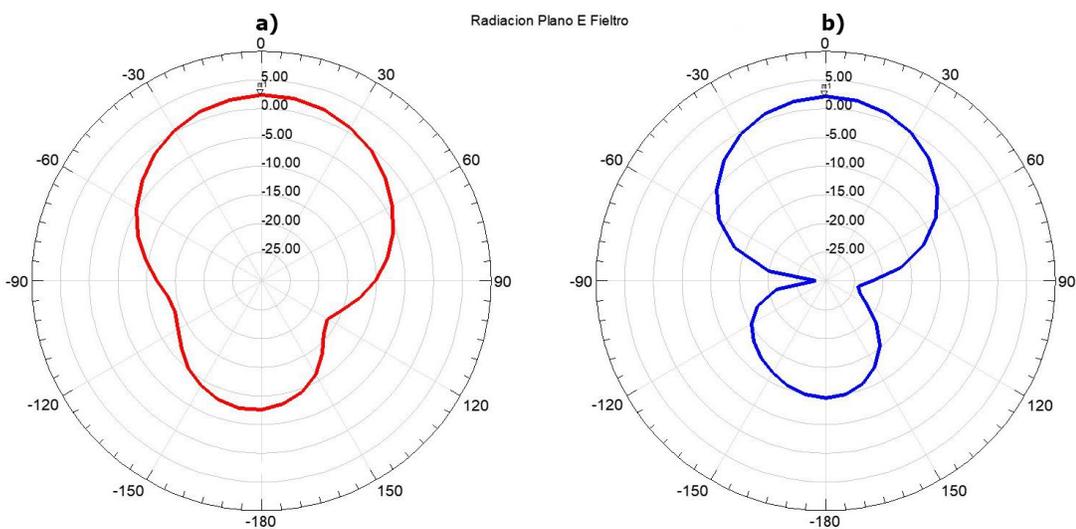


Figura 3 -10 Patrón de radiación Plano E Fieltro a) Phi, b) Theta

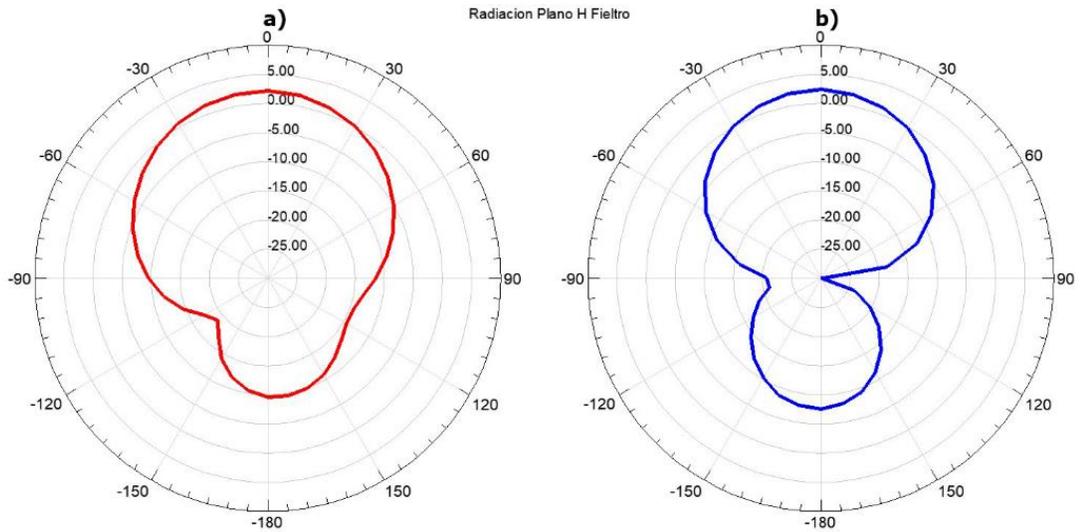


Figura 3 -11 Patrón de radiación Plano H Filtro a) Phi, b) Theta

Como se puede apreciar viendo los patrones de radiación, se ve que se está irradiando hacia arriba, con una ganancia total de 5.286 [dB].

De las Figuras 3-12 a 3-14 se muestran los patrones de radiación de la antena de seda.

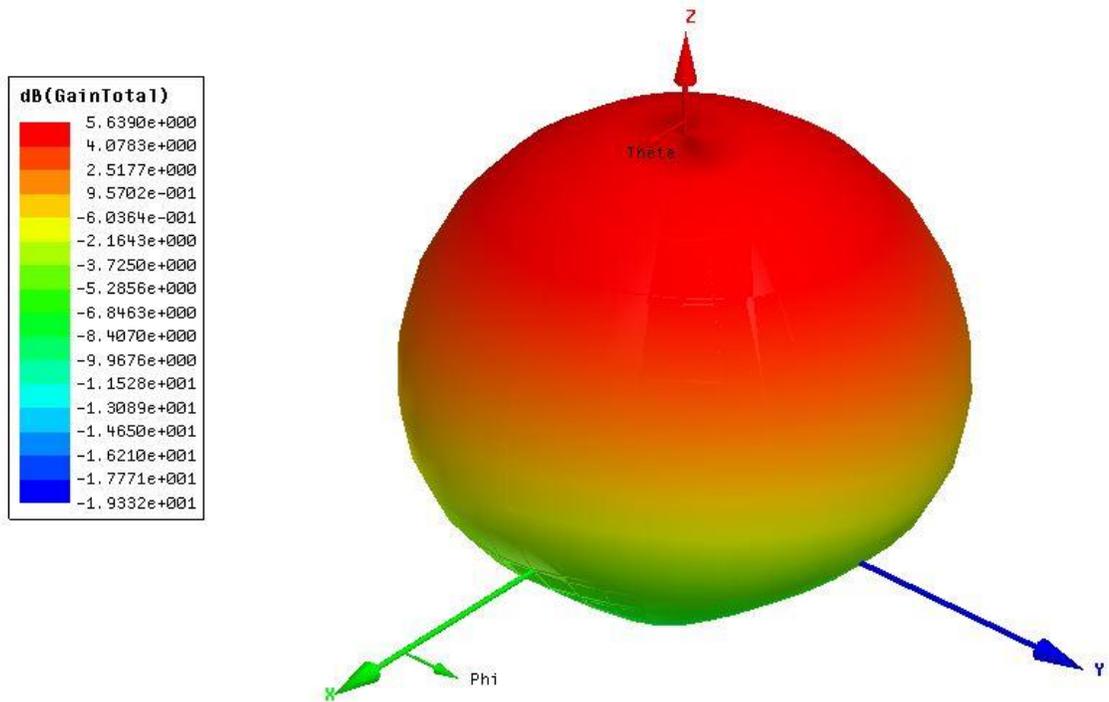


Figura 3 -12 Patrón de Radiación antena de Seda

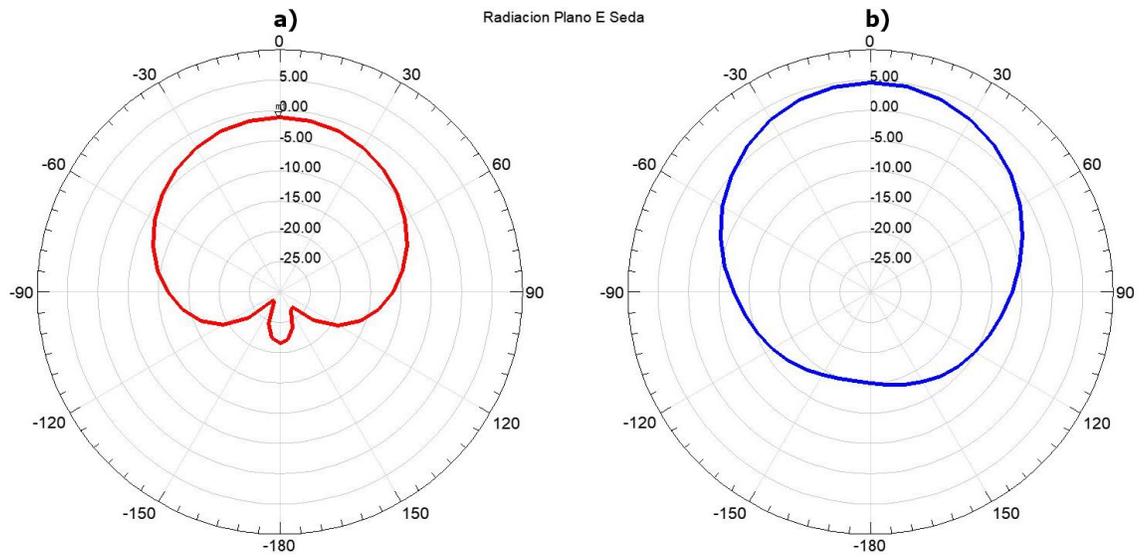


Figura 3 -13 Patrón de Radiación Plano E Seda a) Phi, b) Theta

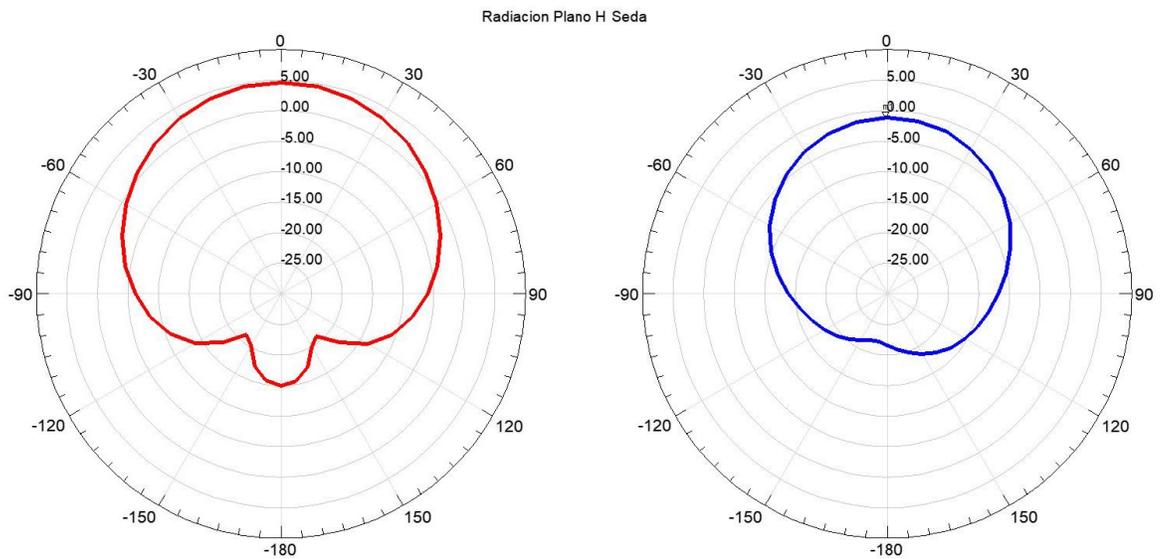


Figura 3 -14 Patrón de Radiación Plano H Seda a) Phi, b) Theta

Al igual que en el caso anterior se ve que está irradiando hacia arriba y con una ganancia de 5.639 [dB].

4 Construcción de antenas y resultados de medición

En este capítulo se especifica cómo fueron construidas las antenas, las técnicas usadas, etc. Posteriormente a esto se midieron los parámetros S11 de cada antena para ver su adaptación.

4.1 Construcción de las antenas

4.1.1 Diseños finales

Primero se repasan los diseños finales, los cuales fueron finalmente construidos. Para el fieltro que tiene un espesor de 1.5[mm] el diseño final fue el que se ve en la Figura 4-1. Este diseño tiene modificaciones al expuesto en las mesas pasadas debido a un error en las simulaciones.

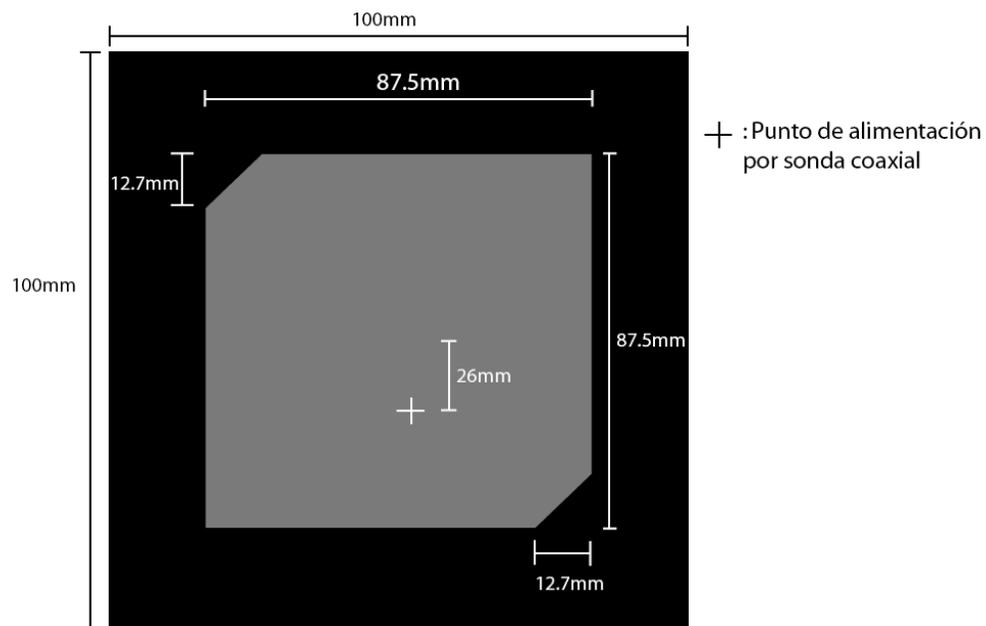


Figura 4 -1 Estructura de la antena de fieltro con sus dimensiones vista desde arriba

Debido a que la seda era muy delgada, se usaron 9 capas para así dar un espesor de 1.53[mm]. El diseño final es el que se muestra en la Figura 4-2.

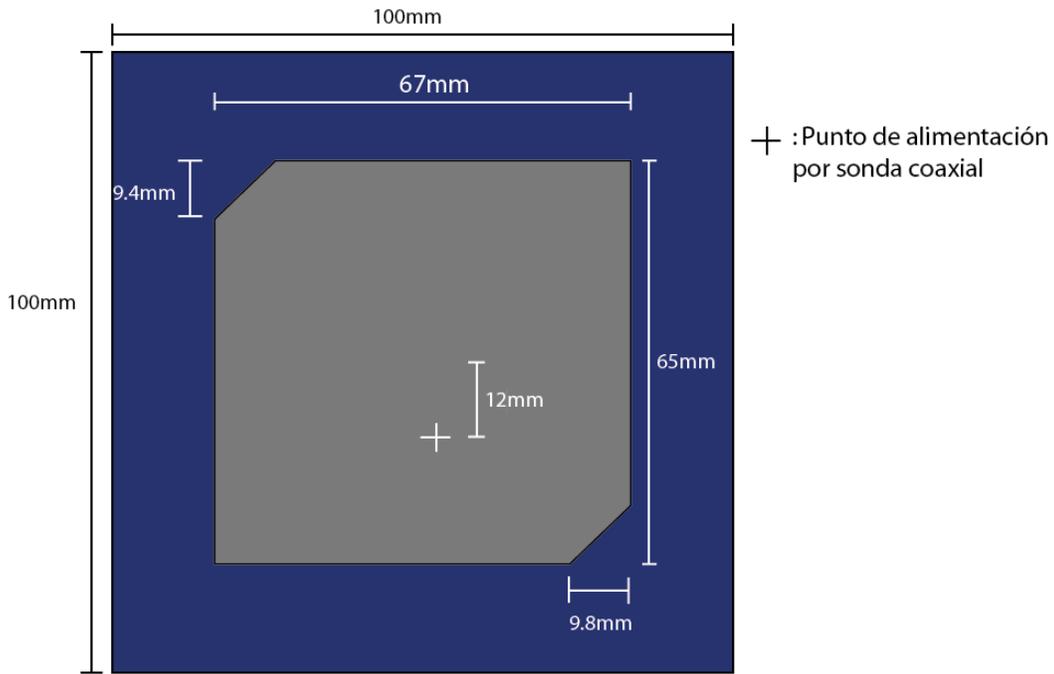


Figura 4 -2 Estructura de la antena de seda con sus dimensiones vista desde arriba

4.1.2 Construcción

Para la construcción de las antenas, primero se cortaron los parches de tela conductora mediante una cortadora láser, así como también se cortaron los cuadrados de las diferentes telas usadas de dieléctrico. Para ello se tuvo que hacer los modelos en un software de diseño vectorial, en este caso se usó Adobe Illustrator. En la Figura 4-3 se muestran uno de los modelos enviados a la cortadora láser.

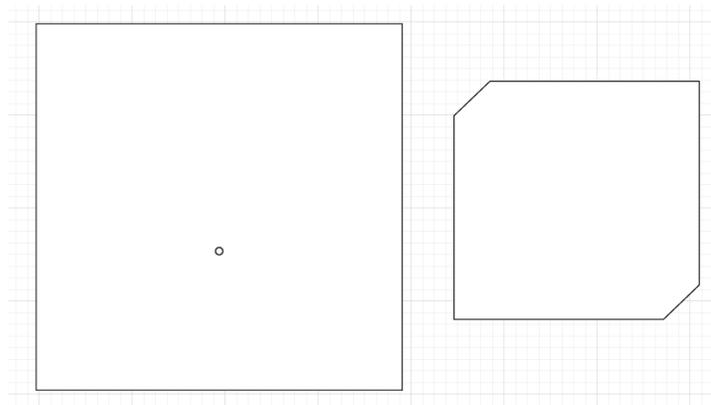


Figura 4 -3 Plano tierra y parche en Illustrator para la cortadora láser

Una vez obtenidos los parches de tela conductora y los cuadrados de las diferentes telas cortadas, se procede a la construcción de la antena.

Primero se pega el plano tierra, el que en la Figura 4-3 contiene un agujero, que es donde va la sonda coaxial, al cuadrado de 100 [mm] x 100 [mm] de la tela usada como dieléctrico. Para adherir se utiliza cinta doble faz, varias tiras pegadas en todo el parche, tratando de cubrir la mayor área posible. Después se pega el parche con los bordes truncados en la otra cara de la tela. Se adhiere de la misma forma que el plano tierra.

Terminado esto se procede a conectar el pin coaxial desde abajo, donde está el plano tierra, este tiene que atravesar la tela, para que haga contacto con el parche. El revestimiento se debe soldar con el plano tierra, y al otro costado también se tiene que soldar el pin con el parche de bordes truncados, como se ve en la Figura 4-4.

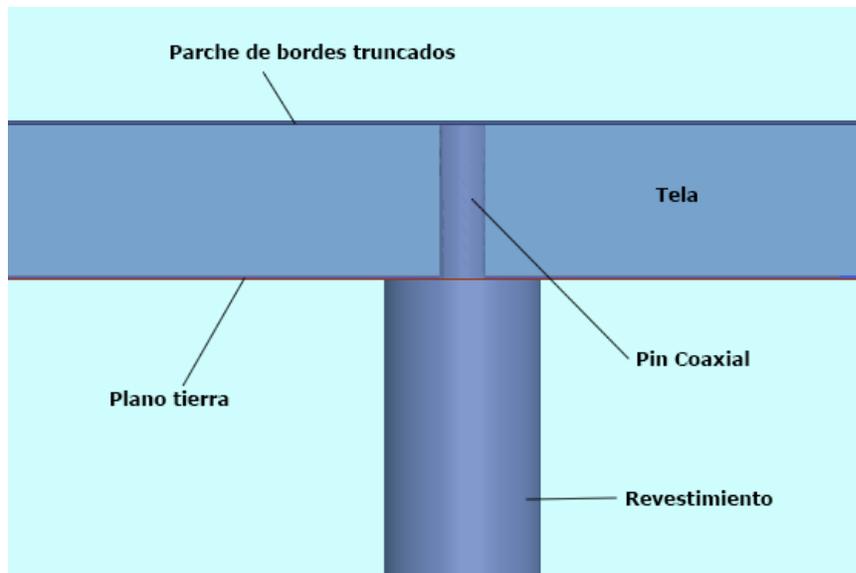


Figura 4 -4 Representación de la conexión del coaxial vista lateral

Para construir la antena de fieltro se realizaron los mismos pasos que en las construcciones anteriores, solo que no se cosió nada porque el fieltro es una sola capa ya que contiene un espesor adecuado. Al cortarlo con láser, hizo que el cuadrado quedara más chico que la medida necesaria, porque para que pase la maquina hay que estirarlo mucho. Es por esto que se terminó cortando a mano. La antena queda como se muestra en las Figuras 4-5 y 4-6.

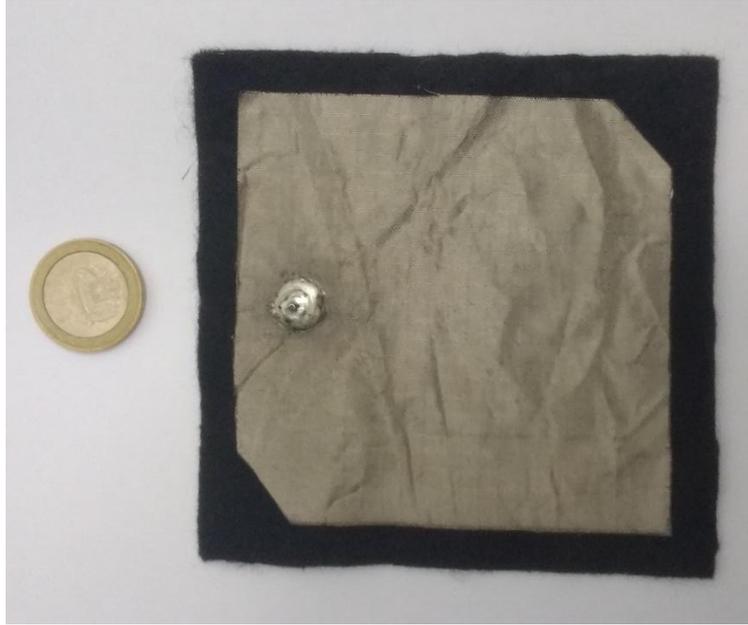


Figura 4 -5 Antena de fieltro vista superior

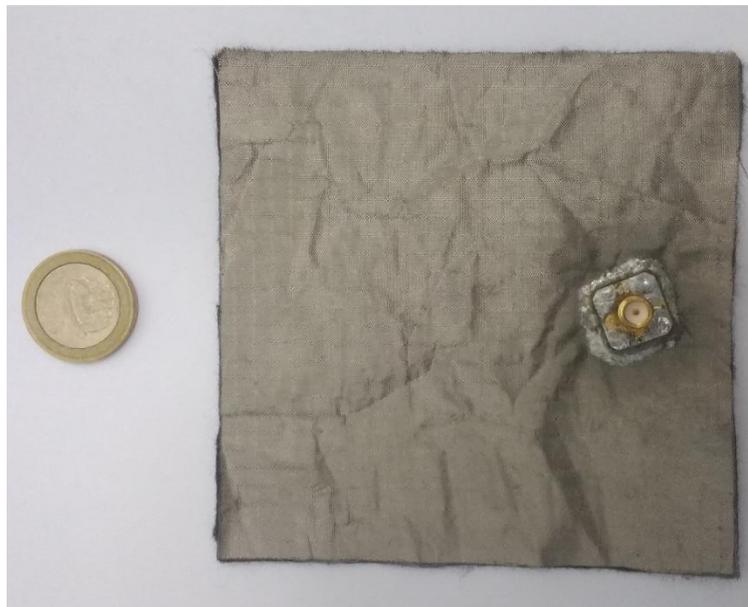


Figura 4 -6 Antena de fieltro vista inferior

Para la construcción de la antena de seda, se juntaron las capas cosiendo las capas por los bordes. Esto hizo que hubiera tensión entre las capas, reduciendo un poco el área del dieléctrico, como se ve en la Figura 4-7 y 4-8.



Figura 4 -7 Antena de seda 1 vista superior



Figura 4 -8 Antena de seda 1 vista inferior

Para la seda también se probó otra antena, esta difería de la otra en que las capas de seda no estaban tan cosidas, de esta forma no se tensiona tanto, manteniendo el área. En la construcción de ésta se quemó parte del parche con el cautín, por lo que se tuvo q reparar añadiendo más estaño, como se aprecia en las Figuras 4-9 y 4-10.

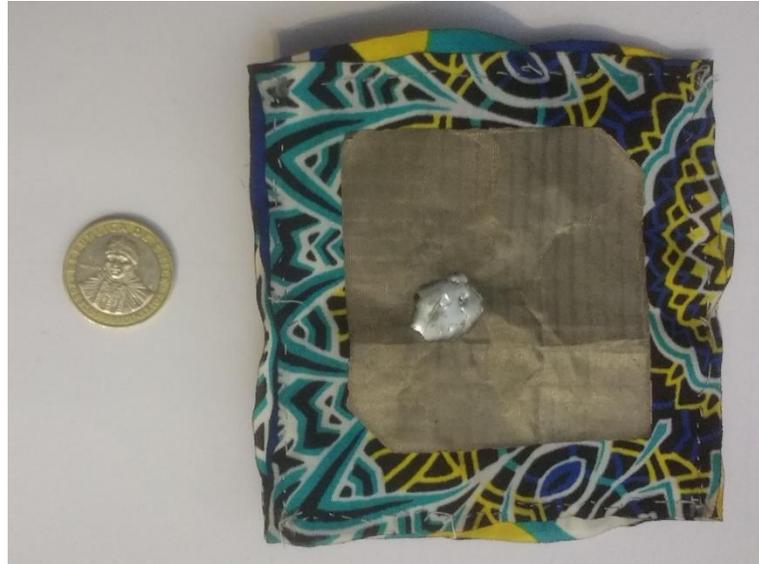


Figura 4-9 Antena de seda 2 vista superior

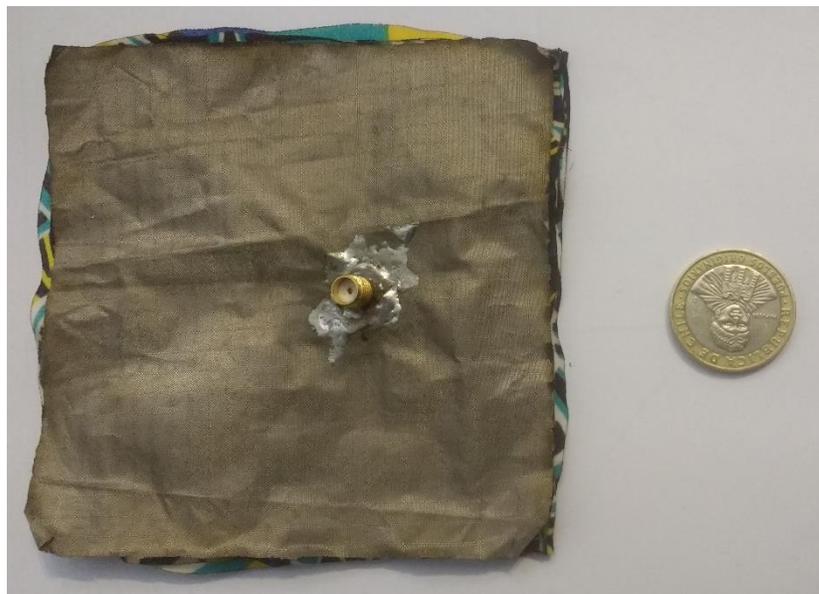


Figura 4-10 Antena de seda 2 vista inferior

Como se ve en las Figuras donde se muestran las antenas construidas, se ve que el pin coaxial está soldado en el parche en las vistas de arriba, así como también se ve soldadura en las vistas por debajo.

4.2 Mediciones

4.2.1 Mediciones del parámetro S11

Para medir el parámetro S11 de las antenas construidas utilizamos un VNA o Vector Network Analyzer como el de la Figura 2-1. Este se conecta en el coaxial y se procede a medir.

Al medir la antenna de fieltro se obtiene el $|S_{11}|$ en la Figura 4-11.

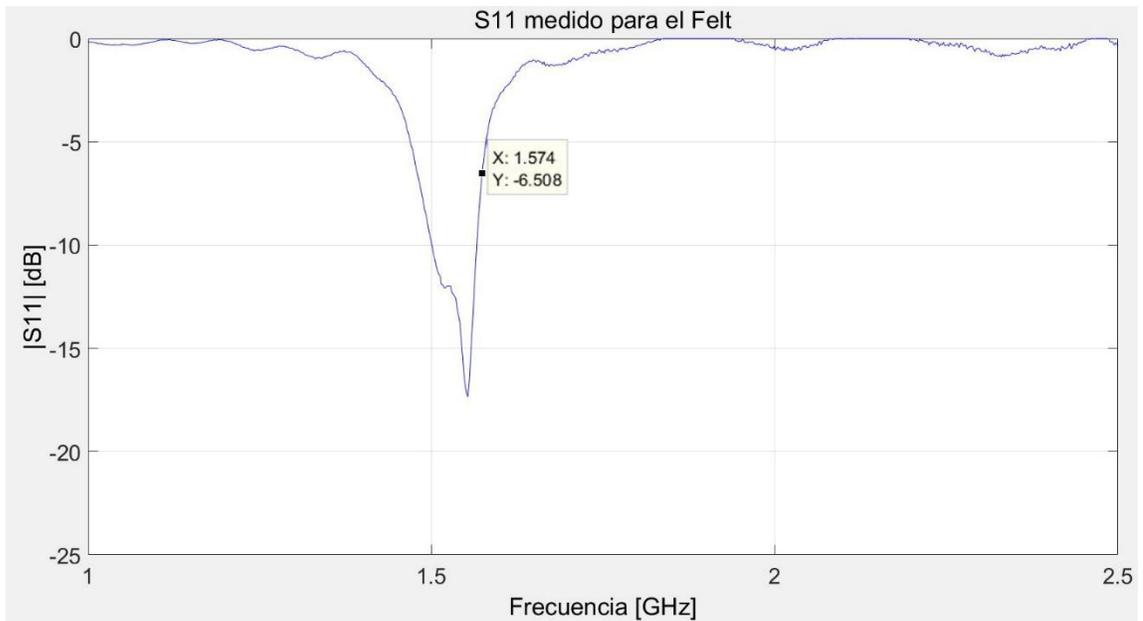


Figura 4 -11 $|S_{11}|$ antenna de fieltro medida

El S_{11} de la frecuencia de la portadora del GPS es de -6.5 [dB] y su frecuencia de resonancia es de 1.553 [GHz].

Al medir la antenna de seda 1 se obtiene el S_{11} en la Figura 4-12.

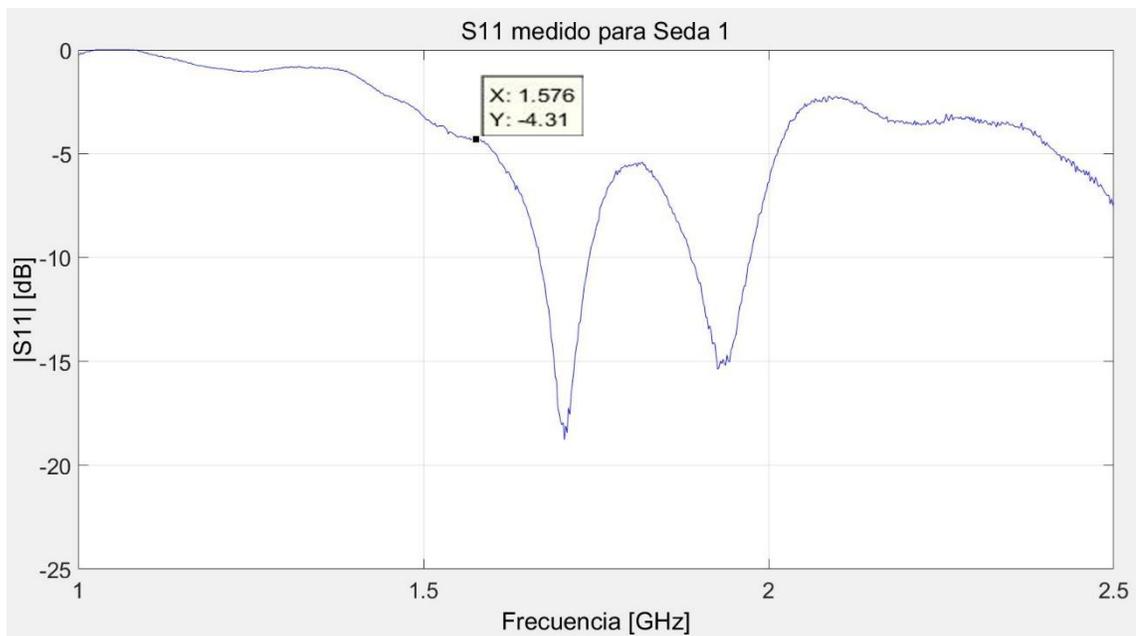


Figura 4 -2 S_{11} medido antenna de seda 1

4 Construcción de antenas y resultados de medición

Donde el $|S_{11}|$ en la frecuencia portadora GPS es de -4.31 [dB] y la frecuencia de resonancia de la antena en 1.704 [GHz].

La medición para la antena de seda 2 se ve en la Figura 4-13.

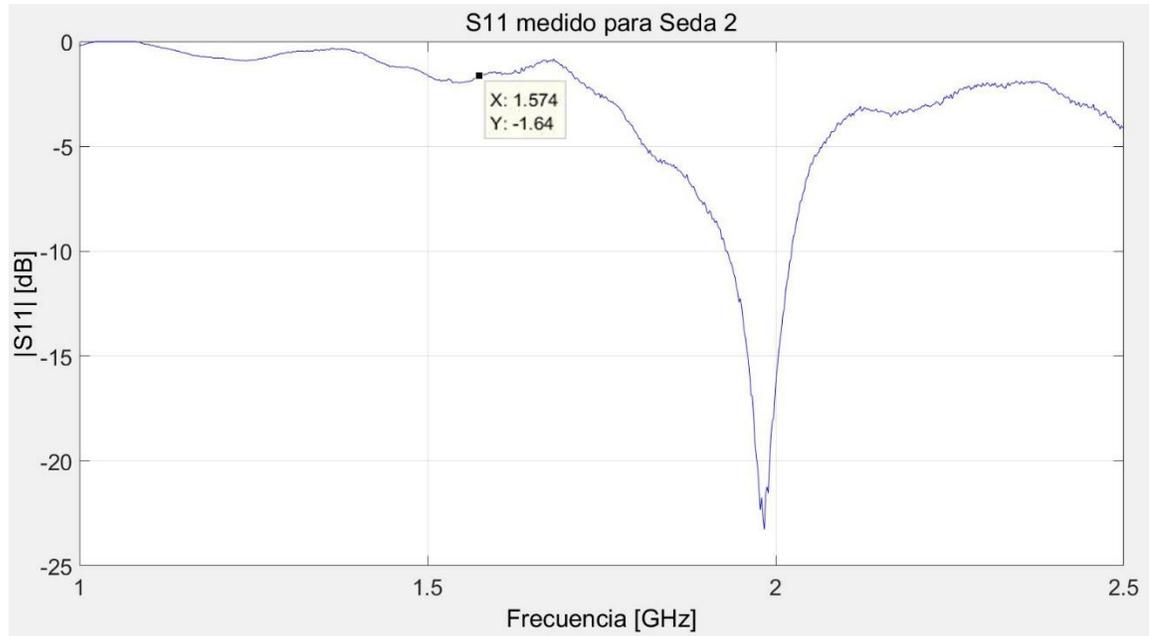


Figura 4 -13 $|S_{11}|$ medido antena de seda 2

Donde el $|S_{11}|$ en la frecuencia del GPS es de -1.64 [dB] y la frecuencia de resonancia es de 1.984 [GHz].

4.3 Comparaciones

En este capítulo se compara el parámetro $|S_{11}|$ entre las antenas medidas y simuladas. Al graficar el S_{11} de la antena de fieltro simulada y medida se ve en la Figura 4-14.

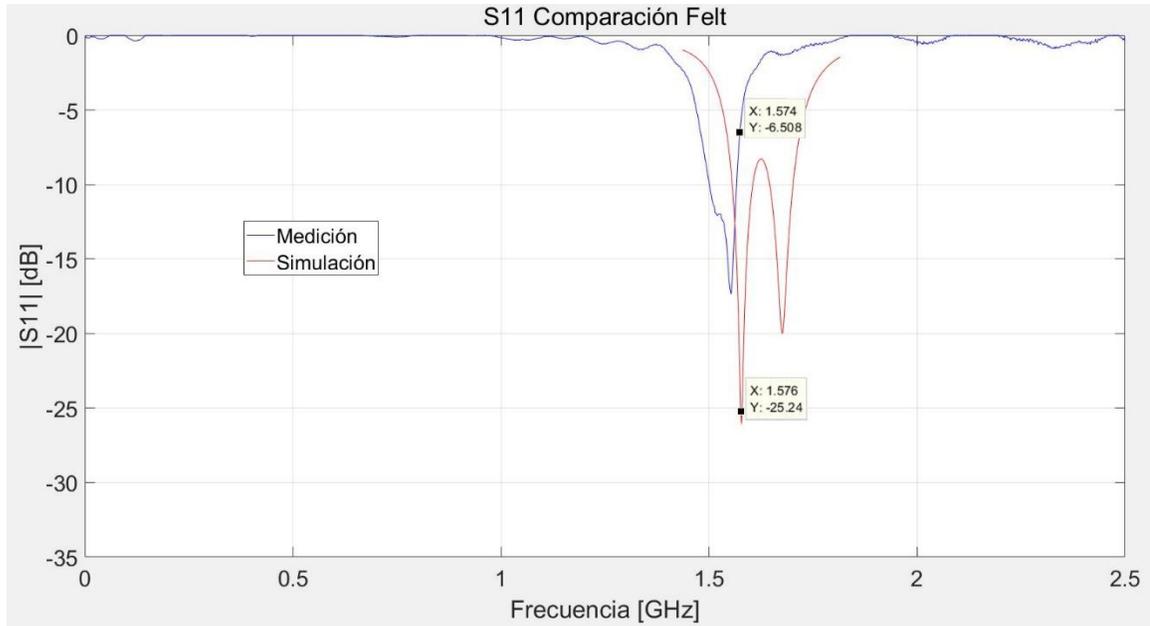


Figura 4 -14 $|S_{11}|$ de la antena de fieltro simulada y medida

En la simulación de la antena de fieltro se ve que el S_{11} es -25.24 [dB] y su frecuencia de resonancia es 1.576 [GHz]. Con la Figura 4-15 obtenemos la tabla 4-1.

Tabla 4-1 Tabla comparativa para las mediciones del fieltro y su simulación

	S11 en frec. GPS [dB]	Ancho de Banda [MHz]	Frecuencia de resonancia [GHz]
Medición	-6.5	66	1.553
Simulación	-25.24	26	1.576

Con esto se obtiene que la diferencia entre las frecuencias de resonancia es de tan solo 23 [MHz] y la diferencia de la antena medida con la frecuencia GPS es de 22 [MHz], una diferencia bastante aceptable, dado que este tipo de antenas tiene anchos de banda pequeños del orden de las decenas de [MHz] [2], por esto mismo el hecho de que en la medición haya dado un ancho de banda de 66 [MHz], es considerado como satisfactorio. El S_{11} en la antena medida en la frecuencia GPS es de -6.5 [dB] lo que también se considera aceptable ya que contiene una

4 Construcción de antenas y resultados de medición

diferencia de 3.5[dB] con los -10 [dB] requeridos para la adaptación, ésta diferencia puede deberse a diferentes factores como en la construcción de la misma.

En la curva del S11 simulado en la Figura 4-15 se ve que para la frecuencia GPS es de -18.84[dB] y su resonancia es en 1.572 [GHz].

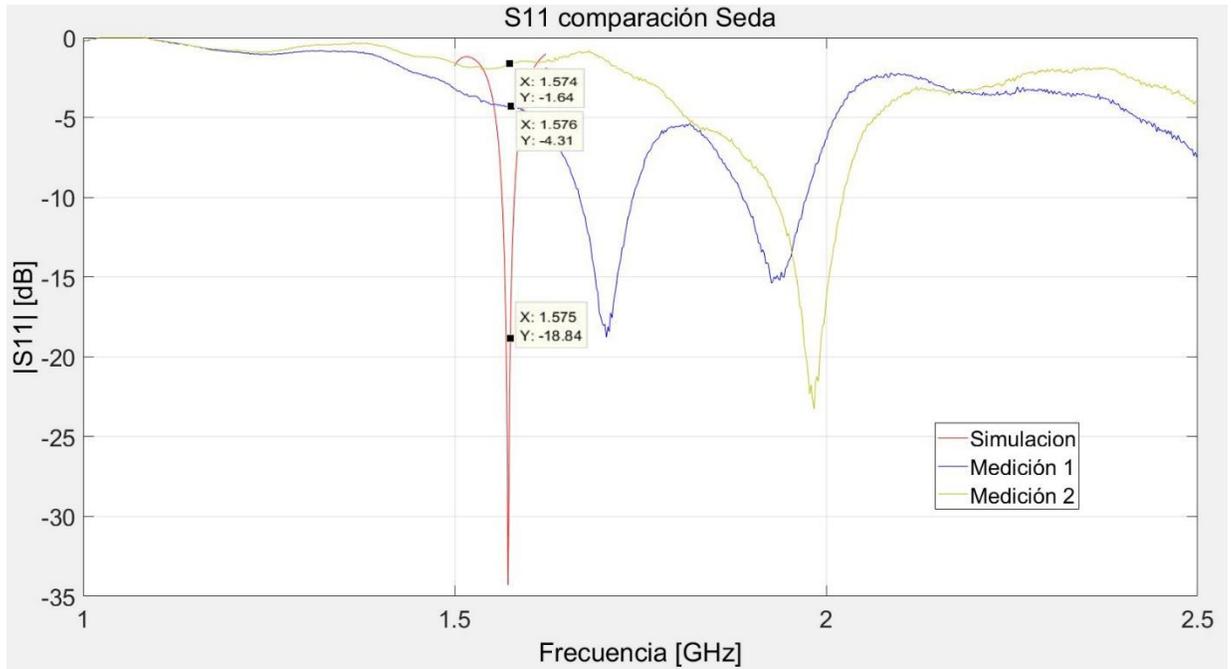


Figura 4 -15 |S11| de las antenas de seda medidas y la simulación

Al comparar los datos obtenidos de la Figura 4-16 conformamos la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Tabla comparativa para las mediciones de la seda y su simulación

	S11 en frec. GPS [dB]	Ancho de Banda [MHz]	Frecuencia de resonancia [GHz]
Medición 1	-4.31	71	1.704
Medición 2	-1.64	92	1.984
Simulación	-18.84	16	1.572

De aquí obtenemos que la diferencia en las resonancias con respecto a la resonancia de la simulación, es de 132[MHz] para el caso 1 y de 412[MHz] para el caso 2. De aquí se puede ver que el caso 1 está más cercano a la simulación y tiene 129[MHz] de diferencia con la frecuencia

4 Construcción de antenas y resultados de medición

portadora del GPS, 409[MHz] para el caso 2. Lamentablemente la diferencia entre la resonancia de la antena y la frecuencia GPS es mucha, por lo cual esta antena queda descartada.

Discusión y conclusiones

Para el diseño de las antenas se usó el de la antena tipo parche, con bordes truncados, alimentado por una sonda coaxial. Como material dieléctrico se usó el fieltro, debido a su buen desempeño en trabajos pasados y la seda para probar una tela diferente, ambas fáciles de conseguir en el mercado local a buen precio. Con la técnica del resonador microstrip de lambda cuarto se lograron caracterizar con éxito las telas. Una vez obtenido los parámetros se usó el diseño del parche con los bordes truncados, porque sirve para el sistema GPS y se obtuvieron buenos resultados en los trabajos pasados.

Teniendo las telas caracterizadas se diseñaron las antenas tipo parche para cada tela. Estos parches fueron simulados, obteniendo adaptación en la frecuencia portadora GPS de 1.575 [GHz], como también se obtuvieron anchos de banda del orden de las decenas de [MHz], 26 [MHz] para el fieltro y 16 [MHz] para la seda, anchos de banda esperables para este tipo de antenas ya que son reducidos y del orden del 3% de la frecuencia de resonancia. Para las ganancias se obtuvieron valores del orden de los 5 [dB], también esperado. En cuanto al axial ratio, en el fieltro se logró un axial ratio aceptable, cercano a los 3 [dB] en la frecuencia portadora GPS que es la norma, mientras que en la simulación de la seda no se logró.

En cuanto a la construcción, el trabajo con la seda es bastante difícil, primero debido a que es muy delgada, lo que no la hace óptima para adaptar una antena. Es por esto que para obtener un espesor adecuado se apilaron nueve capas, lo que aumentó la dificultad para su manipulación. Debido a su difícil trabajo es por lo que aumentan las posibilidades de error en su construcción, por ejemplo, al tener tantas capas, el pin coaxial tiene que penetrarlas, modificando la posición del mismo, lo que puede llevar a error en las mediciones. Aun así, al haber construido la antena de seda de dos formas distintas, en las mediciones no se obtuvo buenos resultados. Ambas antenas estaban resonando a centenas de [MHz] de la frecuencia portadora GPS, por lo que no estaban adaptadas para el sistema. En la antena de seda 2 se obtuvo un ancho de banda cercano a 100 [MHz], lo que es muy elevado y en caso de que la antena hubiera estado adaptada, si se hubiera querido usar, se habría tenido que poner un filtro para no interferir con otros sistemas. Es por todo esto que la antena de seda que queda descartada.

Con el fieltro el trabajo es mucho más sencillo que con la seda, tan solo es una capa. No obstante, hay que tener precauciones a la hora de la construcción, como por ejemplo la ubicación del pin coaxial, ya que, al atravesar el fieltro, aunque sea una sola capa, igual está la posibilidad de que la

posición se corra un poco, por supuesto que en menor medida que la seda. A pesar de esto la frecuencia de resonancia de la medición dio bastante cerca de la portadora GPS, y en la frecuencia del GPS el $|S_{11}|$ dio bastante cerca también, tan solo a unas decenas de [MHz]. Es posible que estas variaciones se deban también a la construcción, como quizá alguna variación en la posición del coaxial, falta de precisión en los cortes, etc.

Por lo antes dicho se concluye que, si se va a trabajar con estos materiales, es conveniente usar una cortadora láser para los parches de la tela conductora y cortar el fieltro a mano. También ser precavidos con la soldadura, la tela conductora no resiste mucho calor, en lo posible usar un caudín de menos de 40[W].

Actualmente las antenas hechas de materiales textiles implementadas en prendas, se encuentran en etapa de estudio y de prototipos, por lo que, a pesar de la adversidad, aunque no se haya podido implementar en alguna prenda, el hecho de haber llegado a un prototipo funcional es bastante satisfactorio.

Bibliografía

- [1] W. G. W. a. A. A. A. Aris Tsolis, «Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities,» de School of Electronic, Electrical and Systems Engineering, 2014.
- [2] P. G. Elliot, E. N. Rosario, B. Rama Rao, R. J. Davis, N. M. Marcus «E-textile Microstrip Patch Antennas for GPS» MITRE 2012.
- [3] Y.-H. Chou, M.-J. Jeng, Y.-H. Lee, and Y.-G. Jan, "Measurement of RF PCB dielectric properties and losses," Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 4, 139-148, 2008
- [4] Constantine A. Balanis, «Antenna Theory Third Edition» 2005.
- [5] Xiaodong Chen, «Antennas For Global Navigation Satellite Systems» 2012
- [6] Fernanda Fernández, «Vicente y Joaquín, los estudiantes de ingeniería que se perdieron en el cerro Provincia» Emol, Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/10/26/828415/Vicente-y-Joaquin-los-estudiantes-de-ingenieria-que-se-perdieron-en-el-cerro-Provincia.html> . [Último acceso: 1 08 2017].
- [7] INE Chile, «Cifras Mayores», 2002. [En línea]. Available: <http://www.ine.cl/docs/default-source/sociales/adultos-mayores/cifrasmayores.pdf>. [Último acceso: 1 08 2017].
- [8] Corporación Alzheimer Chile «La enfermedad del Alzheimer: Un desafío para la medicina y la sociedad» 2002. [En Línea]. Available: <http://www.gerontologia.uchile.cl/docs/alzhei.htm>. [Último acceso : 1 08 2017].
- [9] K. M. K. T. & T. G. L. I., «Design and Characterization of Purely textile patch antennas,» IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2006

-
- [10] Luigi Vallozi, Waldo Vandendriessche, Hendrik Rogier, Carla Hertleer and Maria Lucia Scarpello, «Wearable textile GPS antenna for integration in protective garments», Belgium.
- [11] M. I. Jais, M. F. Jamlos, M. F. Malek, M. Jusoh y M. Jusoh, «Conductive E-Textile Analysis of 1.575 [GHz] Rectangular Antenna with H-slot for GPS Application» Loughborough Antennas & Propagation Conference, Loughborough November 2012.
- [12] E. K. Kaivantol, E. Salonen, P. de Maagt «Wearable Circularly Polarized Antenna for Personal Satellite Communication and Navigation» IEEE Transactions on Antennas and Propagation, VOL. 59, NO. 12, December 2011.
- [13] M. R. Kamarudin, M. N. Osman «Analysis of Circular Polarization Textile Antenna In Bending Condition» IEEE International Conference of Computer, Communication, and Control Technology (I4CT 2015), Imperial Kuching, Sarawak, Malasia, 21 a 23 de abril 2015.