 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP TIPO “E” PARA OPERACIONES EN RFID.

Gonzalo Duarte Romero

Tecnología en Telecomunicaciones

Sara Yepes

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

26 de mayo de 2015

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La identificación por radiofrecuencia es un conjunto de tecnologías que funciona como sistema de almacenamiento y recuperación de información; los datos son almacenados en parches llamados TAG's o etiquetas, y la lectura se hace por medio de una antena microcinta que opera en diferentes bandas dependiendo de la frecuencia de operación (LF, HF, VHF y UHF). Existen tres tipos de TAG's de acuerdo al tipo de alimentación y su uso pueden ser activas, semi-pasivas o pasivas.

En la actualidad la identificación por radiofrecuencia es una tecnología muy utilizada en la industria manufacturera debido a las amplias características que presenta: es flexible, práctica de utilizar en procesos de fabricación y distribución de todo tipo de productos, gracias a su versatilidad para control de stocks e inventarios. Su debilidad más conocida es el corto alcance de lectura de los tags o etiquetas. Por tal motivo, este trabajo presenta la implementación de una antena para el colector de datos de un sistema RFID, con el fin de contribuir con un dispositivo en maximizar el alcance de los tags RFID. En la construcción de la antena prototipo se utilizó una lámina de circuito impreso con dieléctrico de FR-4, siendo la geometría implementada una antena tipo "E", y el plano a tierra se hizo con una lámina de cobre de alta pureza, con el fin de lograr un patrón de radiación directivo. El dieléctrico principal de la geometría es aire. La antena se caracterizó utilizando un analizador de redes Rhode & Schwartz FSH/8, y la misma se diseñó y simuló utilizando el software de diseño electromagnético FEKO.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradezco a muchas personas principalmente a mi madre quien siempre creyó en mí, a mi hija por el tiempo que no compartí con ella con la idea ser un profesional para poder brindarle un mejor futuro, a todos aquellos docentes que con su trabajo me impulsaron a esforzarme cada día para continuar con mi formación, a mis compañeros por sus aportes y a mis amigos por el apoyo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

RFID: Radio Frequency Identification System, sistema de identificación por radiofrecuencia.

LF: Low Frequency, baja frecuencia.

HF: High Frequency, alta frecuencia.

SHF: Super High Frequency, frecuencia super alta.

UHF: Ultra High Frequency, frecuencia ultraalta.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute, instituto europeo de estándares de telecomunicaciones.

ISO: International Standards Organization, organización internacional de estándares.

IEC: International Electrotechnical Commission, comisión electrotécnica internacional.

FCC: Federal Communication Commission, comisión federal de comunicaciones.

ANE: Agencia Nacional del Espectro.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP TIPO “E” PARA OPERACIONES EN RFID.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	8
3. METODOLOGÍA.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	52
REFERENCIAS.....	¡Error!
Marcador no definido.	
APÉNDICE A Cálculos matemáticos.....	55
APÉNDICE B Figuras simulación Open EMS.....	58

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto un notable aumento en el desarrollo de antenas tipo parche o microcinta, debido principalmente a sus características: facilidad de fabricación, peso reducido, facilidad de integración con circuitos impresos, bajo costo frente a otros receptores y transmisores, además de versatilidad en cuanto a instalación, ubicación e implementación. Estos dispositivos presentan entre otras desventajas, bajo manejo de potencia, por lo que se realizan arreglos geométricos de diferentes tipos para incrementar la potencia recibida o emitida. Actualmente, muchos de los esfuerzos de diseño de antenas microcinta están direccionados hacia la miniaturización y la eficiencia de operación, esfuerzos que aplican para los sistemas de RFID (Karim Mohammadpour-Aghdam, 2012). En esta tecnología existen varias frecuencias de operación la aceptación depende de la normatividad de cada región o país: la banda de LF (9–135 kHz) tiene reconocimiento mundial, pero para su funcionamiento requiere de estar ubicado cerca de elementos metálicos, por lo que su rango de lectura es menor a 1.5 metros; en HF (13,56 MHz) no requiere estar cerca de elementos metálicos para su funcionamiento; los sistemas RFID de mayor eficiencia son los ubicados en la banda UHF (433 MHz y 860-960 MHz), y aunque dependen de la regulación de cada país, son los más utilizados para aplicaciones de trazabilidad. Por las grandes distancias de lectura y las altas velocidades de transmisión que presenta, se utiliza la banda SHF (2,45 GHz y 5,8 GHz). Entre las aplicaciones de esta banda en sistemas RFID se tienen los sistemas de seguimiento de personas y objetos.

Varios estudios se han realizado con el fin de aumentar el alcance de estos dispositivos, minimizando el tamaño. Como ejemplo, para una antena con un área de 2,7 mm² en una frecuencia UHF se alcanzó una distancia máxima de operación alrededor de 6,2 m (Wenbo Zeng, Compact Microstrip RFID Tag Antenna Mountable on Metallic Objects, 2011). También está en investigación y desarrollo nuevas tecnologías y geometrías para la fabricación de antenas microcinta tridimensionales, con muy buenos resultados comparados mediante simulaciones en software. (Lan Yao, Fabrication and characterization of microstrip array antennas integrated in the three dimensional orthogonal woven composite, 2011). La fabricación de antenas microcinta se ha enfocado principalmente a dos problemas: la optimización de la potencia de transmisión y la reducción de pérdidas por atenuación o ruido térmico. Uno de los aspectos en investigación es el mejoramiento de dieléctricos. Entre otros trabajos con nuevos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

materiales, un nuevo material cerámico compuesto de óxidos de Litio, Bario y Cobre llamado (YBCO) con propiedades de superconductor y resistente a altas temperaturas se ha desarrollado. (J. Muyari, Fabrication process of YBCO thin film starting from amorphous film for microstrip line device, 2012).

Las antenas microcinta con formas geométricas tradicionales poseen características de baja ganancia y ancho de banda reducido. Con el fin de estudiar un modelo conocido, se implementó un prototipo de antena microcinta en forma de “E”, con el fin de mejorar la ganancia respecto de un parche rectangular tradicional (Zhu Yongxiang, 2013).

El objetivo de este trabajo es implementar y mejorar el diseño de una antena Microstrip tipo “E”, desde el punto de vista de la ganancia con el fin de lograr un mayor alcance en las operaciones RFID. Para ello se inicia con la fabricación de la antena y su caracterización por medio del software de simulación electromagnética y pruebas de laboratorio. Luego de caracterizado el modelo inicial, se realizaron mejoras al modelo inicial, optimizando la geometría del diseño por medio de un software de simulación electromagnética. Una vez obtenida la geometría que mejora el diseño inicial, se implementó y caracterizó en laboratorio el nuevo diseño, con el fin de verificar el nuevo modelo.

El desarrollo fundamental de este proyecto es consolidar argumentos necesarios para materializar una antena y desarrollar la tecnología RFID. Inicia por identificar las propiedades fundamentales de las antenas con su funcionamiento, analizando sus principales características y parámetros, haciendo énfasis en los tipos Microstrip; las ventajas y desventajas de la utilización de esta tecnología. Continúa con el diseño y construcción del prototipo, los materiales usados, el esquema del montaje y su ubicación, la toma de mediciones que incluye las especificaciones técnicas de los equipos de medición y con los adelantos tecnológicos de los equipos disminuyen notablemente el tiempo de caracterización de las antenas.

Se muestran los resultados obtenidos en el modelo experimental y los gráficos que entregan los equipos de medición, las comparaciones con los datos simulados, los cálculos matemáticos, las correcciones realizadas después de los inconvenientes encontrados en la realización de las pruebas de campo, y la implementación del nuevo modelo corregido presentando los resultados obtenidos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Las antenas son dispositivos electrónicos capaces de transformar señales eléctricas en ondas electromagnéticas o viceversa. Existen diferentes tipos de antenas de comunicación las cuales varían en formas y materiales de elaboración, dependiendo de la aplicación. Las diversas formas, tamaños, diseño y fabricación dependen de varios criterios como son; la finalidad, la frecuencia de operación, el tipo, las necesidades y los problemas de comunicación, el presupuesto, la eficiencia etc. Por ejemplo las comunicaciones de radio comercial en la banda AM, necesitan antenas muy grandes que requieren grandes soportes ideales para comunicaciones terrestres debido a que operan a una frecuencia baja y poseen una longitud de onda (λ) muy grande, son ideales para recorrer distancias considerables a nivel terrestre, mientras que las comunicaciones satelitales operan a frecuencias muy altas y tienen una longitud de onda (λ) muy corta, lo que les permite recorrer grandes distancias. Debido a eso utilizan antenas muy pequeñas pero que requieren algunos elementos que permiten concentrar mayor cantidad de las señales en un mismo foco, tales como los llamados reflectores parabólicos, los cuales funcionan captando una mayor cantidad de campo electromagnético y direccionándolo a un punto específico, lo que mejora su rendimiento. Las antenas están hechas de materiales conductores debido a que las señales radian en la misma dirección de la corriente eléctrica en la unidad transmisora, además de permitir el flujo de la corriente en la unidad receptora (Jaime, 2007).

En este caso particular de estudio se trabajó una antena tipo Microstrip, las cuales se crearon como una extensión de las líneas de transmisión tipo microcintas y están compuestas por un parche metálico muy delgado que permite la disipación de la potencia en forma de radiación que se genera debido a la cavidad resonante creada, compuesta por el material dieléctrico entre la lámina conductor y otra lamina que funciona como plano de tierra; pueden tomar virtualmente cualquier forma, pero lo más usual es utilizar formas geométricas regulares para simplificar el análisis y la predicción de su comportamiento. También se pueden utilizar como parte de elementos de un Array para optimizar sus alcance. Existen varias formas de alimentación para una antena Microstrip: por líneas de transmisión, por proximidad, por ranura radiante o por cable coaxial. (García Domínguez, 2010).

El éxito de este tipo de antenas esta dado principalmente por las ventajas que presenta en diseño y estructura. A medida que la tecnología avanza se ven dispositivos cada vez más

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pequeños y se hace necesario la reducción del tamaño de las antenas, no solo por criterios estéticos y armónicos, sino por el aumento de las frecuencias de operación de los dispositivos. Las longitudes de onda son muy pequeñas y por ende la antena será más pequeña. Además, la versatilidad en el diseño que presentan, permite que tomen cualquier forma y adherirse a casi cualquier superficie, sea plana o no. El costo también es un factor importante, el material del que están hechos es muy económico, solo una lámina delgada de material conductor adherida a un sustrato dieléctrico genera un valor mínimo frente a otro tipo de antenas de formas regulares, por ello son ideales para producción en masa. En la actualidad, la mayoría de dispositivos de telefonía celular funcionan con este tipo de antenas. Incluso para algunas aplicaciones se ubican sobre las azoteas de los edificios, tales como estaciones base de telefonía celular o repetidores de TV en la banda UHF. Las principales desventajas que tienen son: baja potencia, baja eficiencia, ancho de banda limitado, poca pureza de polarización, entre otros. Existen un par de métodos analizados y estudiados para optimizarla; uno por alimentación dual y el otro con alimentación única con una perturbación en la simetría que se enfocan de manera diversa en sistemas de comunicación como radares, navegación por satélite (GPS y Galileo), RFID y los sistemas móviles (Jaime, 2007).

Las antenas suelen caracterizarse por algunas métricas y grafos, los principales parámetros de las antenas son:

- El patrón de radiación: Es la representación gráfica de cómo las ondas electromagnéticas son radiadas a través del espacio y su forma depende del diseño y propósito de la antena.
- La directividad: Es la relación que existe entre la intensidad de radiación en determinada dirección y la intensidad promedio de la antena ideal (isotrópica) en todas las direcciones.
- La ganancia, que está directamente relacionada con la directividad y es la característica más importante de una antena, se divide en dos:
 - La ganancia absoluta que es la relación entre la potencia en determinada dirección frente a la potencia total generada por la antena.
 - La ganancia relativa que es la relación entre la potencia generada en una dirección específica frente a una potencia de referencia; generalmente se toma como referencia la antena isotrópica o la $\lambda/2$ (Jaime, 2007, págs. 49-73).
- ROE: (Relación de onda estacionaria) La relación entre la cantidad de potencia generada frente a la potencia reflejada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- La polarización: Es la orientación del campo eléctrico respecto a la superficie de la tierra radiado por la antena en un punto fijo durante un intervalo de tiempo.
- La impedancia característica: Es la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada y está compuesta por la resistencia de la antena y la reactancia de la antena, parte real e imaginaria respectivamente.

Mediante la representación simbólica de una red de dos puertos se caracteriza el funcionamiento de una antena. Por medio de una fuente generadora se obtiene los valores de corriente y voltaje, y con la impedancia del material que está construida, se puede obtener una asociación de parámetros. Existen varios modelos de parámetros; los H, Y, Z.

$$H \rightarrow V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

$$Y \rightarrow I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

$$Z \rightarrow V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

Estos parámetros determinan a través de mediciones un valor determinado, se hace una relación que transforma un voltaje o una corriente en cero por medio de corto circuito o circuito abierto y se obtiene como respuesta la representación de unas variables dependientes. Para frecuencias muy altas como las RF o microondas, la amplitud de onda del voltaje o la corriente es muy pequeña lo que hace muy difícil tomar medidas o tener equipos que de manera confiable puedan realizarlas, por ello existe un modelo en el cual se trabajan como una línea de transmisión. El voltaje y la corriente son consideradas como ondas viajantes en dos direcciones y como parte de una onda incidente que se refleja en la carga regresando a la fuente. El valor del voltaje en un punto determinado de la línea de transmisión es igual a la suma de la onda incidente y reflejada en ese punto, la corriente es igual a la diferencia de las ondas sobre la impedancia característica de la línea (Colombo, 2012) Para poder realizar esta medición se definen las variables (a, b):

$$V_n = \sqrt{Z_{0n}}(a_n + b_n)$$

$$I_n = \frac{1}{\sqrt{Z_{0n}}}(a_n - b_n)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$a_n = \frac{1}{2} \left(\frac{V_n}{\sqrt{Z_{0n}}} + \sqrt{Z_{0n}} I_n \right)$$

$$b_n = \frac{1}{2} \left(\frac{V_n}{\sqrt{Z_{0n}}} - \sqrt{Z_{0n}} I_n \right)$$

Para medir los parámetros fundamentales de una antena se requiere el concepto de parámetros de dispersión o parámetros-S que relacionan las ondas dispersadas o reflejadas con las ondas incidentes y se utilizan para medir el comportamiento eléctrico en el sistema de comunicación. Cada parámetro es caracterizado por su magnitud y fase. El parámetro S_{11} llamado coeficiente de reflexión de entrada o pérdidas de retorno, mide la eficiencia de la antena para convertir la potencia que le ingresa en campo electromagnético o viceversa. Para calcular el parámetro S_{11} se iguala a cero la variable ($a_2 = 0$) en la siguiente relación:

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

En la actualidad no hay una institución global que establezca el estándar de funcionamiento de la operaciones en RFID, incluso en áreas específicas como Suramérica y África no hay instituciones que estén involucrados en el desarrollo de esta tecnología, usualmente se acogen la normatividad de las más reconocidas como la Organización Internacional de Normalización (ISO) o el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) o el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI). Las entidades reguladoras regionales que rigen el uso de RFID son la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), que está a cargo de los Estados Unidos y (ETSI) que opera en Europa.

Según la ETSI se tienen canales en dos bandas, la banda inferior ubicada entre 865 y 868 MHz y en la cual se tiene cuatro canales de transmisión de alta potencia con un ancho de banda de 200 KHz cada uno, separados con intervalos de 600 KHz ubicados en la frecuencias 865.7, 866.3, 866.9, 867.5 MHz respectivamente. Figura 1.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

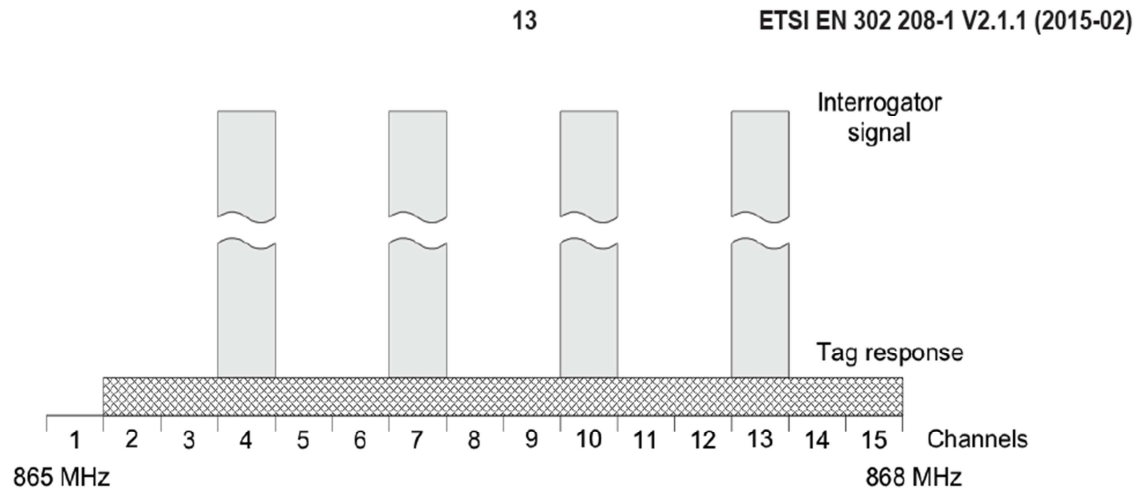


Figura 1 Plan de canales para la banda inferior

Para la banda superior, la frecuencia central más baja es de 916.3MHz y el ancho de banda de cada canal 400kHz, los tres canales de alta potencia están espaciados a 1,2 MHz y ubicados en 916.5, 918.1, 919.7 MHz. Figura 2. (ETSI, 2015).

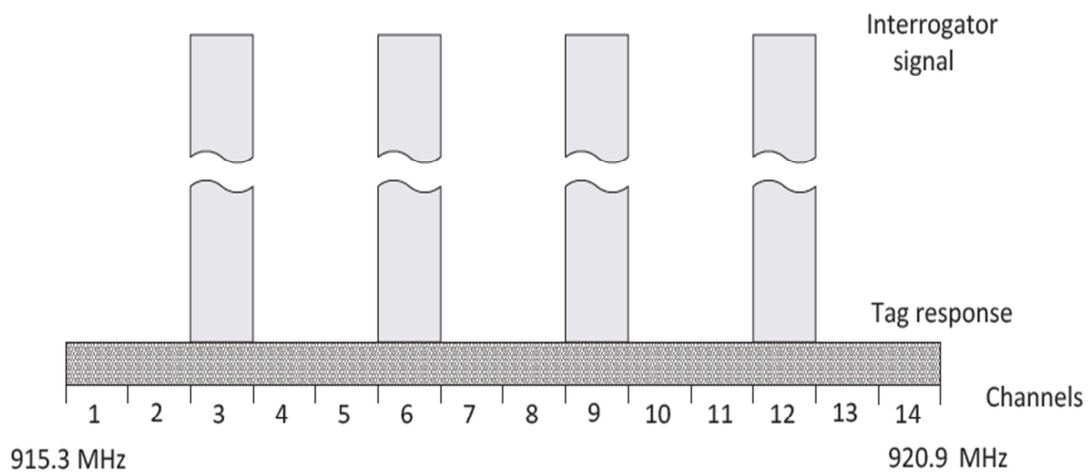


Figura 2 Plan de canales en la banda superior

En Colombia la resolución 473 de 2010 del Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones define RFID en las bandas de 125 a 134 KHz y de 140 a 148,5 KHz, pero este sistema de comunicaciones de corto alcance también puede operar en la banda designada para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM) en el rango de frecuencia 915 a 928 MHz para dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

siempre y cuando no supere una potencia de 1mW. Figura 3. (Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones, 2010).

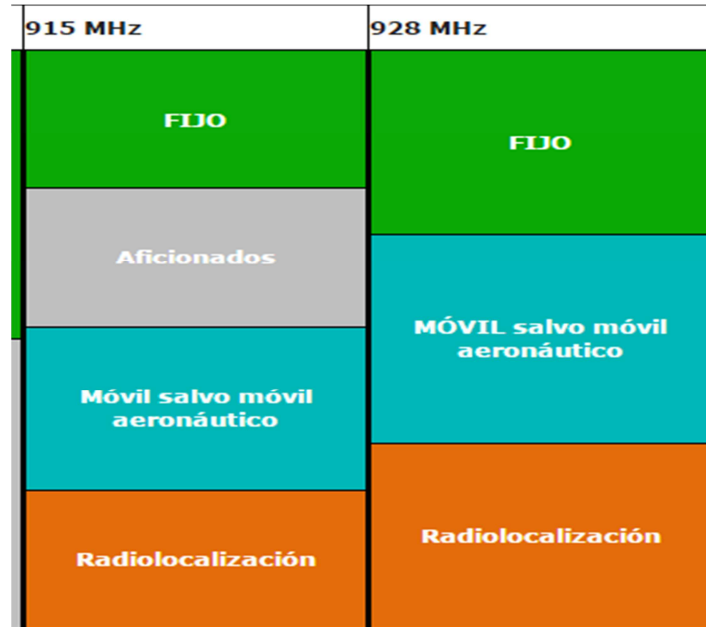


Figura 3 Espectro en la Frecuencia 915-928

- Servicio Fijo: Servicio de comunicación entre dos puntos fijos determinados.
- Servicio Móvil: servicio de comunicaciones entre estaciones móviles y terrestres o entre estaciones móviles.
- Servicio de radiolocalización: Servicio de radio-terminación para fines de radiolocalización.
- Servicio de radioaficionados: Servicio de radiocomunicación que tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuado por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.

Estas frecuencias están asignadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número 15.13. (Agencia Nacional del Espectro, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

La elaboración de este trabajo comienza con la construcción de una antena Microstrip tipo “E” para aplicaciones en RFID. Para su fabricación se utilizó una lámina de circuito impreso con sustrato dieléctrico “FR4”, que es una aleación de fibra de vidrio templado con laminados epoxi de combustión lenta, la cual viene recubierta con materia conductor laminar, generalmente cobre, por sus caras más extensas. Para este caso se utilizó una sola cara. Figura 4.

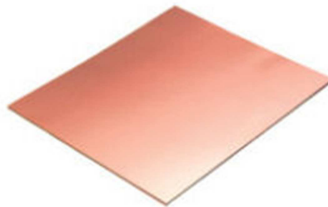


Figura 4 Lámina de circuito impreso convencional, como se consigue en el comercio.

El diseño tiene como medidas de 13 cm de largo por 16 de ancho en los extremos y 7,5 cm en el medio, un área aproximada de 17,17 mm² y 1,6 mm de espesor. La permitividad relativa del sustrato es de 4,38. Figura 5.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 5 Diseño construido de antena Microstrip en forma de “E”

El plano a tierra se construyó con una lámina de cobre de alta pureza con un área de 90 mm² y un peso aproximado de 0.81 Kg, fabricada por LAMINACO S.A. industria colombiana ubicada en la ciudad de Itagüí. Se ubicó a una distancia de 10 mm del sustrato dieléctrico, y para sujetar el elemento radiante se utilizaron soportes de Nylon y tornillos plásticos para garantizar que el sustrato dieléctrico permanezca aislado totalmente del plano de tierra. El plano de tierra se recubrió con un borde de caucho aislante el cual permite facilidad de manipulación evitando cortes o lesiones, además un soporte metálico para organizar aspectos físicos como la toma de medidas del patrón de radiación, que se ubicó sobre el Azimut del kit de Volt del laboratorio de radiopropagación.

La caracterización de la antena se realizó con el analizador de redes FSH8 fabricado por la compañía alemana Rohde & Schwarz, el cual opera entre las frecuencias 9 KHz y 8 GHz, posee alta sensibilidad, inferior a -141 dBm (1 Hz), con preamplificador de menos de -161 dBm (1 Hz), ancho de banda de demodulación 20 MHz para el análisis de señales LTE, bajo nivel de incertidumbre en la medición inferior a 1 dB, posee generador de seguimiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

interno y puente VSWR. Este metro es de fácil manejo debido a su peso ligero (3 kg con batería), teclas fáciles de alcance y función. (Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2011), Figura 6.



Figura 6 Analizador de espectro FHS 3

El dispositivo tiene dos puertos de RF ubicados en la parte superior, que vienen con un conector tipo N hembra cuyo diámetro es de 1,57cm e impedancia de 50Ω , una frecuencia entre 0 - 11GHz y una tensión máxima pico de aislamiento de 1.500V. Para conectar la antena a este equipo se debe construir un cable con conector tipo N macho de 2.03 cm de diámetro. Figura 7 Entrada de RF en el analizador de redes para conectar la antena..

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 7 Entrada de RF en el analizador de redes para conectar la antena.

Antes de utilizar el equipo de mediada es necesario realizar una calibración completa del mismo por medio de una cavidad resonante (ver Figura 8), incluida en sus componentes. Este proceso aunque dispendioso es fundamental para obtener resultados acertados, requiere que se utilicen las tres boquillas de carga en el orden que el dispositivo lo solicita. Normalmente inicia con la boquilla de circuito abierto, continua con la cortocircuito y por último la carga. Lo primero es ubicar la salida del RF en el analizador.



(a)



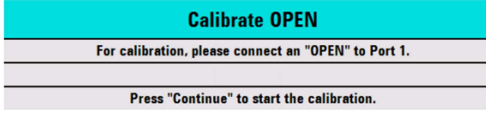
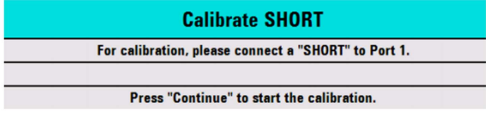
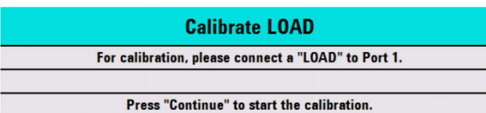

(b)

Figura 8 Cargas para calibración de analizador de espectro FSH/3

(a) Abierto y cortocircuito, (b) carga de 50 ohms.

Tabla 1. Pasos para calibrar el analizador de espectro FSH/3.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>1. Pulse la tecla programable "Calibración" ("Calibration").</p> <p>► Seleccione "Puerto de reflexión 1" ("Reflection Port 1") en el menú. El R&S FSH le pide terminar el puerto 1 en un circuito abierto ("Open")</p>	
<p>2. Conecte el "Abierto" ("Open") al puerto 1.</p> <p>► Pulse la tecla programable "Continuar" ("Continue"). El R&S FSH calibra el circuito abierto. Después, el R&S FSH le pide terminar el puerto 1 en un circuito corto ("Short")</p>	
<p>3. Conecte el "Corto" ("Short") al puerto 1.</p> <p>► Pulse la tecla programable "Continuar" ("Continue"). El R&S FSH calibra el circuito corto. Por último, el R&S FSH le pide terminar el puerto 1 en una terminación de 50 Ω ("Load").</p>	
<p>4. Conecte la "Carga" ("Load") al puerto 1.</p> <p>► Pulse la tecla programable "Continuar" ("Continue").</p> <p>5. Cuando termina la calibración, el R&S FSH se ve</p>	

Después de calibrar la entrada del analizador realizó la caracterización de la antena. El equipo entrega gran variedad de resultados: las curvas de impedancia real y compleja, pérdidas de retorno, carta de Smith, etc. Se pueden almacenar los resultados obtenidos en forma de imagen o como un archivo plano en el mismo equipo o en una unidad de almacenamiento externa USB. Adicionalmente, de la página del fabricante se puede descargar el software FSH4View y operar el equipo desde un computador conectándolo mediante un cable por el puerto USB o Ethernet. En caso de requerir una nueva medida por alguna modificación de la antena o por cambio de antena, es necesario volver a calibrar completamente la entrada como se mencionó anteriormente.

Para establecer el funcionamiento del prototipo era necesario contar con un transmisor o un simulador para generar la señal que opere en la frecuencia UHF.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Gracias al docente Fabio León Suarez Álvarez quien proporcionó un analizador de espectro referencia will'Tek 9103, el cual opera en el rango de frecuencias de 100 KHz a 7,5GHz(willtek communications, 2007). Este equipo también puede operar como generador de RF. Figura 9.



Figura 9. Analizador Will' Tek 9103 utilizado como generador de RF.

El generador tiene una potencia generada de -10 dBm y se programó para operar a una frecuencia de 980 MHz como resultado de la caracterización de la antena.

Para la toma de las mediciones se utilizó el kit de la antena log-periódica del laboratorio de electrónica, el cual cuenta con los siguientes elementos: Figura 10

- Analizador de espectro RF SPECTRAN HF-6010.
- Antena Logo-periódica EMC / direccional.
- Batería de la energía 1300mAh con cargador.
- Pistola con el modo de trípode miniatura.
- Conjunto de herramientas de SMA.
- adaptador SMA.
- Cable 1m SMA.
- Estuche portátil de aluminio de diseño robusto (con relleno).
- Manual.



Figura 10. Componentes de Analizador de espectro RF SPECTRAN HF-6010.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El analizador de espectro con el que se realizaron la mediciones de la señal recibida tiene un rango de frecuencias entre 1MHz y 9,4 GHz y soporta una potencia máxima +40 dBm (Aaronia AG, 2014). Figura 11.

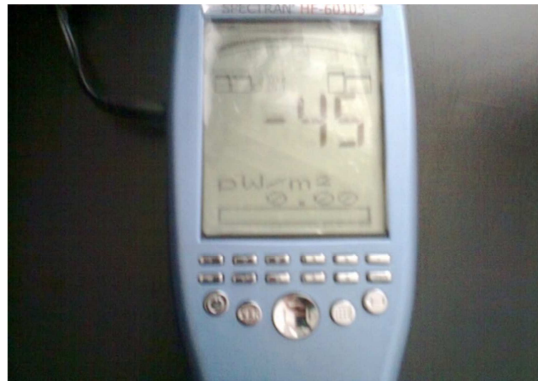


Figura 11. Medida inicial de Analizador de espectro RF SPECTRAN HF-6010.

El montaje se realizó al mediodía aprovechando las condiciones climatológicas y fue en la azotea del edificio fraternidad con el fin de evitar la interferencia producida por los muros del laboratorio y los artefactos electrónicos que estaban ubicados cerca de la antena y que podrían generar algún tipo de ruido eléctrico y electrostático durante la toma de medidas. Figura 12.

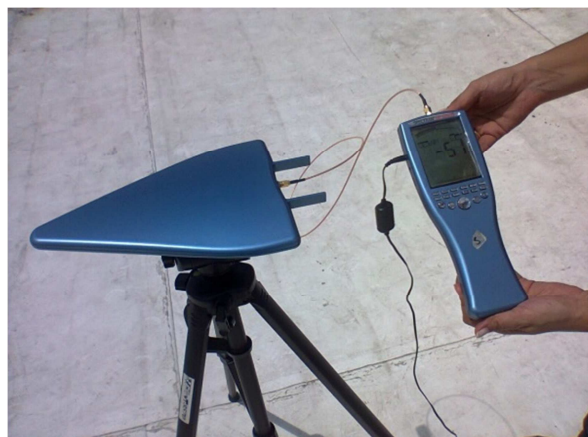


Figura 12. Montaje de la Antena Logo-periódica EMC / direccional para toma de mediciones.

El soporte de esta antena está diseñado en un material metálico de acero forjado en forma de tubo estructural cuadrado, con una apertura de 1 mm y con una base redonda de media pulgada que sirve para acoplarse al dispositivo Azimut del “kit de antenas de Volt”, del laboratorio de radiopropagación, Figura 13. Debe aislarse completamente para evitar mayor oxidación al contacto con cualquier material conductor de la antena o del plano a tierra.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



(a)



(b)

Figura 13. Soporte metálico de la antena; (a) vista lateral, (b) Vista superior.

El montaje se ubicó sobre una mesa convencional de una altura de 1m, junto al analizador Will' Tek 9103 que se usó como generador de señales, Figura 14.



Figura 14. Montaje de la antena con el generador RF para identificar el patrón de radiación.

Con la ayuda del Azimut del kit de LABVOLT del laboratorio de radiopropagación se realizó la toma de medidas cada 10 grados, Figura 15, los que se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Estos resultados son luego comparados con los obtenidos con el software de simulación electromagnética.

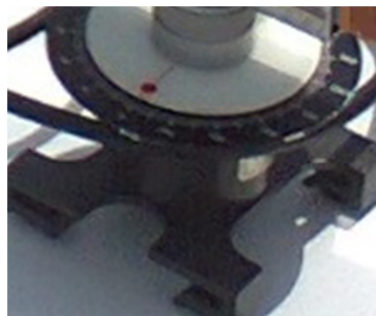


Figura 15. Dispositivo Azimut del kit de Volt del laboratorio de radiopropagación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La antena en la toma de medidas se soportó en un trípode ubicado a una distancia de 3,60 metros, Figura 16. Se recomienda utilizar una medida superior al radio máximo del campo cercano, donde el transmisor no afecte la radiación electromagnética a medir. El cálculo del campo lejano para la frecuencia de operación es 0,10 metros y se calcula de acuerdo a la longitud de onda λ . En otras bibliografías la distancia debe ser superior a 3,33 metros. (Jaime, 2007) Apéndice A.



Figura 16. Última toma de datos en la práctica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la primera caracterización se construyó una línea de transmisión con cable coaxial RG-58 de 50Ω de impedancia, la cual tiene en un extremo un conector SMA macho-hembra que se acopla al conector SMA hembra-macho de la antena y en el otro extremo, a una distancia de 22 cm, un conector tipo N macho con el fin de conectar el analizador de espectro FSH/3, el cual es el metro de la prueba. Figura 17.



Figura 17 Cable conector antena- analizador primera caracterización.

Se realizó una segunda caracterización para comprobar la eficiencia del cable y se utilizaron algunos conectores para adaptar la antena a la salida del dispositivo de medición. En total fueron 5 conectores y dos uniones, cada uno de estos elementos representa tiene pérdidas por inserción. El primero es el conector SMA que a 1GHz tiene unas pérdidas por inserción de 0,03 dB, dos conectores N cada uno con pérdidas de 0,035 dB, dos conectores BNC con pérdidas individuales de 0,01 dB y un conector F con pérdidas de 0.01 dB. La suma total de las pérdidas de inserción de los conectores es de 0.13 dB.

Figura 18. Acople de conectores para la segunda caracterización de la antena. Figura 18 (Ing. Alejandro, 2012) Figura 18.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 18. Acople de conectores para la segunda caracterización de la antena.

El analizador de redes ofrece para visualizar los resultados obtenidos varias opciones: presentación directamente por pantalla, archivo de imagen y archivo binario (extensión *.SET). El archivo binario puede visualizarse con un software propietario del fabricante, distribuido de manera gratuita a través de internet, y permite convertir el archivo binario en un formato portable, tales como archivos separados por comas. Este software también permite manipular el analizador desde el computador. En la caracterización de la primera antena se obtuvo como resultado una frecuencia de operación de 1.005 GHz y una impedancia característica de $37\Omega - j3\Omega$, Figura 19.

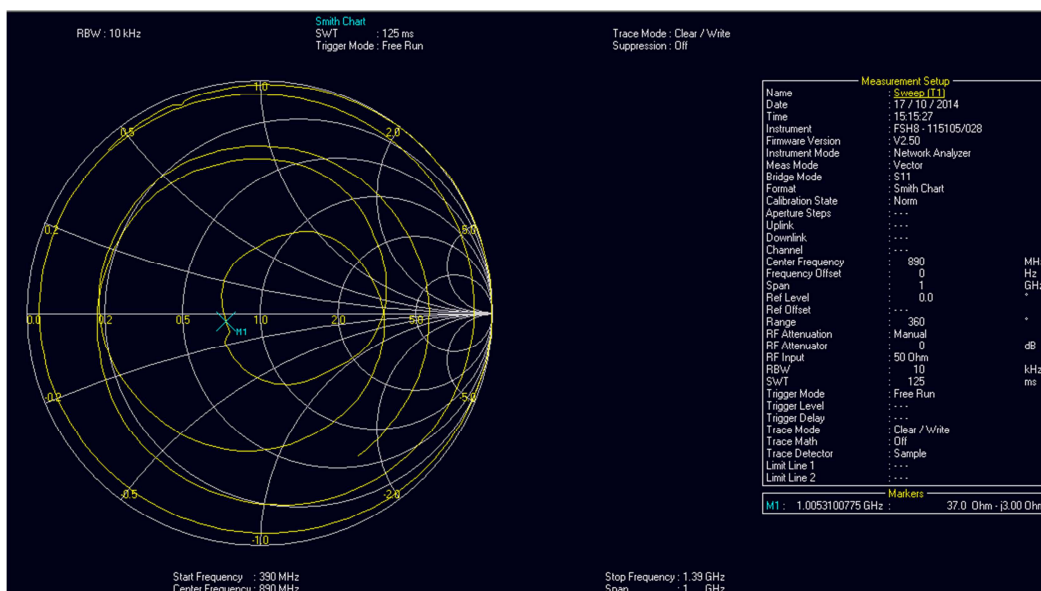


Figura 19. Resultado impedancia primera caracterización.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los resultados de la impedancia característica difieren de los obtenidos en el software FEKO, el cual arroja un valor normalizado de $0.4 + j0.73$ que al efectuar los cálculos correspondientes se obtiene una impedancia inductiva $20\Omega + j36.5\Omega$. Figura 20.

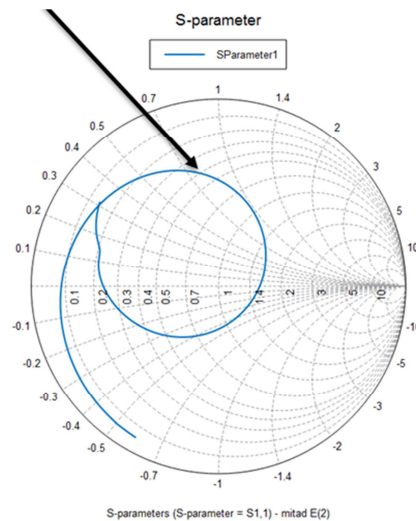


Figura 20. Impedancia característica simulada en el Software FEKO

Según los cálculos matemáticos del Apéndice A, el coeficiente de reflexión que se obtuvo con los datos obtenidos para la primera antena fue $\Gamma_1 = 0,15$, según la teoría son aceptables los valores cercanos a cero (0) eso implica que el prototipo está operando en buenas condiciones. Además en el modelo simulado (software FEKO) se encontró que el valor correspondiente a la señal reflejada fue -13.8 dB Figura 21.

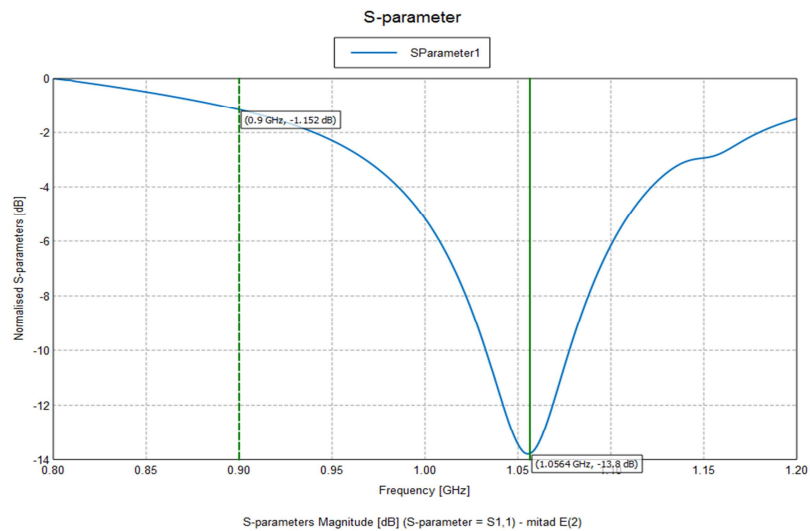


Figura 21 Parámetro S_{11} en la primera Simulación

Los datos obtenidos en la caracterización por medio del analizador de espectro FSH/8 para la señal reflejada fue -16,20 dB, Figura 22.

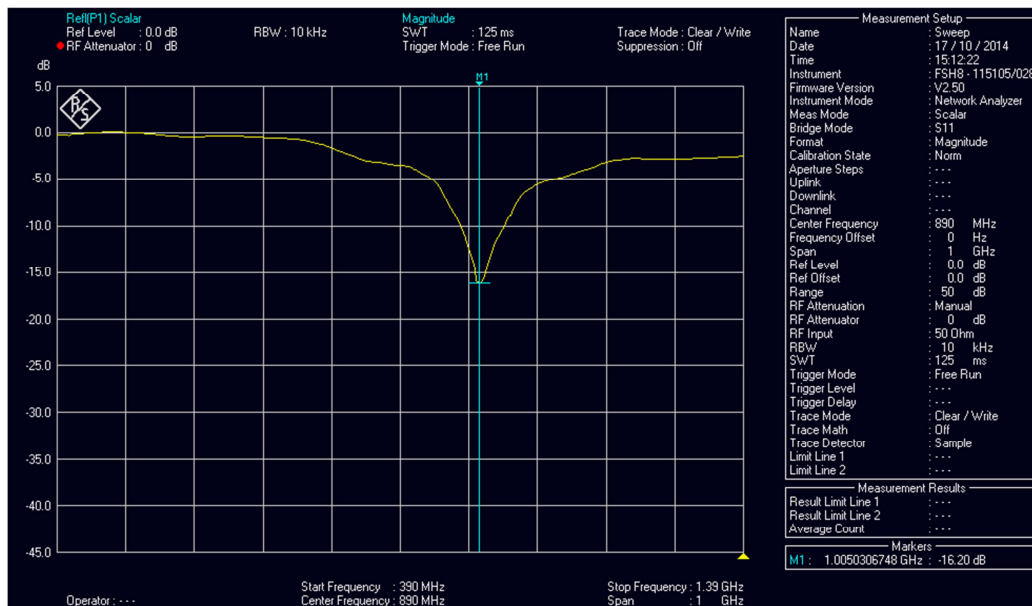


Figura 22. Parámetro S_{11} en la primera caracterización.

En la Figura 23 se presenta una comparación entre los datos obtenidos en el software de simulación y la caracterización de la antena.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

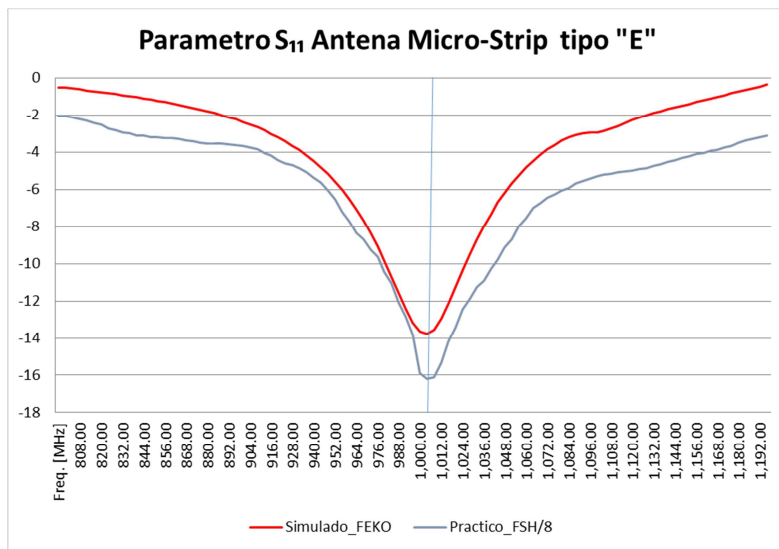


Figura 23 Parámetro S₁₁ práctico vs simulado primera caracterización

Para que una antena sea considerada como buena o eficiente desde el punto de vista de la conversión de la energía, es preciso que no devuelva o devuelva lo menos posible potencia hacia el generador. Dentro de la literatura, uno de los parámetros para re validar si un dispositivo radiante convierte la mayoría cantidad de energía posible, es la relación de onda estacionaria (ROE). Bajo este parámetro, se define como óptimas antenas cuyos valores de ROE sean inferiores o iguales a 1,5. De acuerdo a los cálculos matemáticos del apéndice “A” el $ROE_1 = 1,35$, pero en la práctica se encontró una pequeña variación con un valor de 1,36. Figura 24.

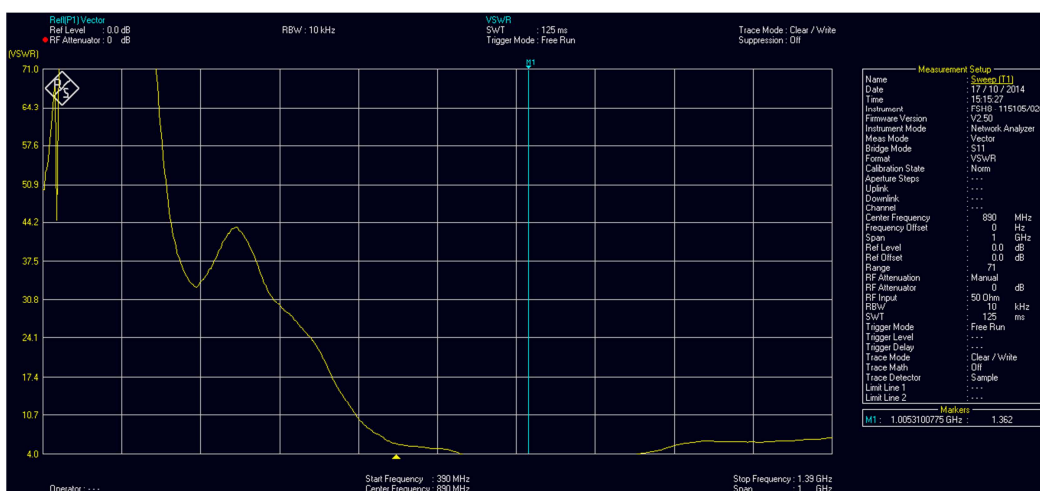


Figura 24. Razón de onda estacionaria para una frecuencia de operación de 1 GHz.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para mejorar los valores obtenidos en la primera implementación, se diseñar nuevamente la antena para operar a una frecuencia de operación 900 MHz. Para ello, la distancia de separación fue de 13,2 mm que incluía el espesor de 1,6 mm del sustrato y 11,6 del dieléctrico aire, la distancia de alimentación de 75 mm y los extremos de 151 mm.

En la tabla 2 se observa el valor de la potencia generada por el transmisor, la pérdida de espacio libre y la potencia recibida de acuerdo al grado de orientación. Durante el montaje del modelo, se observa según la columna siete (7), que se concentra la mayor cantidad de energía radiada en una dirección. En la Figura 25 se compara la versión simulada en el software FEKO y la simulación con el simulador electromagnético OpenEMS.

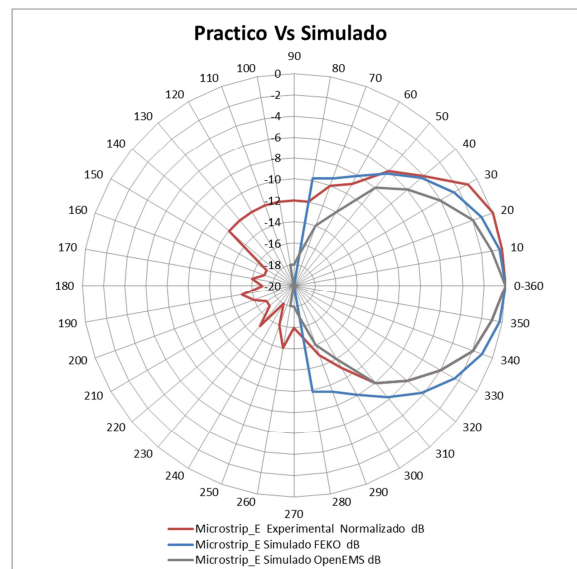


Figura 25 Patrón de radiación experimental normalizada frente a los resultados simulados

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2015-01-22

Tabla 2:

Resultados de los datos experimentales comparados con los resultados en los software de simulación.

Grados	Radianes	PRAD en dBm	RDD (Relacion Delante detrás) 10 log (Eo/Eπ)	Lfs a 360 cm en dB	Tx-----Rx H-----H 360 cm dBm	Potencia en W	Practico a 360 cm Normalizado dB	Microstrip_E Simulado FEKO dB	Microstrip_E Simulado OpenEMS dB	
90	$\pi/2$	1.570796327	-10	4	42.844	-62	6.31E-10	-12	-20	-18
80		1.396263402	-10	2	42.844	-62	6.31E-10	-12	-10	-17
70		1.221730476	-10	6	42.844	-60	1.00E-09	-10	-9	-14
60	$\pi/3$	1.047197551	-10	9	42.844	-59	1.26E-09	-9	-8	-12
50		0.872664626	-10	9	42.844	-56	2.51E-09	-6	-6	-8
40		0.698131701	-10	13	42.844	-54	3.98E-09	-4	-4	-6
30	$\pi/6$	0.523598776	-10	16	42.844	-51	7.94E-09	-1	-2	-4
20		0.34906585	-10	16	42.844	-50	1.00E-08	0	-1	-2
10		0.174532925	-10	15	42.844	-50	1.00E-08	0	0	-1
0-360	$0-2\pi$	0.1	-10	17	42.844	-50	1.00E-08	0	0	0
350		6.108652382	-10	15	42.844	-51	7.94E-09	-1	0	-1
340		5.934119457	-10	15	42.844	-52	6.31E-09	-2	-1	-2
330	$11\pi/6$	5.759586532	-10	13	42.844	-54	3.98E-09	-4	-2	-4
320		5.585053606	-10	6	42.844	-56	2.51E-09	-6	-4	-6
310		5.410520681	-10	4	42.844	-58	1.58E-09	-8	-6	-8
300	$5\pi/3$	5.235987756	-10	1	42.844	-61	7.94E-10	-11	-8	-12
290		5.061454831	-10	-1	42.844	-63	5.01E-10	-13	-9	-14
280		4.886921906	-10	-3	42.844	-65	3.16E-10	-15	-10	-17
270	$3\pi/2$	4.71238898	-10	-4	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20	-18
260		4.537856055	-10	-2	42.844	-64	3.98E-10	-14	-20	-18
250		4.36332313	-10	-6	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20	-20
240	$4\pi/3$	4.188790205	-10	-9	42.844	-68	1.58E-10	-18	-20	-20
230		4.01425728	-10	-9	42.844	-65	3.16E-10	-15	-20	-20
220		3.839724354	-10	-13	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20	-20
210	$7\pi/6$	3.665191429	-10	-16	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20	-20
200		3.490658504	-10	-16	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20	-20
190		3.316125579	-10	-15	42.844	-65	3.16E-10	-15	-20	-20
180	π	3.141592654	-10	-17	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20	-20
170		2.967059728	-10	-15	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20	-20
160		2.792526803	-10	-15	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20	-20
150	$5\pi/6$	2.617993878	-10	-13	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20	-20
140		2.443460953	-10	-6	42.844	-62	6.31E-10	-12	-20	-20
130		2.268928028	-10	-4	42.844	-62	6.31E-10	-12	-20	-20
120	$2\pi/3$	2.094395102	-10	-1	42.844	-62	6.31E-10	-12	-20	-20
110		1.919862177	-10	1	42.844	-62	6.31E-10	-12	-20	-20
100		1.745329252	-10	3	42.844	-62	6.31E-10	-12	-20	-18

En la Figura 26 se puede observar el patrón de radiación simulado y el ángulo de media potencia de 66.8 grados que obtuvo la antena en el proceso de simulación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

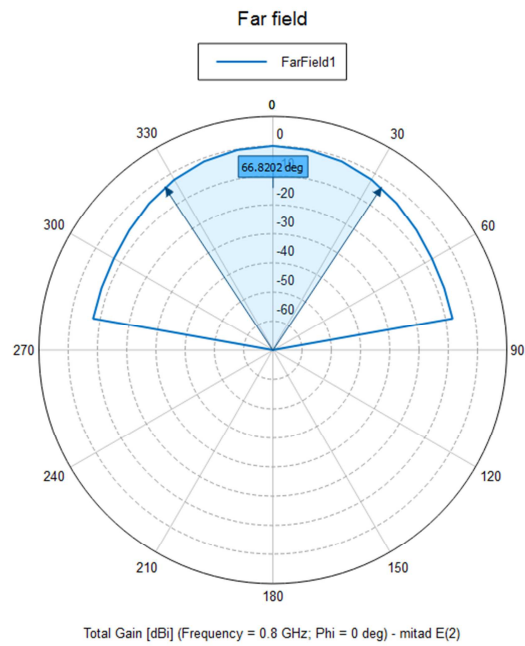
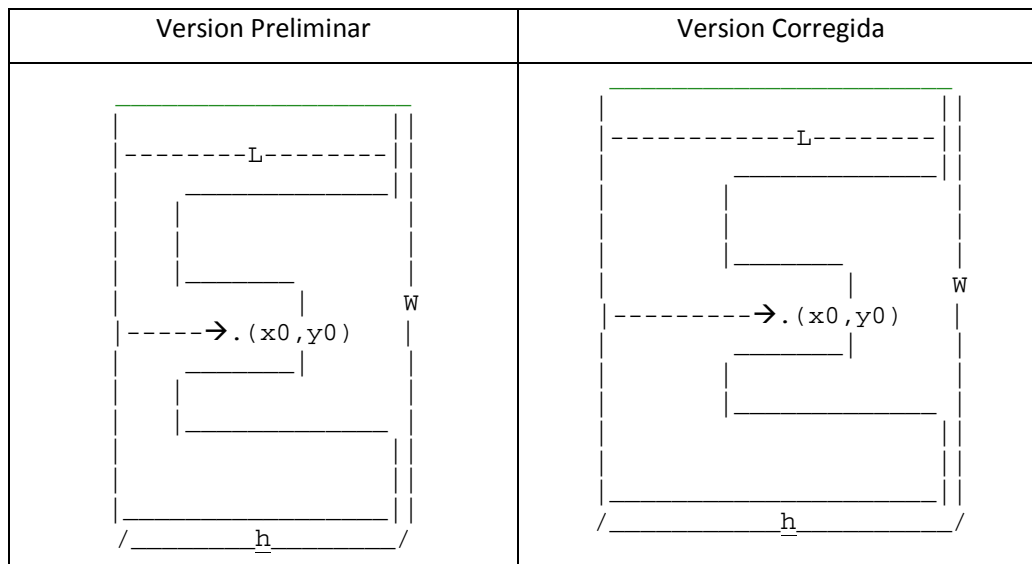


Figura 26 Patrón de radiación Simulado en la Primera caracterización

En la Figura 27 se ven gráficamente las correcciones al modelo para cumplir con las condiciones de operación.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

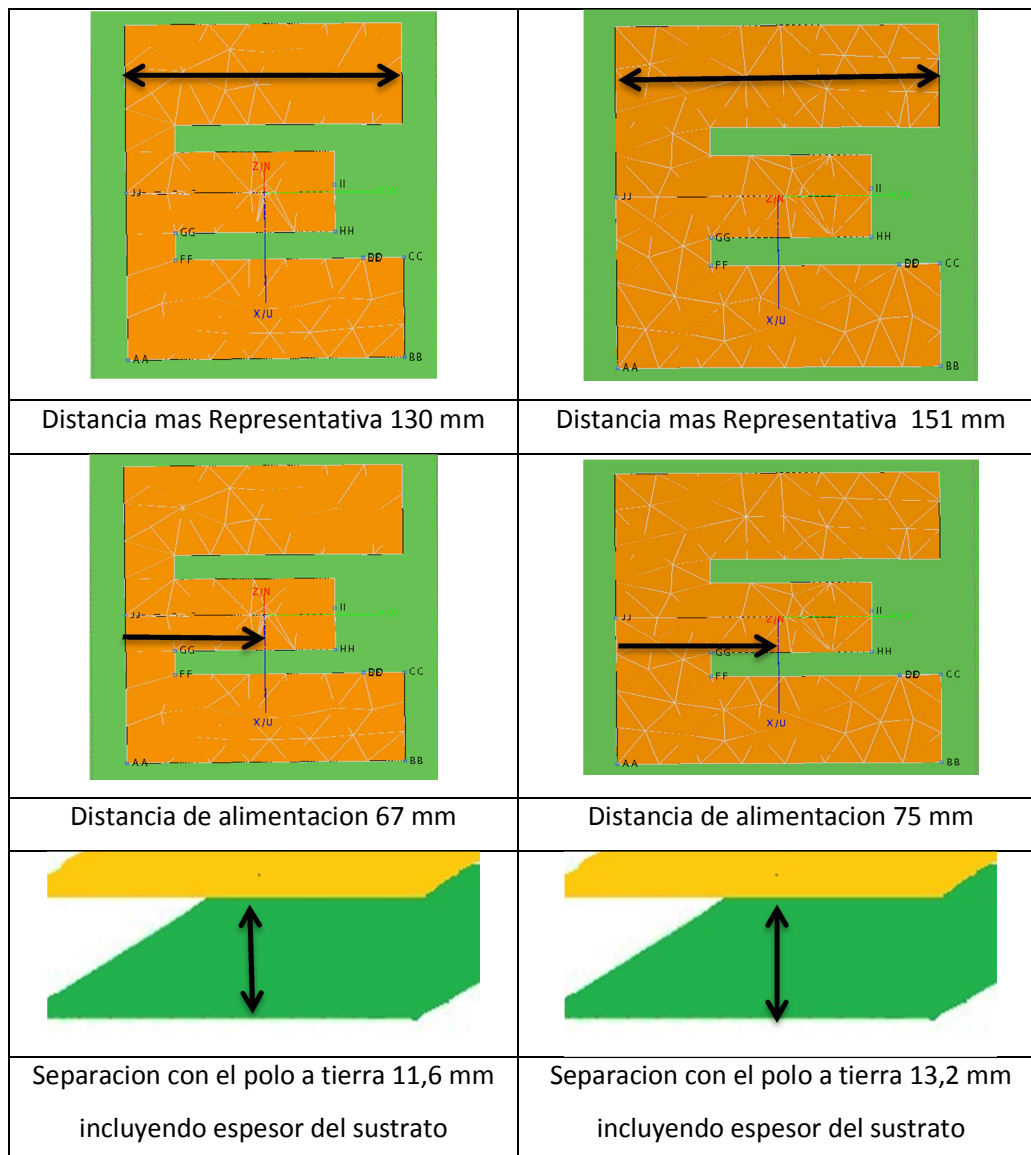


Figura 27 Correcciones al modelo

Una vez diseñada la nueva antena, se procedió a realizar la simulación en FEKO para verificar las nuevas condiciones de funcionamiento de campo lejano y las pérdidas de retorno S_{11} .

Para diseñar la geometría, se procedió como se explica a continuación. Primero se realizó el diseño geométrico de la estructura de la antena, para lo cual en el software FEKO se usó

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el paquete diseñador de estructuras “CADFEKO”. En la pestaña “Request” se seleccionó el ícono con el parámetro a simular requerido. Figura 28.

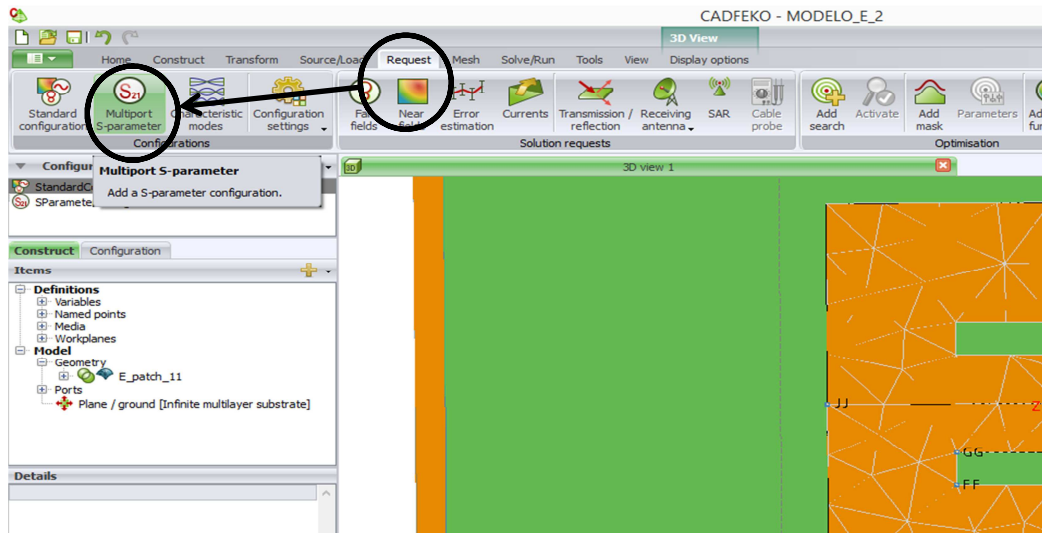


Figura 28 Requerimiento parámetro S_{11}

Al solicitar el parámetro, el software habilita la opción para seleccionar el puerto en el cual se requiere efectuar la medida. Figura 29.

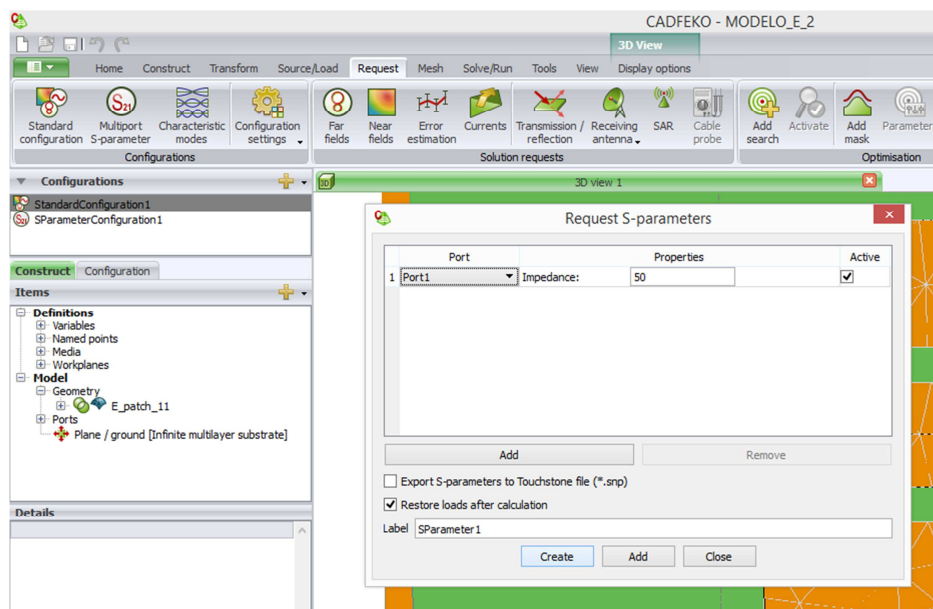


Figura 29 Selección del puerto donde será medido el parámetro S_{11}

Seguidamente, se especificó un rango de las frecuencias en la pestaña Source/Load en el ícono “Frequency”, para visualizar más fácilmente la curva de resultados, Figura 30.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Inicialmente se trabajó con una frecuencia central y al generar la gráfica se limita el resultado a un punto.

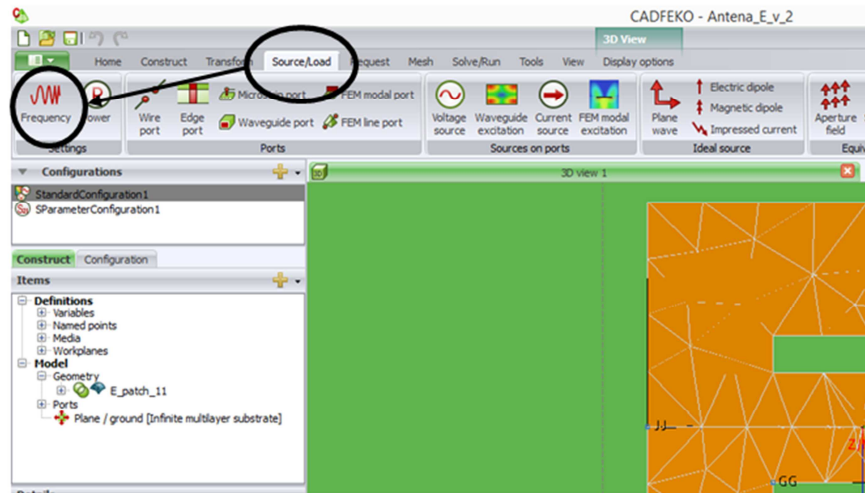


Figura 30 Elección Frecuencia de operación.

A continuación, se seleccionó la pestaña donde se especifica la frecuencia simple y se modificó por un rango continuo. Figura 31.

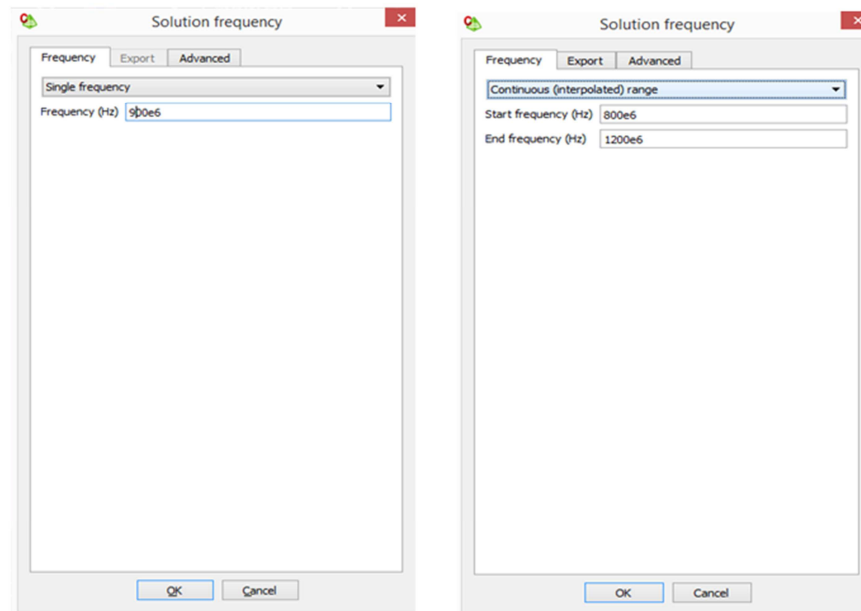


Figura 31 cambio de frecuencia central a rango continuo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego, se realizó el mallado de la estructura, mediante la pestaña “Mesh” y el ícono “Create mesh”. Figura 32. Este paso es fundamental para la realización de todos los cálculos numéricos de todas las condiciones electromagnéticas de la estructura.

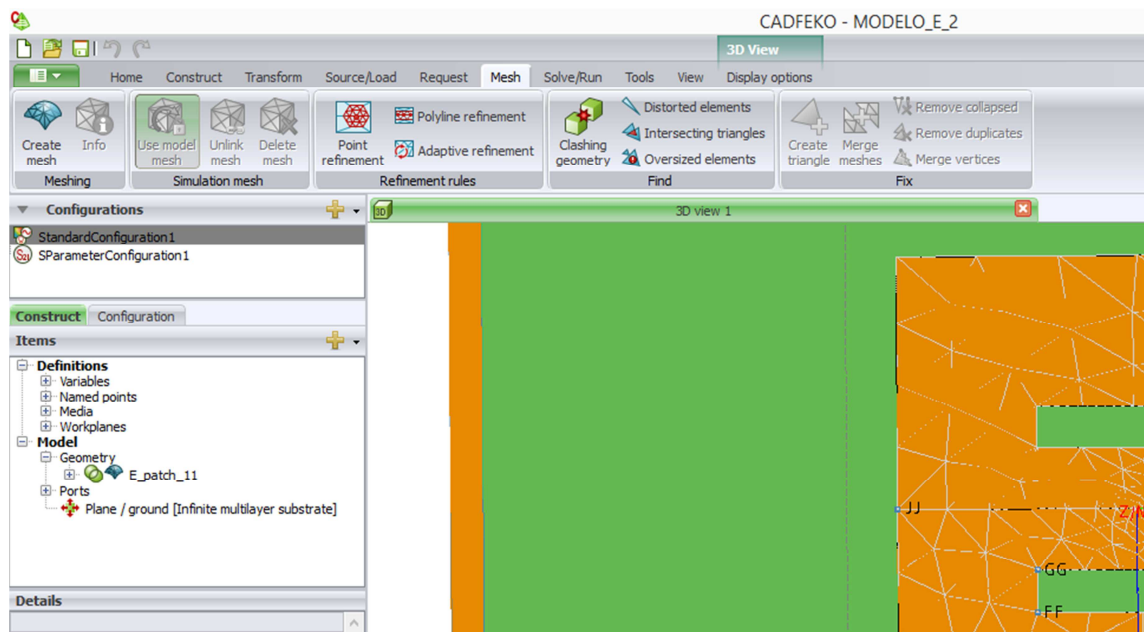


Figura 32 Creación de la malla

Debido al espectro de frecuencias en que se requiere ejecutar la simulación, es preciso ajustar el refinamiento o separación entre simplexes de la malla, con el fin de optimizar el tiempo de simulación. Con la malla estándar y el espectro de simulación entre 850 MHz a 1.2 GHz, la simulación tarda 15 horas en finalizar.

Para reducir el refinamiento del enmallado, es decir, aumentar el área de los simplexes, después de seleccionar la creación de la malla el sistema habilita una ventana. En la primera pestaña se puede modificar algunos detalles del tamaño de la malla. Figura 33.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

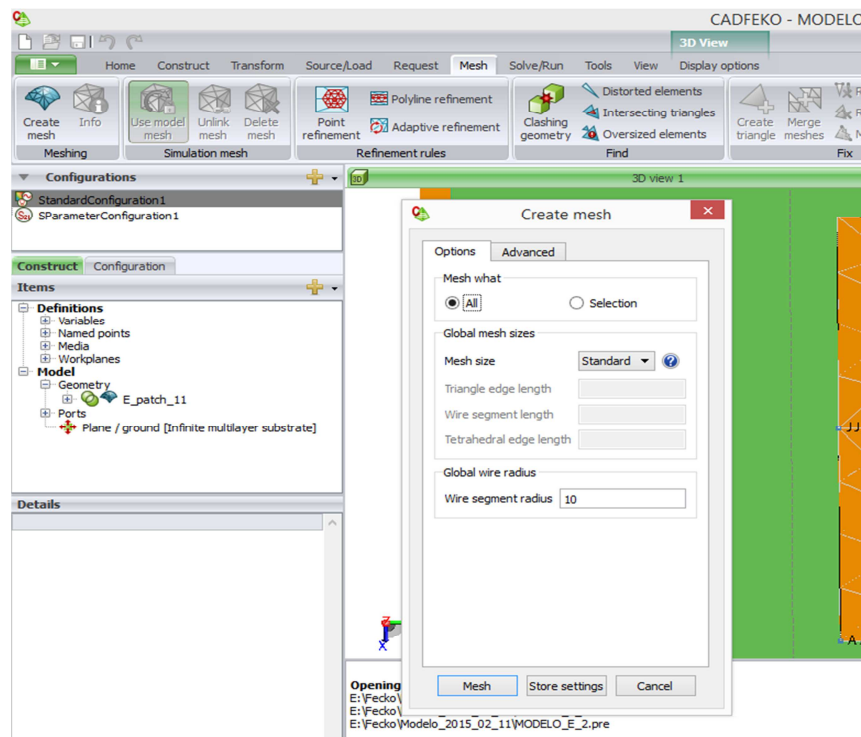


Figura 33 Modificación del tamaño de la malla.

En la pestaña Advanced, se modificó el porcentaje de la geometría, el espesor de la malla el refinamiento o la velocidad de la simulación. Figura 34.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

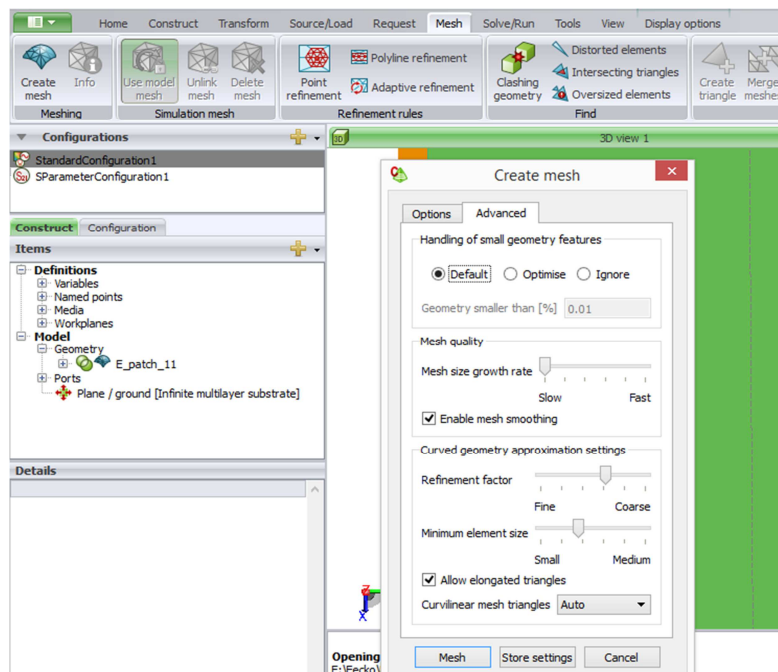
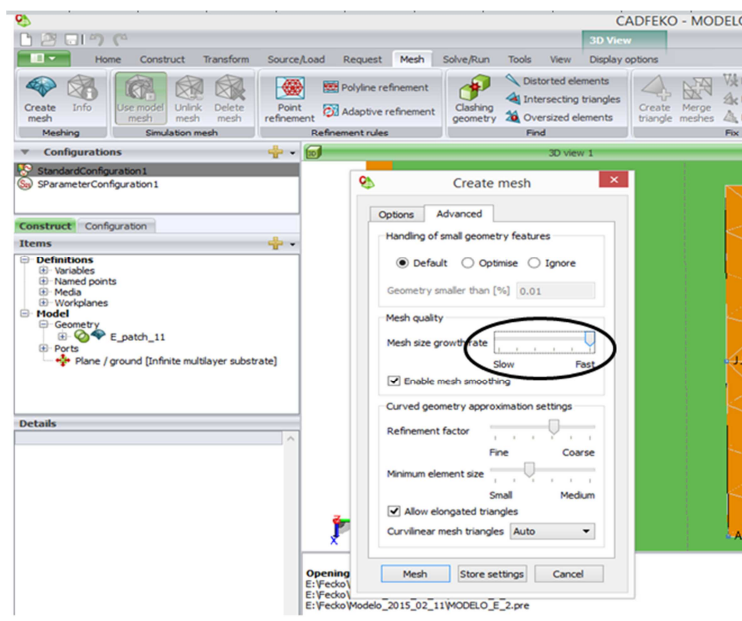


Figura 34 Modificaciones avanzadas de la malla.

Como se mencionó anteriormente, lo más eficiente es ejecutar la simulación reduciendo el tiempo, eso se hizo al modificar la barra de la velocidad, así cambian varias condiciones y reduce el tiempo de simulación a casi un 5% del tiempo inicial. El resultado es entregado en aproximadamente media hora,



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 35.

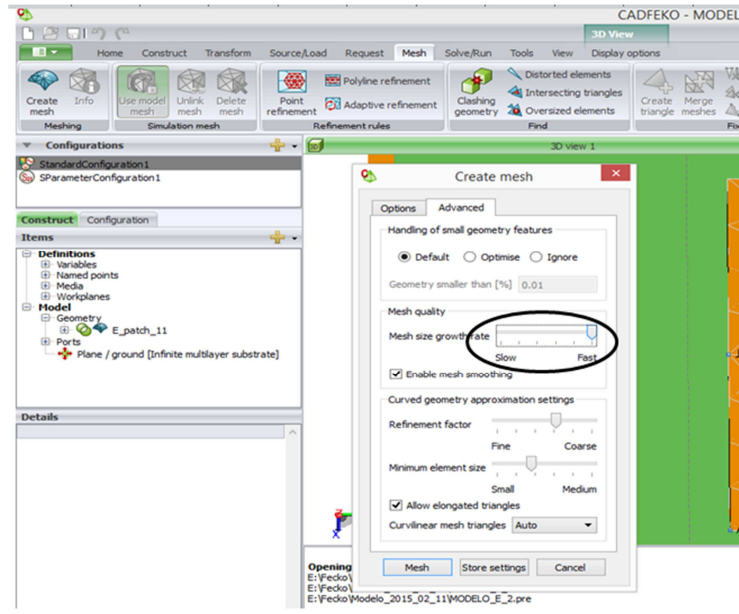


Figura 35 Modificación Velocidad del enmallado.

El software realiza el enmallado que recubre el diseño, Figura 36

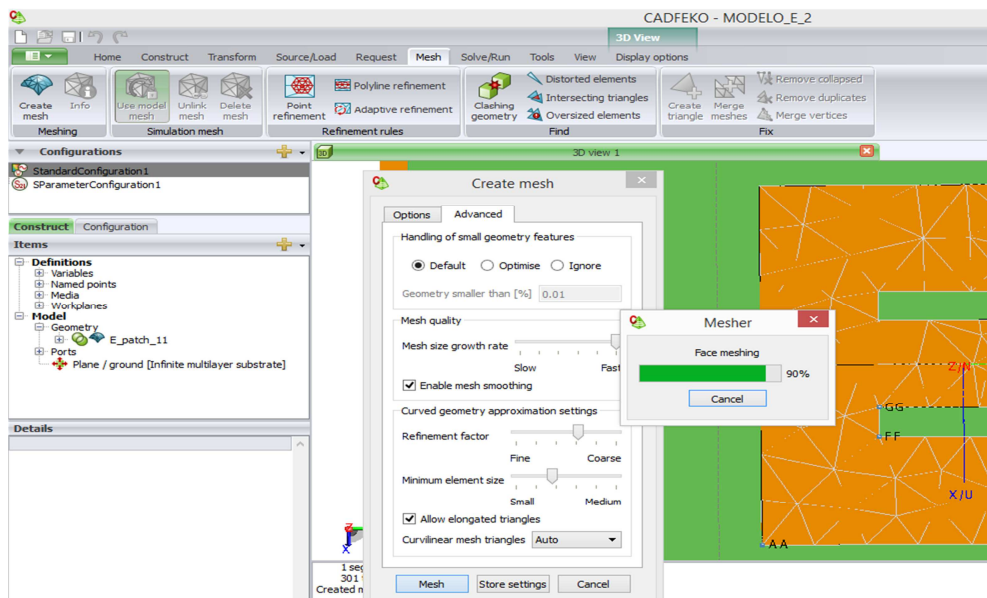


Figura 36 Procesando el recubrimiento de la malla.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la pestaña “Solve/Run”, existe un icono llamado “CEM Validate” que permite validar la construcción de la antena y verificar si existen errores.

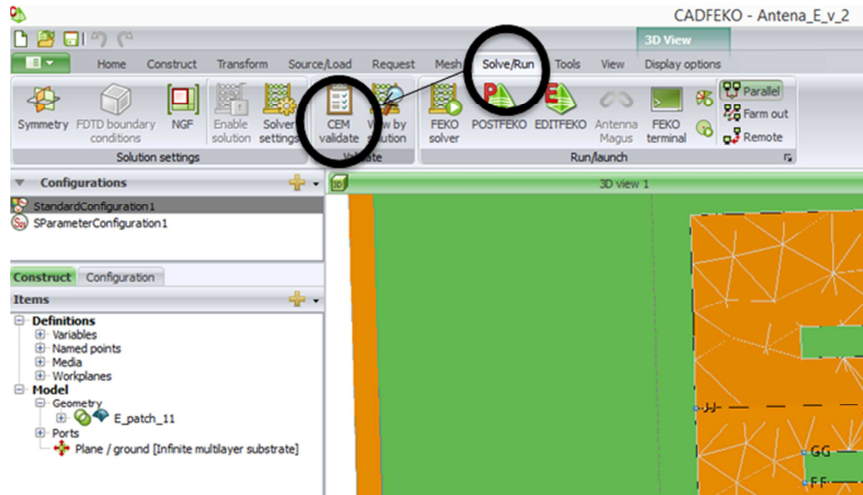


Figura 37

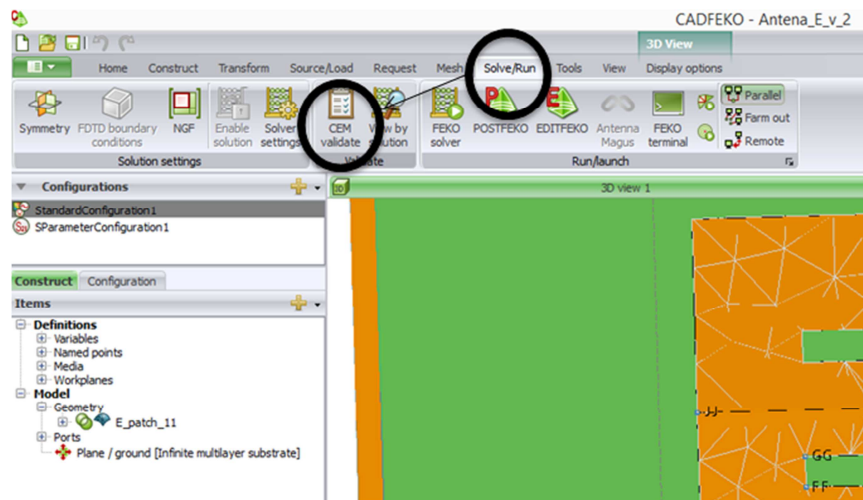


Figura 37 Requerimiento de validación inmediata de errores.

La validación busca, encuentra y señala errores en la construcción del diseño, Figura 38

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

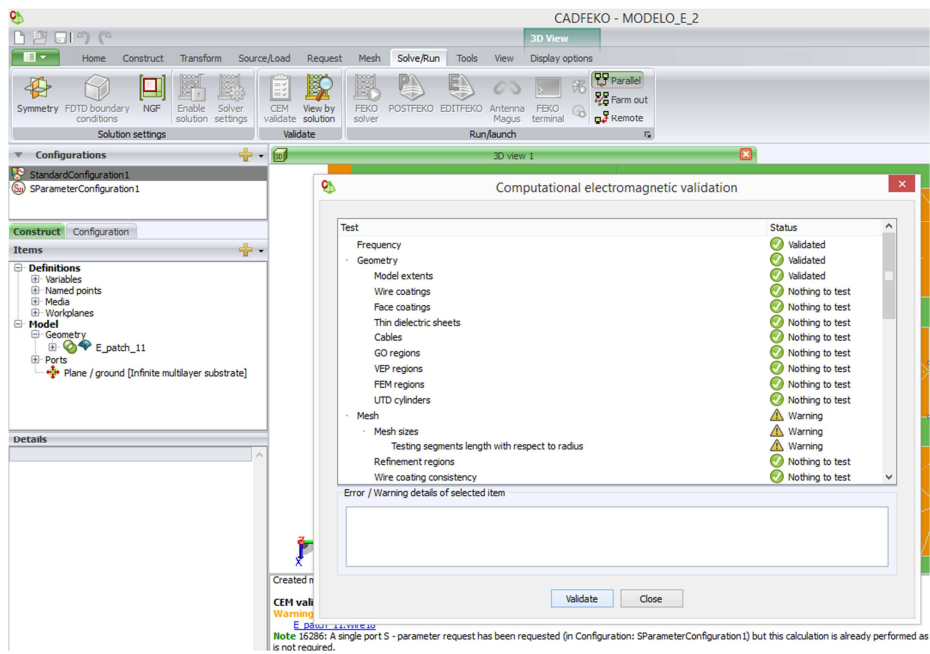


Figura 38 Finalización del proceso de validación.

Una vez finalizado este proceso y sin errores, se ejecuta con icono “FEKO solver” el inicio de la simulación electromagnética.

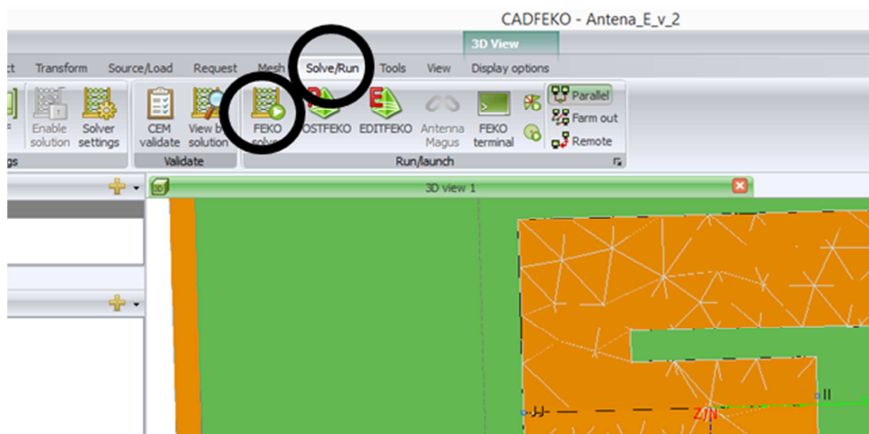


Figura 39

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

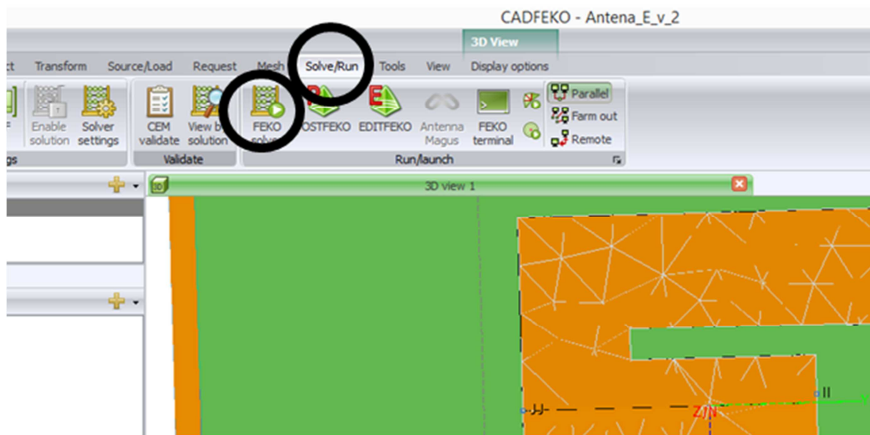


Figura 39 Inicio proceso de simulación.

Durante el proceso de simulación, el sistema muestra dos barras de progreso. En la primera, la fase actual y en la segunda el progreso total. Además, si habilita las opciones se ven cuatro pestañas: la primera muestra todos los datos de salida, en la segunda las notificaciones, en la tercera las alertas de atención y en la última los errores. Figura 40.

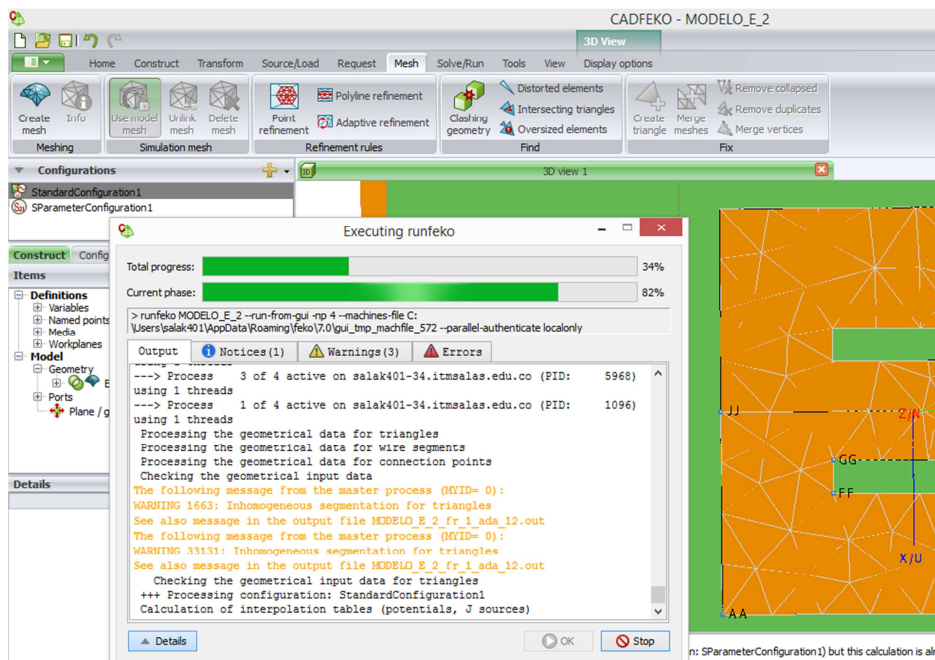


Figura 40 Transcurso del proceso de simulación.

Una vez finalizado el proceso de simulación en CADFEKO y al no evidenciar errores el proceso se continúa visualizando los resultados, Figura 41.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

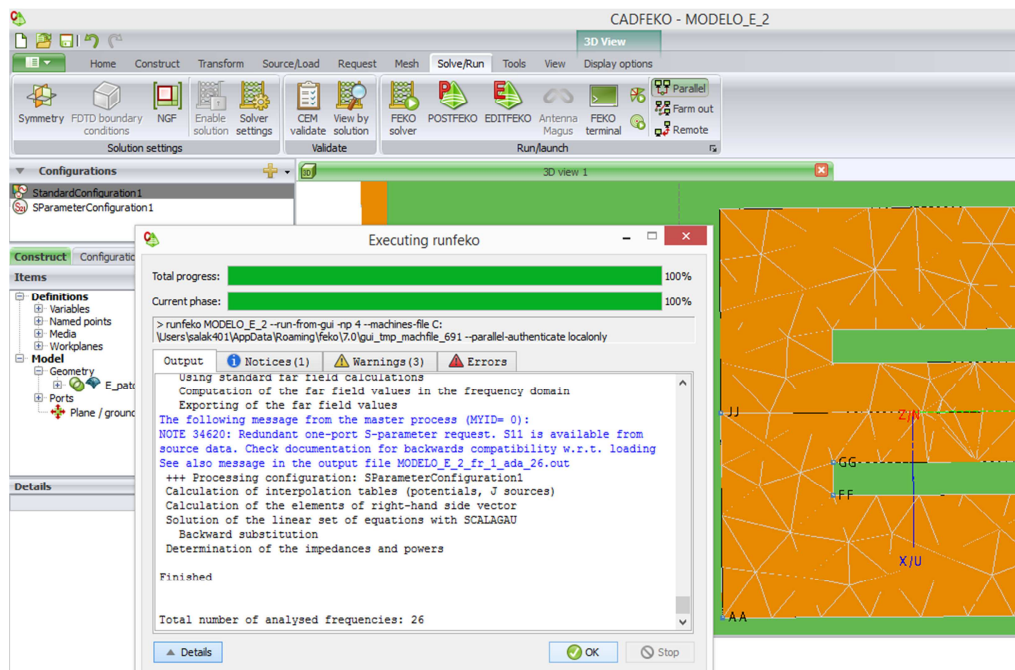


Figura 41 Finalización de proceso de simulación.

Para visualizar los resultados de la simulación, se ejecuta mediante clic en su ícono, el programa POSTFEKO. Se presenta la siguiente interfaz de la simulación,

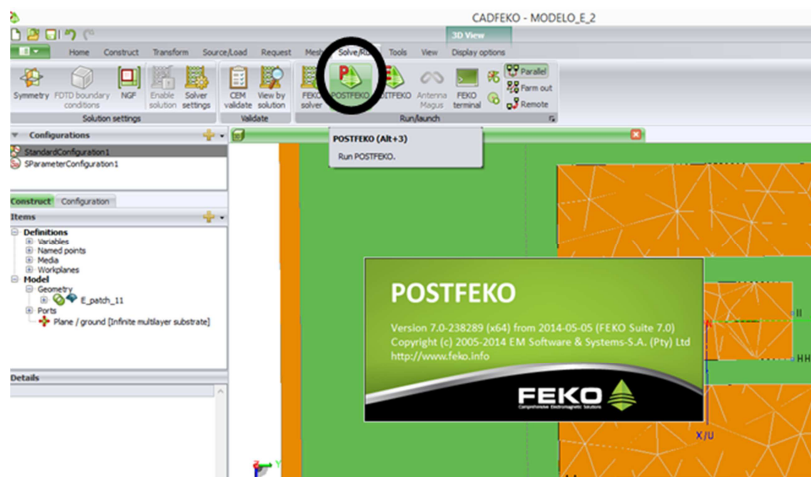


Figura 42.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

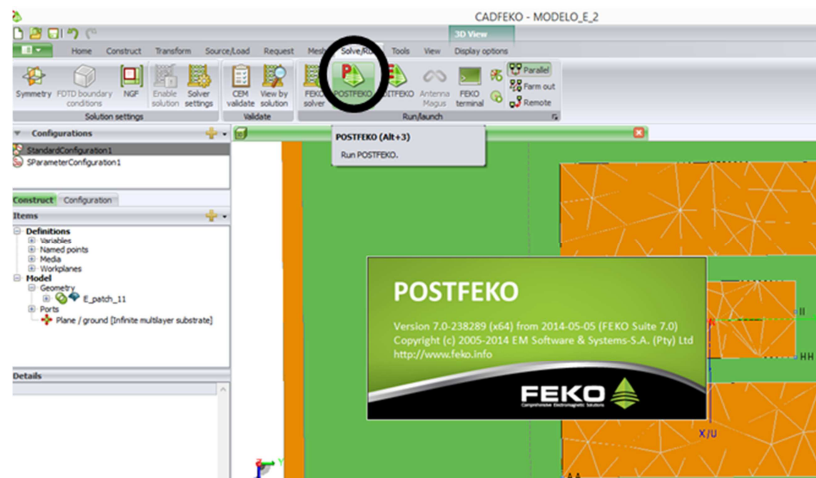


Figura 42 Icono para visualizar resultados de la simulación.

Para la presentación de los resultados, es necesario seguir la ruta que se muestra en la Figura 43. Así se visualizan los parámetros de simulación solicitados al CADFEKO.

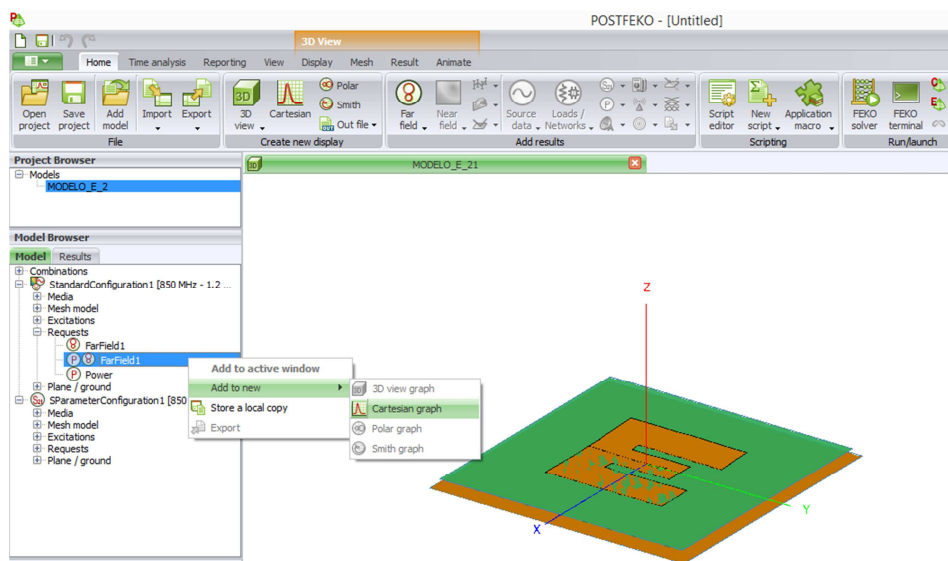


Figura 43 Solicitud para visualizar el campo lejano.

En curva del campo lejano, la mayor potencia se muestra en la frecuencia de 900 MHz, que es la utilizada para los procesos de RFID en la banda UHF. Figura 44.

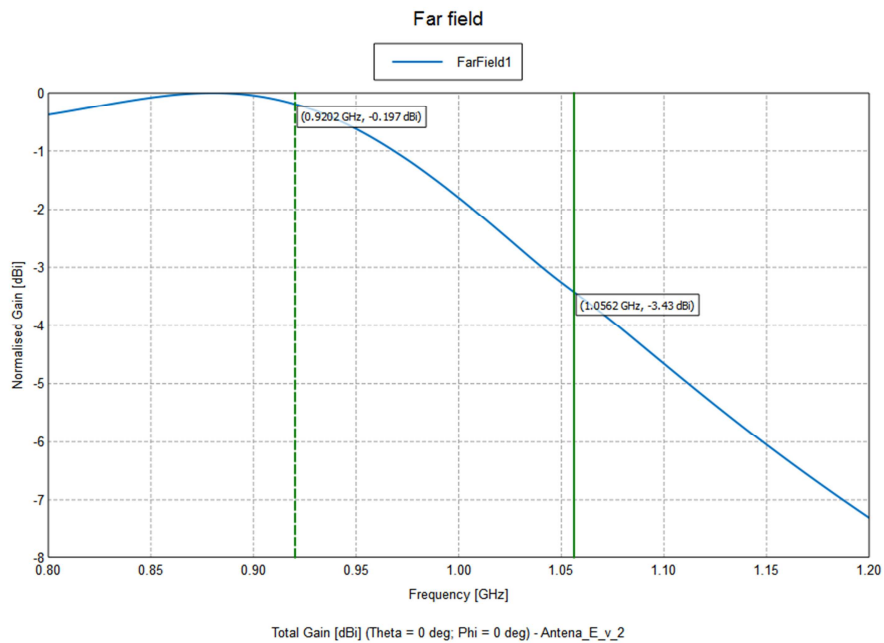


Figura 44 Campo lejano, normalizado y en dB.

En la Figura 45 se presenta la ruta para visualizar el parámetro S_{11} .

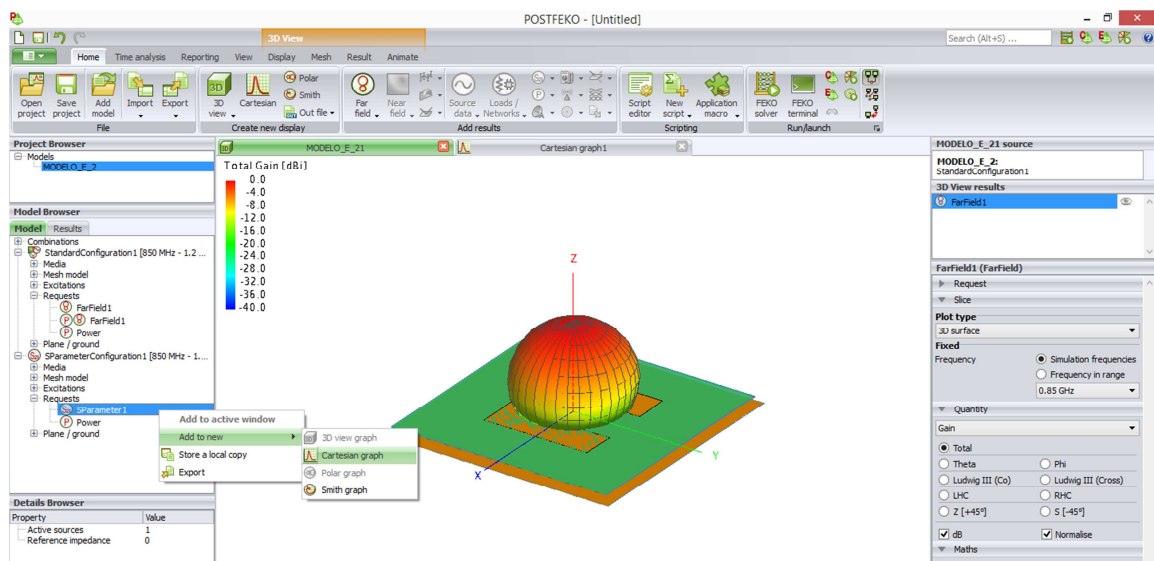


Figura 45 Solicitud del parámetro S_{11}

En la curva del parámetro S_{11} o pérdidas de retorno, se buscaron los valores de frecuencia que presentan pérdidas por debajo de -10 dB y el mínimo, para encontrar el ancho de banda y la frecuencia central de operación de la misma. Figura 46.

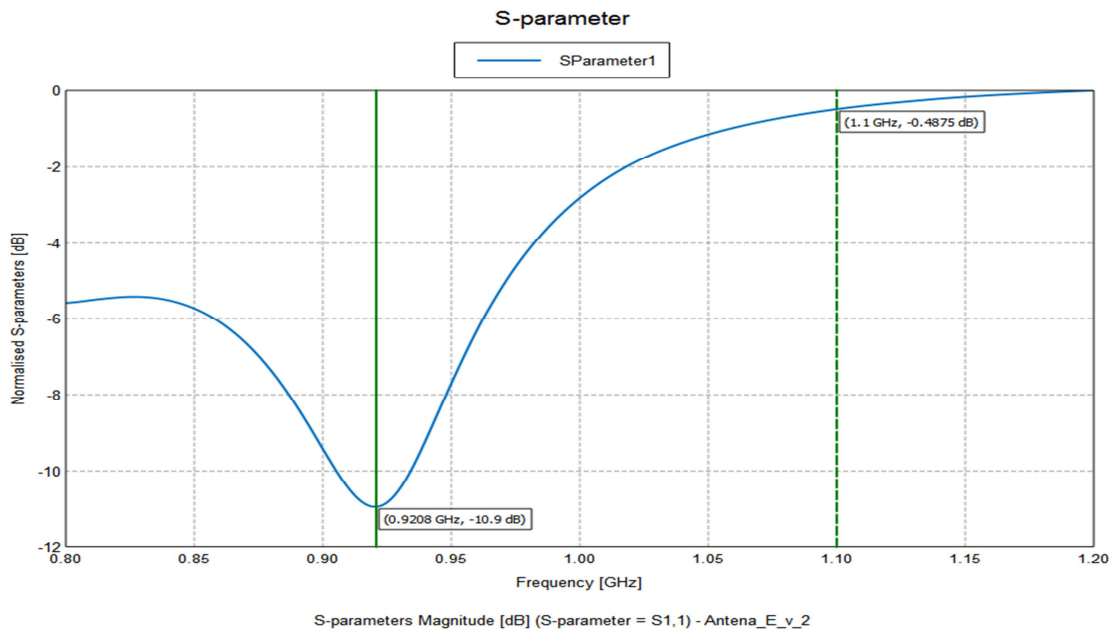


Figura 46 Simulación Parámetro S_{11} del modelo corregido

Con el software del analizador de espectro FSH4view, se capturaron los resultados obtenidos en la caracterización del nuevo diseño. Se obtuvo que el modelo corregido opera en la frecuencia 921MHz, con pérdidas de retorno inferiores a -29dB, siendo inferior al obtenido en el software de simulación. Figura 47.

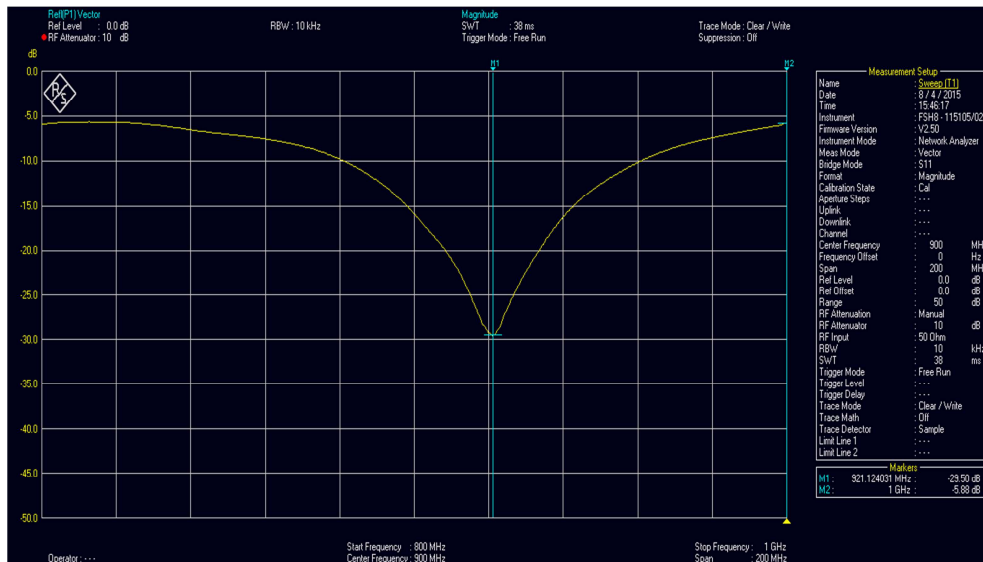


Figura 47 Caracterización Parámetro S_{11} del modelo corregido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 48 se comparan los datos de la caracterización con los simulados de la antena corregida.

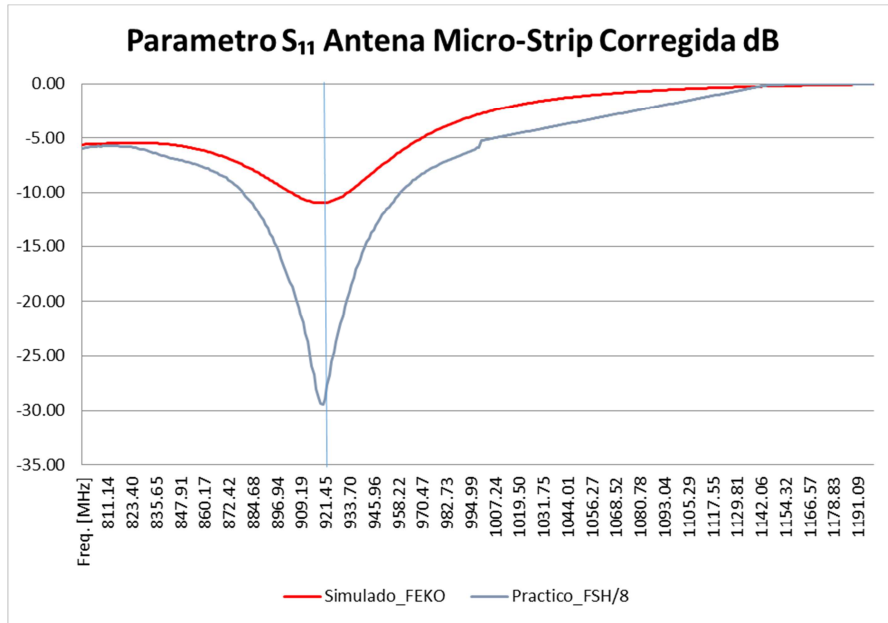


Figura 48 Parámetro S₁₁ practico vs simulado Antena Corregida.

En la corrección que se le efectúa a la antena se encuentra una diferencia mínima entre la antena construida y la simulada en el software FEKO, la simulada está operando a 920 MHz y la construida a 921 MHz, aunque la respuesta de la construida fue mejor que la simulada con casi -30 dB de diferencia entre la potencia generada y la retorno en la frecuencia de operación. En la Figura 48 se observa la comparación de los datos obtenidos en la simulación frente a los resultados en la caracterización de la antena corregida

La impedancia normalizada mostrada por el modelo corregido fue de $1,5 - 0,7j$, es decir, una impedancia de $75\Omega - 35j$. Con esta información se calculó el ROE = 1,98 y el coeficiente de reflexión $\Gamma = 0,33$. Figura 49.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

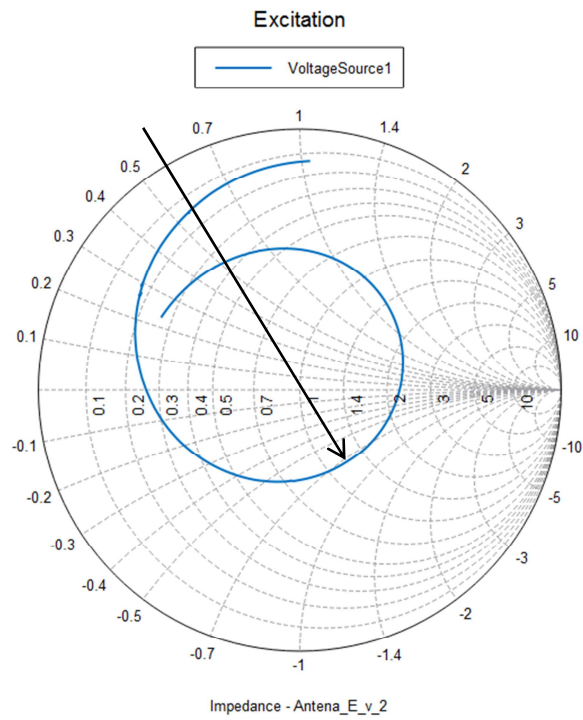


Figura 49 Impedancia del modelo corregido a una frecuencia de 920 MHz

Del software de simulación se obtiene que el ángulo de media potencia para la antena corregida fue 70.42°, Figura 50.

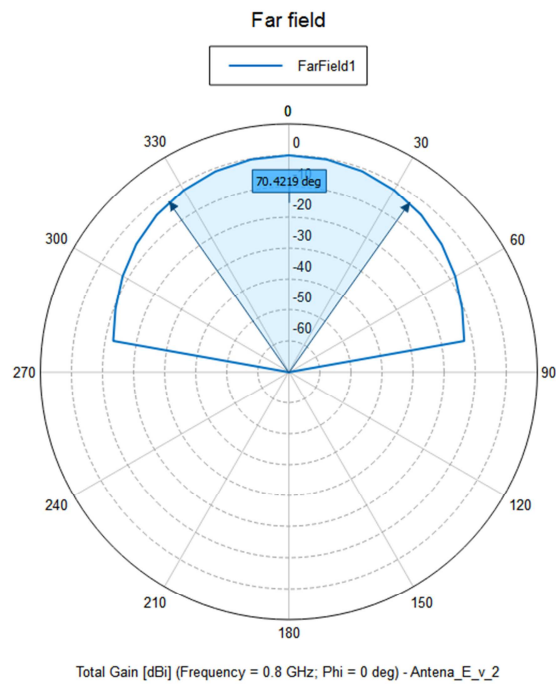


Figura 50 Patrón de radiación de la antena Microstrip tipo “E” corregida.

En la Figura 51 se realiza la comparación del parámetro S_{11} de la antena inicial respecto de la antena corregida.

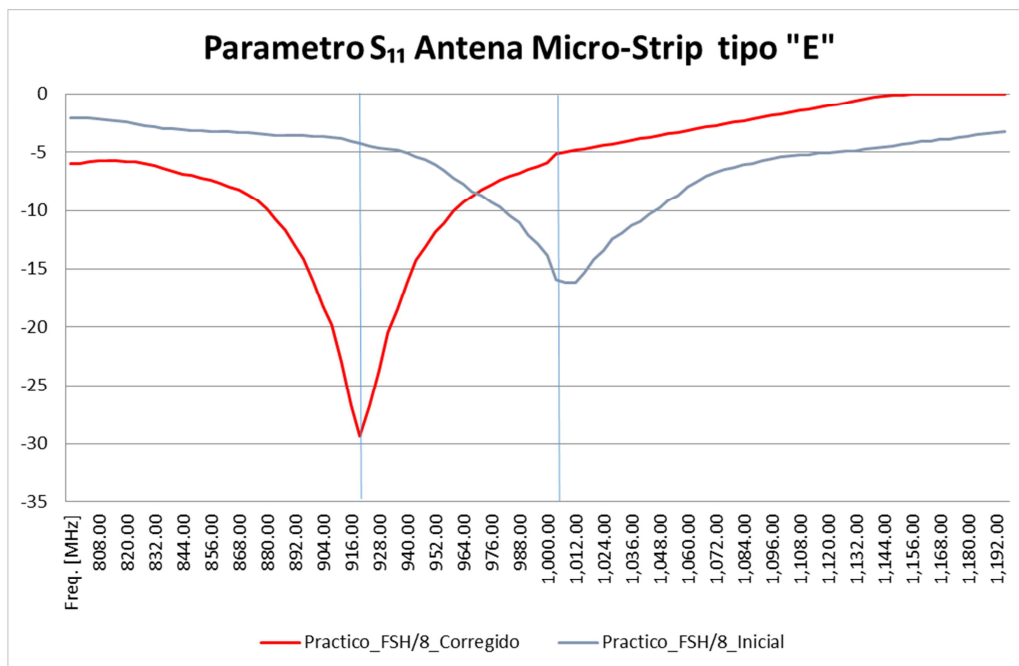


Figura 51 Parámetro S_{11} antena Microstrip tipo E inicial Vs Corregido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la simulación efectuada en el software OpenEMS se obtiene un resultado más ajustado que en el software FEKO, alcanzando a llegar -15 dB. En la **Figura 52 Comparación S_{11} inicial con simulación corregida OpenEMS** se muestra la relación entre el diseño de la antena construida y la simulación corregida. Agradezco al profesor Ronal Montoya por proporcionar la simulación en este software.

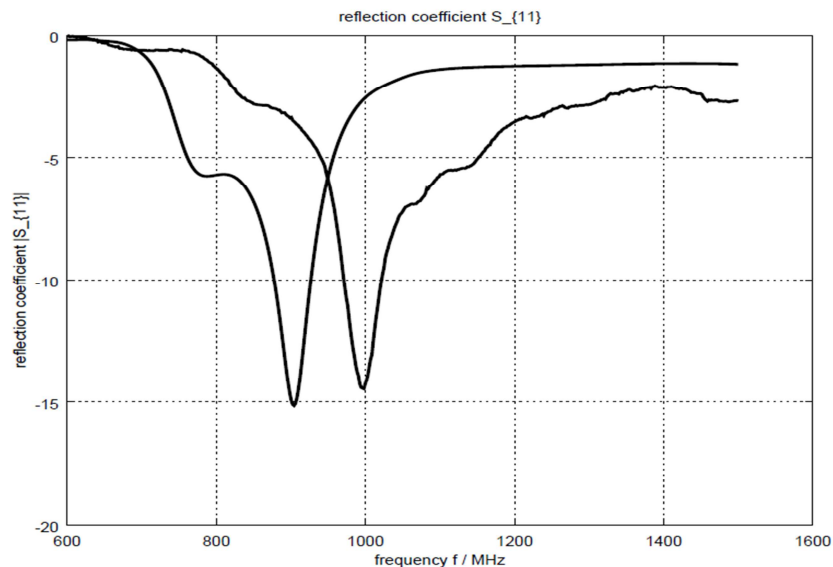


Figura 52 Comparación S_{11} inicial con simulación corregida OpenEMS.

Una vez terminada la caracterización de la antena, se dispuso en montaje para realizar la toma de medidas para calcular el parámetro de radiación de la antena. En el mismo lugar donde se realizó el primer ejercicio, terraza de fraternidad bloque N junto al laboratorio de Radio-Propagación. Figura 53.



Figura 53 Toma de medidas con la antena corregida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El montaje de la antena corregida se ubicó sobre una mesa junto al generador y ubicada sobre el azimut para la toma de medidas. Figura 54



Figura 54 Montaje de la antena corregida.

Se dispuso de los mismos elementos anteriores incluyendo la antena logo-periódica, el equipo will'Tek 9103 como generador de señales, y el analizador de espectro RF SPECTRAN HF-6010.

Con los datos obtenidos en la toma de medidas ubicados en la Tabla 3 se obtiene el patrón de radiación de la antena Microstrip tipo "E" corregida, para operar en la frecuencia de operación de RFID. Figura 55.

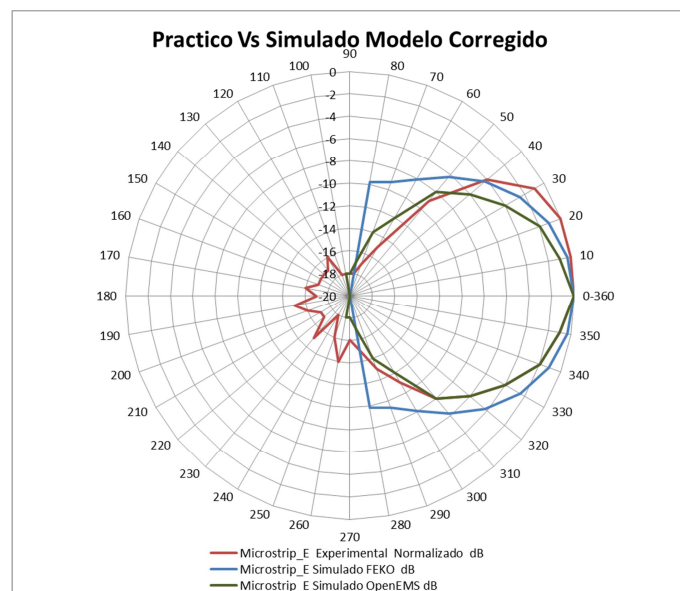


Figura 55 Patrón de radiación experimental normalizada frente a los resultados simulados de prototipo corregido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2015-01-22

Tabla 3 Resultados de los datos experimentales comparados con los resultados en software de simulación de la antena corregida.

Grados	Radianes	PRAD en dBm	RDD (Relacion Delante detrás) 10 log (Eo/E _r)	Lfs a 360 cm en dB	Tx----Rx H-----H 360 cm dBm	Potencia en W	Practico a 360 cm Normalizado dB	Microstrip_E Simulado FEKO dB	Microstrip_E Simulado OpenEMS dB
90	$\pi/2$	1.570796327	-10	-2	42.844	-62	6.31E-10	-18	-18
80		1.396263402	-10	-4	42.844	-62	6.31E-10	-18	-17
70		1.221730476	-10	-1	42.844	-60	1.00E-09	-17	-14
60	$\pi/3$	1.047197551	-10	3	42.844	-59	1.26E-09	-15	-12
50		0.872664626	-10	6	42.844	-56	2.51E-09	-9	-8
40		0.698131701	-10	13	42.844	-54	3.98E-09	-4	-6
30	$\pi/6$	0.523598776	-10	16	42.844	-51	7.94E-09	-1	-4
20		0.34906585	-10	16	42.844	-50	1.00E-08	0	-2
10		0.174532925	-10	15	42.844	-50	1.00E-08	0	-1
0-360	$0-2\pi$	0.1	-10	17	42.844	-50	1.00E-08	0	0
350		6.108652382	-10	15	42.844	-51	7.94E-09	-1	-1
340		5.934119457	-10	15	42.844	-52	6.31E-09	-2	-2
330	$11\pi/6$	5.759586532	-10	13	42.844	-54	3.98E-09	-4	-4
320		5.585053606	-10	11	42.844	-56	2.51E-09	-6	-6
310		5.410520681	-10	9	42.844	-58	1.58E-09	-8	-8
300	$5\pi/3$	5.235987756	-10	5	42.844	-61	7.94E-10	-11	-12
290		5.061454831	-10	5	42.844	-63	5.01E-10	-13	-14
280		4.886921906	-10	3	42.844	-65	3.16E-10	-15	-17
270	$3\pi/2$	4.71238898	-10	2	42.844	-66	2.51E-10	-16	-18
260		4.537856055	-10	4	42.844	-64	3.98E-10	-14	-18
250		4.36332313	-10	1	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20
240	$4\pi/3$	4.188790205	-10	-3	42.844	-68	1.58E-10	-18	-20
230		4.01425728	-10	-6	42.844	-65	3.16E-10	-15	-20
220		3.839724354	-10	-13	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20
210	$7\pi/6$	3.665191429	-10	-16	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20
200		3.490658504	-10	-16	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20
190		3.316125579	-10	-15	42.844	-65	3.16E-10	-15	-20
180	π	3.141592654	-10	-17	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20
170		2.967059728	-10	-15	42.844	-66	2.51E-10	-16	-20
160		2.792526803	-10	-15	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20
150	$5\pi/6$	2.617993878	-10	-13	42.844	-67	2.00E-10	-17	-20
140		2.443460953	-10	-11	42.844	-62	6.31E-10	-17	-20
130		2.268928028	-10	-9	42.844	-62	6.31E-10	-17	-20
120	$2\pi/3$	2.094395102	-10	-5	42.844	-62	6.31E-10	-16	-20
110		1.919862177	-10	-5	42.844	-62	6.31E-10	-18	-20
100		1.745329252	-10	-3	42.844	-62	6.31E-10	-18	-18

La simulación fue ejecutada en un computador del ITM ubicado en el cuarto piso en la sala K-401, posee un procesador doble núcleo con una velocidad de 3.80 GHz, una memoria de 8 GB y sistema operativo Windows 8.1 pro. Figuran 56.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Windows 8.1 Pro
 © 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.



Sistema

Procesador: AMD A10-5800B APU with Radeon(tm) HD Graphics 3.80 GHz
 Memoria instalada (RAM): 8.00 GB (7.20 GB utilizable)
 Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
 Lápiz y entrada táctil: La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Configuración de nombre, dominio y grupo de trabajo del equipo

Nombre de equipo: salak401-34
 Nombre completo de equipo: salak401-34.itmsalas.edu.co
 Descripción del equipo:

[Cambiar configuración](#)

Figuran 56 Características del equipo donde se realizaron los cálculos y simulaciones.

Para la realización de los cálculos contenidos en el apéndice A, se tuvieron en cuenta las referencias bibliográficas (Ramesh, Prakash, Inder, & Apisak, 2001) aunque en algunos textos no especifican una fórmula de calcular el ancho, sí establece una relación entre el ancho y la altura de $1 < W/L < 2$.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

-
- En el marco del sistema de comunicación RFID que opera en la banda UHF entre 860 a 960 MHz, y en Colombia según la ANE en la banda de 902 a 928 MHz, se cumplió la implementación de una antena Microstrip tipo “E”, la cual trabajó en la frecuencia 920 MHz.
 - Se analizó y cumplió con el protocolo en la manipulación de equipo FSH/8 para la caracterización de la antena Microstrip tipo “E”.
 - Se obtuvo una mejora en el diseño de la antena modificando la altura del sustrato para aumentar la ganancia de la antena disminuyendo las pérdidas de retorno hasta -29 dB.
 - Se demostró que el diseño de la antena tipo “E” cumple con la condición de mantener buen ancho de banda. Según la caracterización se encontró que el ancho de banda es de 68 MHz, es decir una razón entre ancho de banda y frecuencia central de operación del 7,3%.
 - Se sugiere la inclusión en prácticas de laboratorio del analizador de redes FSH-03, dadas todas las capacidades que tiene el equipo, no solo para la medición de antenas, sino de otros dispositivos de telecomunicaciones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. (2011). Analizador de espectros portátil . Munich, Germany.
- Aaronia AG. (2014). SPECTRAN® HF (RF) Spectrum Analyser. Strickscheid, Alemania.
- Agencia Nacional del Espectro . (s.f.). *Cuadro Nacional de Atribucion de Bandas de Frecuencias*. Recuperado el 21 de abril de 2015, de <http://ane.gov.co/cnabf/index.php/cenabf-grafico>
- Colombo, I. J. (2012). Medición de Parámetros de Dispersión “S”. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN Ingeniería Electrónica, San Miguel de Tucumán, Argentina: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN,.
- ETSI. (Febrero de 2015). *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM)*. Obtenido de <http://www.etsi.org/standards-search>
- ETSI. (2015). *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radio Frequency Identification Equipment operating in theband 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W and in the band 915 MHz to 921 MHz with power levels up to 4 W;Part 1: Technical r*. Recuperado el 2015, de <http://www.etsi.org/standards-search>.
- Garcia Dominguez, A. (2010). *Cálculo de antenas, antenas de última generación para tecnología digital y métodos de medición*. Barcelona, España: Marcombo.
- Garcia, D. A. (2010). *Cálculo de antenas, antenas de última generación para tecnología digital y métodos de medición*. Barcelona (España): Marcombo.
- Ing. Alejandro, H. (Enero de 2012). <http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/metrologiarf>. Obtenido de <http://www.dominion.com.mx/fichas/conector-din-skiner-2.pdf>
- J. Muyari, N. K. (2012). Fabrication process of YBCO thin film starting from amorphous film for microstrip line device. *Physics Procedia*, 280–283.
- J. Muyari, N. K. (2012). Fabrication process of YBCO thin film starting from amorphous film for microstrip line device. *Physics Procedia*, 280–283.
- Jaime, R. A. (2007). *Antenas. Conceptos Básicos Simplificados De Funcionamiento Y Diseño*. Bogota, Colombia: Universidad de San Buenaventura de Bogotá.
- Karim Mohammadpour-Aghdam, S. R.-D. (2012). Miniaturized integrated antennas for far-field wireless powering. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 789–796.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Karim Mohammadpour-Aghdam, S. R.-D. (2012). Miniaturized integrated antennas for far-field wireless powering. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 789–796.
- Lan Yao, M. J. (2011). Fabrication and characterization of microstrip array antennas integrated in the three dimensional orthogonal woven composite. *Composites Part B: Engineering*, 885–890.
- Lan Yao, M. J. (2011). Fabrication and characterization of microstrip array antennas integrated in the three dimensional orthogonal woven composite. *Composites Part B: Engineering*, 885–890.
- Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones. (23 de Abril de 2010). *Resolucion 473 de 2010*. Obtenido de <http://ane.gov.co/cnabf/modulos/pdfs/resolucion473de2010.pdf>
- Ramesh, G., Prakash, B., Inder, B., & Apisak, I. (2001). *Microstrip Antenna design handbook*. Norwood, Massachusetts: Artech House.
- Ramirez, A. J. (2007). *Antenas, conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño*. Bogota (Colombia): Bonabuenturiana.
- Ramírez, M. T. (2013). *Antenas Microstrip con polarización circular para sistemas de posicionamiento por satélite y aplicaciones RFID*. Bellaterra (España), Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Telecomunicación e Ingeniería de Sistemas, Bellate: Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Telecomunicación e Ingeniería de Sistemas, Bellate.
- Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. (2011). Analizador de espectros portát. Munich, Germany.
- Wenbo Zeng, , J. (2011). Compact Microstrip RFID Tag Antenna Mountable on Metallic Objects. *Procedia Engineering*, 320–324.
- Wenbo Zeng, , J. (2011). Compact Microstrip RFID Tag Antenna Mountable on Metallic Objects. *Procedia Engineering*, 320–324.
- willtek communications. (2007). willtek communication. *9102/3 Handheld Spectrum Analyser*. Alemania.
- Zhu Yongxiang, C. J. (2013). The Design Study of the Wide Bandwidth and High Gain RFID Microstrip Patch Antenna. *IEEE Computer Society*, 1420-1422.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE A Cálculos matemáticos

Variables:

$$f_r = 900 \text{ MHz}, h = 10 \times 10^{-3}, \lambda_0 = 326.08 \times 10^{-3} \quad \epsilon_r = 4,38$$

Ancho:

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

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \cdot (900 \times 10^6)} \sqrt{\frac{2}{4,38+1}} = 101,62 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 10.1 \text{ cm}$$

Constante dieléctrica efectiva:

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}$$

$$\epsilon_{ref} = \frac{4,38 + 1}{2} + \frac{4,38 - 1}{2} \left[1 + 12 \left(\frac{11.6 \times 10^{-3}}{101,62 \times 10^{-3}} \right) \right]^{-1/2} = 3.79$$

Diferencial de Longitud:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0.300) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.813 \right)}$$

$$\frac{\Delta L}{11.6 \times 10^{-3}} = 0.412 \frac{(3.79 + 0.300) \left(\frac{101,62 \times 10^{-3}}{11.6 \times 10^{-3}} + 0.264 \right)}{(3.79 - 0.258) \left(\frac{101,62 \times 10^{-3}}{11.6 \times 10^{-3}} + 0.813 \right)}$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(4,09)(8,76 + 0.264)}{(4,05)(8,76 + 0.813)}$$

$$\frac{\Delta L}{11.6 \times 10^{-3}} = 0.412 \frac{(4,09)(9,24)}{(4,05)(9,57)} = 0.40$$

$$\Delta L = (0.40)(h) = (0.40)(11.6 \times 10^{-3}) = 4,66 \times 10^{-3}$$

Longitud Efectiva:

$$L_{ef} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} =$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$L_{ef} = \frac{3 \times 10^8}{2(900 \times 10^6)(\sqrt{3.79})} = 85,61 \times 10^{-3} \text{ M}$$

Longitud Física:

$$L = L_{ef} + 2\Delta L =$$

$$L = 85,61 \times 10^{-3} - 2(4,66 \times 10^{-3}) = 76,29 \times 10^{-3} \text{ M}$$

Frecuencia de resonancia:

$$f_r = \frac{c}{2L_{ef}\sqrt{\epsilon_{ref}}} =$$

$$f_r = \frac{3 \times 10^8}{2(85,61 \times 10^{-3})\sqrt{3,79}} = 900 \times 10^6 \text{ Hz}$$

Impedancia característica en el sustrato:

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ref}}} \rightarrow \frac{120\pi}{\sqrt{3,79}} = 193.65 \Omega$$

Longitud de onda en el sustrato:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{ref}}} \rightarrow \frac{326.08 \times 10^{-3}}{\sqrt{3,79}} = 0,167$$

Constante de fase:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0}\sqrt{3,79} = \frac{2\pi}{\lambda_g} = \frac{2\pi}{0,167} = 37,62$$

Campo lejano:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda_0} = \frac{2(13)^2}{326,08 \times 10^{-3}} = 0,104 \text{ m}$$

Distancia de medición:

$$R \geq 10 \lambda \geq 10 \times \frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6} \geq 3,33 \text{ m}$$

Coefficiente de Reflexión 1ª antena

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{50\Omega - 37\Omega - j3\Omega}{50\Omega + 37\Omega - j3\Omega}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\Gamma = \frac{\text{Pol}(13\Omega - j3\Omega)}{\text{Pol}(87\Omega - j3\Omega)} = \frac{13,34 [-13]}{87,05 [-1,97]} = 0,15[-14,97^\circ]$$

Razón de Onda estacionaria 1ª caracterización ROE₁

$$\text{ROE}_1 = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = \frac{1+0,15}{1-0,15} = 1,35$$

Coefficiente de Reflexión Modelo corregido

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{50\Omega - 75\Omega - j35\Omega}{50\Omega + 75\Omega - j35\Omega}$$

$$\Gamma = \frac{\text{Pol}(-25\Omega - j35\Omega)}{\text{Pol}(125\Omega - j35\Omega)} = \frac{43,11 [-125,54]}{129,81 [-15,64]} = 0,33[-109,9]$$

Razón de Onda estacionaria Modelo corregido

$$\text{ROE} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = \frac{1+0,33}{1-0,33} = 1,98$$

APÉNDICE B Curvas de simulación OpenEMS

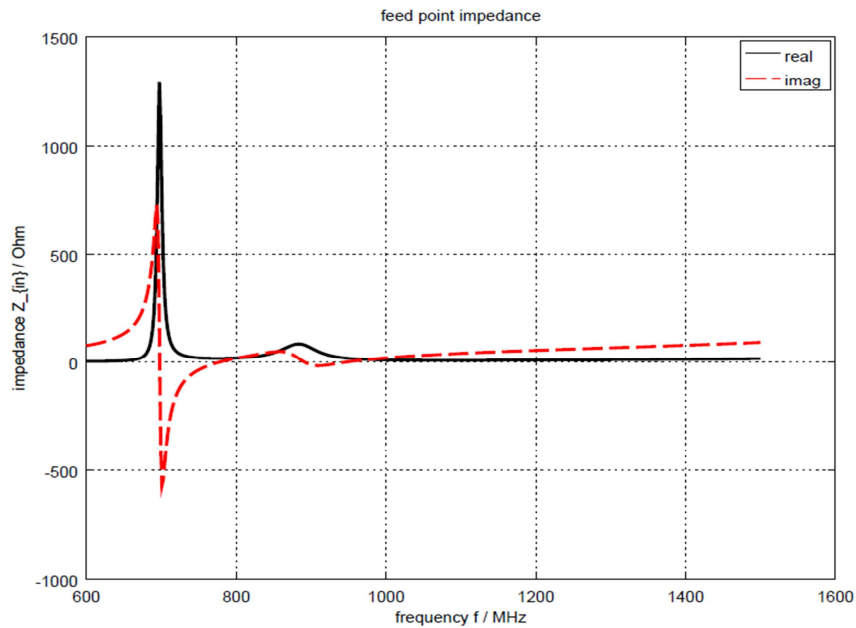


Figura 57 Impedancia en el punto de alimentación

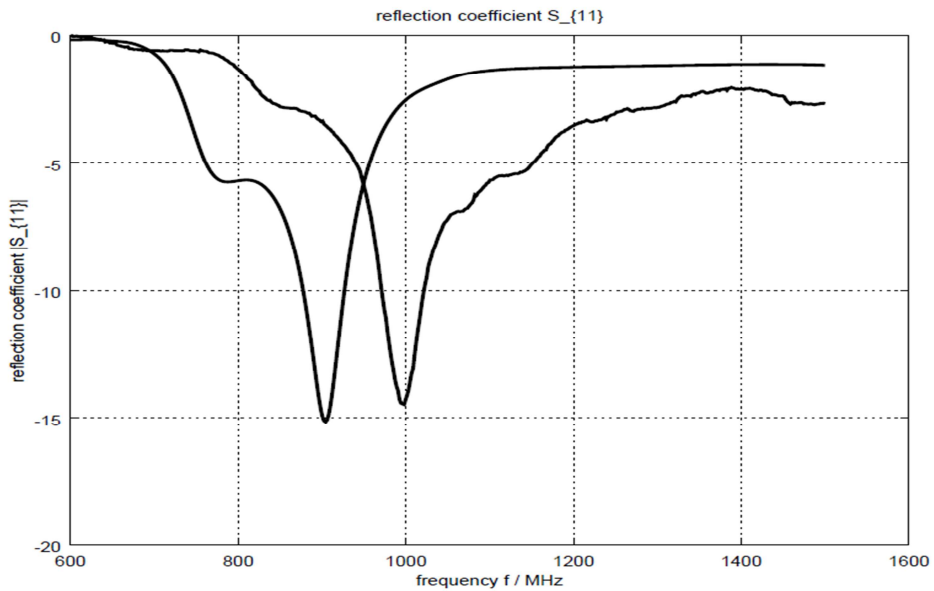


Figura 58 Comparación S_{11} inicial con simulación corregida

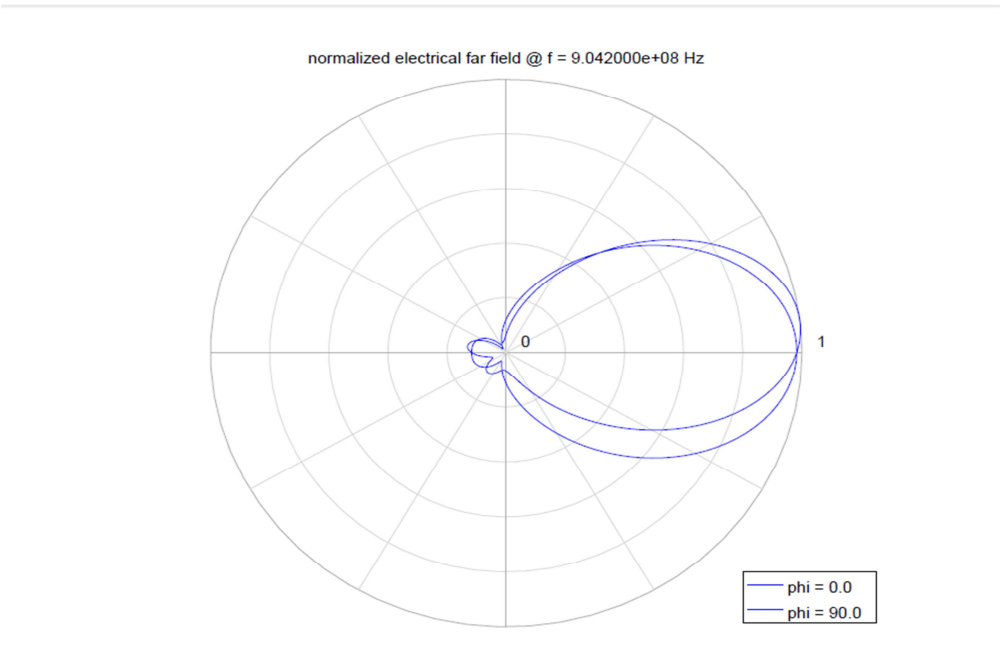


Figura 59 Patrón de radiación

electrical far field [dB] @ f = 9.042000e+08 Hz

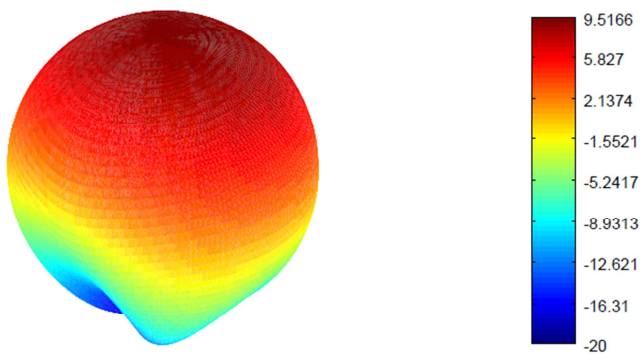


Figura 60 Campo eléctrico lejano

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES 

FIRMA ASESOR Sara Maria Lopez Z.

FECHA ENTREGA: 27-02-2015

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____