

Informe de proyecto de laboratorio:

Medición de semi-sólidos con sonda coaxial hasta 18 GHz

Medidas Electrónicas II



Profesor adjunto: Ing. Alejandro Henze

Ayudante: Ing. Guillermo Monasterios

Alumnos: Barrios Maximiliano - 149.512-4
Ebrecht Agustín - 155.418-2
Fritzler Pablo - 155.413-0
Tucci Federico - 149.827-7

CABA, Argentina, Octubre 2019

Índice

1. Introducción	1
2. Introducción del método	1
3. Construcción de la sonda	2
3.1. Construcción de la primer sonda	3
3.2. Construcción de la segunda sonda	3
4. Software, automatización y método detallado	4
4.1. Automatización con MatLab	4
4.2. Patrones utilizados	5
4.2.1. Agua destilada	6
4.2.2. Alcohol isopropílico	6
5. Corroboración con software y primera medición	7
6. Desarrollo matemático	8
7. Piezas 3D necesarias	8
8. Mediciones hechas	9
8.1. Comparación de pieles	9
9. Mejoras a futuro	10
10. Conclusiones	10
11. Bibliografía	11

1. Introducción

El estudio de las propiedades electromagnéticas de los materiales orgánicos es de amplio interés para diversas disciplinas de la salud y la biología. El tejido humano es un material heterogéneo que contiene agua, moléculas orgánicas disueltas, macromoléculas, iones y materia insoluble. Todos estos elementos están organizados en estructuras celulares y subcelulares formando unidades macroscópicas y tejidos duros y blandos. La presencia de iones juega un papel importante en la interacción con un campo eléctrico, proporcionando medios para la conducción iónica y efectos de polarización. La respuesta de toda materia a una onda electromagnética viene descrita por las ecuaciones de Maxwell. Según éstas, aquella depende de los parámetros intrínsecos de la materia: la permeabilidad μ , la permitividad ε y la conductividad σ . La mayor parte de la materia biológica tiene una permeabilidad magnética similar a la del vacío μ_0 , por lo que el análisis de su respuesta cuando se excita con frecuencias distintas se centra en la conductividad y en la permitividad relativa a la del vacío. Estos parámetros constitutivos de la materia proporcionan, por un lado, la capacidad para permitir el movimiento de portadores de carga y, por otro, una medida de su polarizabilidad. En este proyecto se replicaron resultados de mediciones de permitividad relativa para distintos tipos de materiales en un rango de hasta $10GHz$, utilizando un VNA (y su respectiva calibración), realizando la medición a un puerto (Parámetro S_{11}) a través de una sonda coaxial.

2. Introducción del método

El método en general consiste en apoyar superficialmente una sonda sobre un tejido, y en base a ciertos cálculos matemáticos poder decir la permitividad eléctrica que tiene, de manera no invasiva y sin procesos traumáticos, también de manera muy rápida.

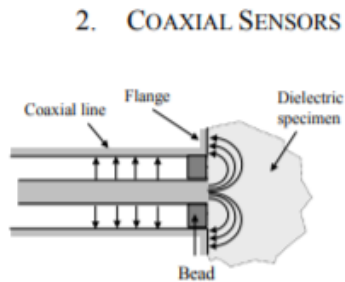


Figura 1: Principio de funcionamiento de una sonda coaxial.

Para lograr esto se tuvieron que tener que llevar a cabo determinados procesos:

- Construcción de una sonda
- Garantizar el buen funcionamiento de la sonda
- Creación de un método de calibración
- Conseguir datos sobre permitividades eléctricas de ciertos tejidos para poder corroborar las mediciones hechas.
- Creación de un software que nos permita automatizar el proceso con el VNA.
- Medición y comparación de distintos tipos de pieles.

3. Construcción de la sonda

El primer paso consistió en la selección y acondicionamiento de tres cables coaxiales semirígidos, para convertirlos en sondas de medición, los cuales fueron provistos por la cátedra y otros conseguidos en el mercado. El acondicionamiento consistió en el cortado, emprolijamiento de la misma y el agregado de una arandela conductora, la cual debía estar mecánicamente en el mismo plano que el perteneciente al corte transversal de la sonda.



Figura 2: Sonda antes y después del proceso.

Ésta arandela debe captar las ondas electromagnéticas que se formen en la terminación de la sonda y para verificar su correcto funcionamiento, se realizaron mediciones de corto circuito y circuito abierto, analizando con el VNA para todas las frecuencias de interés, que el módulo se mantenga constante con valor 1 y la fase sea la correspondiente al CC o CA.

3.1. Construcción de la primer sonda

La primer sonda se construyó en base al soldado de la arandela a la sonda, el diagrama de Smith debería mostrar a circuito abierto un módulo de 1 para todas las frecuencias de interés, pero revelaron que no se cumplía:

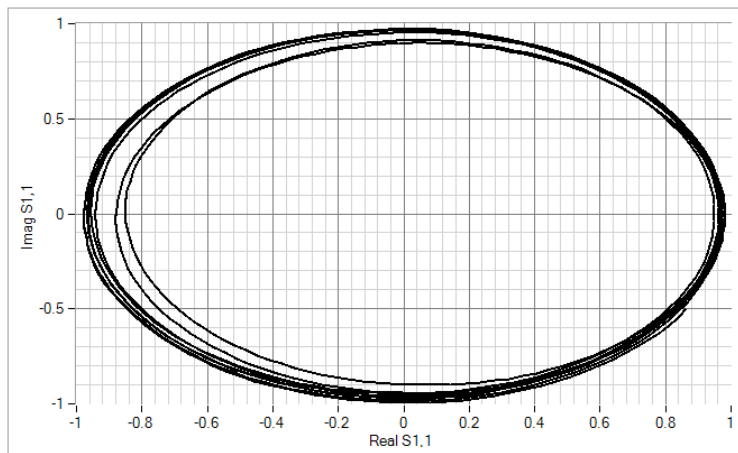


Figura 3: Diagrama de Smith de VNA tools de la primer sonda.

3.2. Construcción de la segunda sonda

La segunda sonda se construyó en base al añadido de la arandela a presión con ayuda de pegamento. Las pruebas con el diagrama de Smith del VNA mostraron que fue mejor este método:



Figura 4: Diagrama de Smith de VNA tools de nuestra segunda sonda.

4. Software, automatización y método detallado

4.1. Automatización con MatLab

El segundo paso consistió en la automatización del VNA y el desarrollo de un software en MATLAB que permitiera adquirir las muestras de manera repetitiva y ordenada, así como también podríamos manejar el VNA con una interfaz gráfica, realizar la graficación de las señales, almacenamiento de datos, etc.

El primer paso en este proceso fue la creación de los drivers, que constaron en una función de inicialización, una función de desconexión y cierre, una función para hacer una medición y obtener los datos de la medición. La bibliografía más útil para crear los drivers que comunican a MatLab con el VNA fue el mismo manual de Keysight.

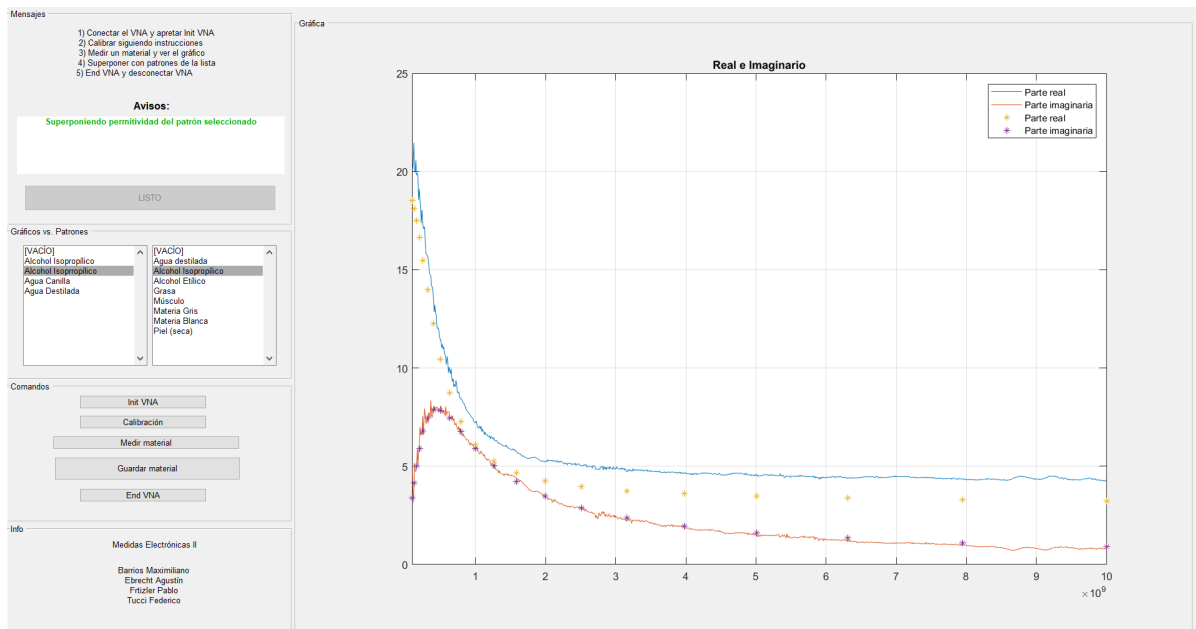


Figura 5: Programa creado para nuestro propósito.

En términos generales, el software desarrollado guía al usuario en la calibración del equipo, informando los materiales que debe ir colocando para la misma. Posteriormente se puede comenzar con la caracterización de cualquier material/tejido que se encuentre en contacto superficial con la sonda coaxial.

Deben tenerse en cuenta algunas consideraciones :

- La sonda puede oxidarse en caso de estar en contacto con materiales húmedos, es recomendable realizar una limpieza de la misma luego de cada medición y preferentemente con el mismo líquido que se quiera medir posteriormente.
- El contacto con la sonda debe ser superficial pero con cierta presión, para evitar que las líneas de campo se escapen de la arandela conductora y sean captadas para una correcta medición de la onda reflejada.
- Los barridos realizados por el VNA disponible en UTN FRBA al día de la fecha, nos permitieron realizar las mediciones desde los 100 MHz hasta los 10 GHz, sin embargo la sonda podría utilizarse en principio, hasta los 40 GHz.
- Es importante considerar la profundidad de penetración en el caso de líquidos, ya que la onda incidente y reflejadas pueden verse afectadas por el rebote de un contenedor plástico/metálico que puedan modificar el parámetro S medido.
- Las ondas son no ionizantes por lo cual no supone bajo ningún punto de vista un inconveniente para la interacción con tejidos in vivo.

También es importante destacar que el software cuenta con una base de datos, en la cual se almacenan curvas patrones (IFAC), las cuales pueden verse en simultáneo con las mediciones que se estén tomando para realizar comparaciones entre ambas. La precisión de la medición no se ve afectada frente a la reducción de la cantidad de puntos tomados (en el eje frecuencial) por lo que no es necesario despreciar la conductividad para disminuir el tiempo de procesamiento de las muestras, llegando incluso a realizar las mediciones en 30 seg. obteniendo posteriormente el gráfico en pantalla en otros 30 seg. También pueden exportarse las mediciones tomadas en formato slp, un estándar en archivos de medición de parámetros S para luego realizar un análisis e interpretación de los datos en cualquier software que se desee (además de VNA Tools). Es posible también con algunos ajustes exportarlo a otros formatos, aunque no esté contemplado en el que aquí se detalla.

4.2. Patrones utilizados

Una vez que fue posible comunicarse con el VNA, chequeando el correcto funcionamiento del mismo, se debió definir una calibración para luego comenzar con las mediciones. La calibración consiste en un método similar a OSM, con la diferencia de que en el caso de estudio no contábamos con el patrón de match (impedancia adaptada), por lo que se utilizaron como patrones : cortocircuito, circuito abierto, alcohol etílico y agua destilada. Se optaron por estos 4 patrones ya que los primeros dos forman parte de un estándar, mientras que los otros 2 elementos, son conocidos por diversos estudios en frecuencias de microondas y sus permitividades eléctricas se encuentran caracterizadas en diferentes curvas.



Figura 6: Frascos en los que se inserta la sonda durante la calibración.

4.2.1. Agua destilada

A partir de diversas publicaciones conocimos que la permitividad eléctrica del agua destilada varía según la temperatura y la frecuencia de la onda incidente. Los valores que utilizamos corresponden a la curva de 20°C

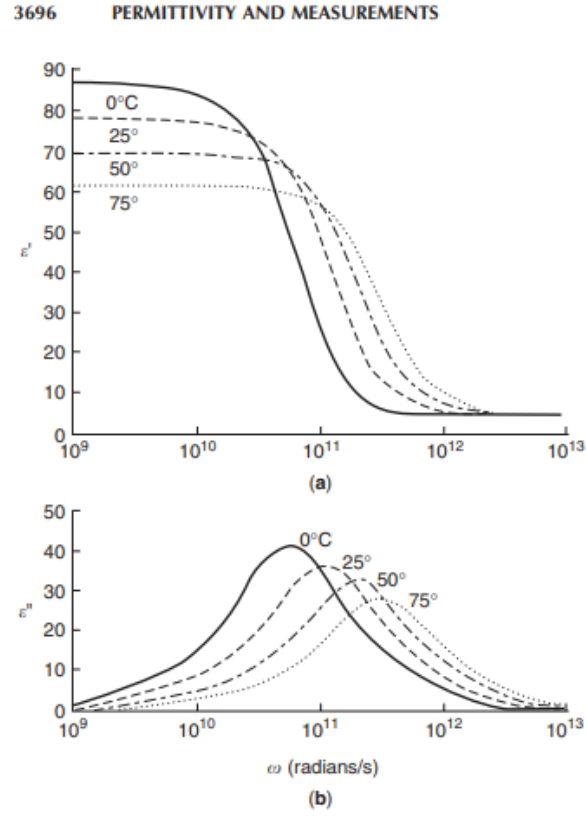


Figure 5. Effect of temperature on dielectric constant (ϵ') and loss factor (ϵ'') of free water ($\omega = 2\pi f$, where f is frequency in Hz) [22].

Figura 7: Permitividad del agua destilada.

4.2.2. Alcohol isopropílico

En el caso del alcohol isopropílico encontramos la curva para 25°C .

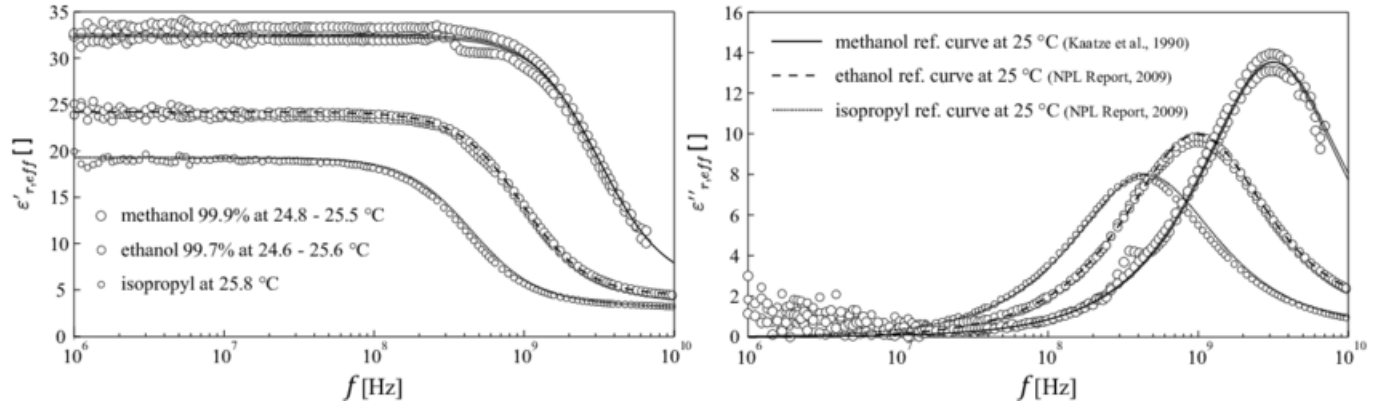


Figura 8: Permitividad de alcoholes.

5. Corroboración con software y primera medición

Al llegar a este punto fue fundamental comparar una medición de algo conocido junto con su curva teórica, para esto elegimos medir alcohol isopropílico, dado que era el último patrón utilizado, y para medir no hacía falta retirar la sonda de su última medición.

Los resultados fueron muy satisfactorios:

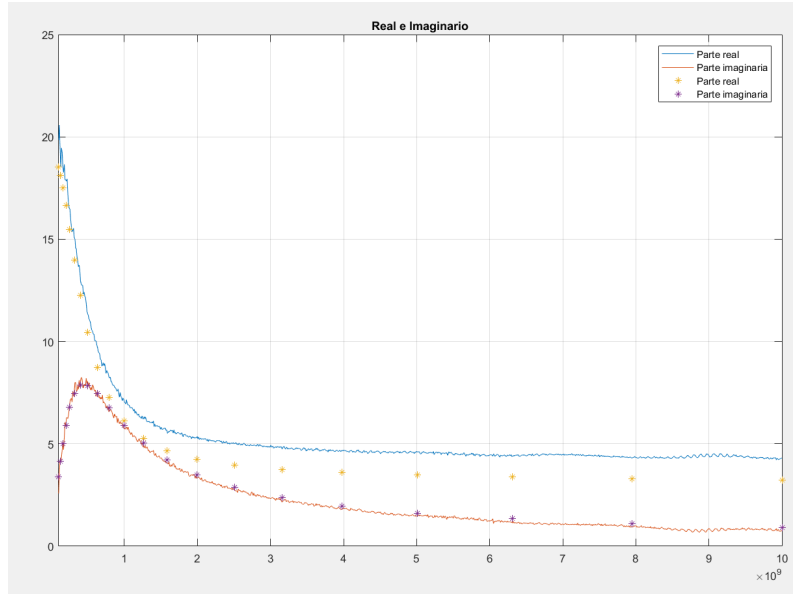


Figura 9: Alcohol isopropílico medido y comparado con la curva teórica.

Como se ve en la figura anterior, la curva teórica se muestra en amarillo y violeta y con el símbolo *. La curva medida se muestra en rojo y azul, la azul comparado con la teórica tiene un error muy bajo y la roja prácticamente es una copia de la teórica.

El siguiente paso fue medir algo conocido, conociendo la curva teórica del tejido muscular elegimos medir carne vacuna con resultados también muy satisfactorios:

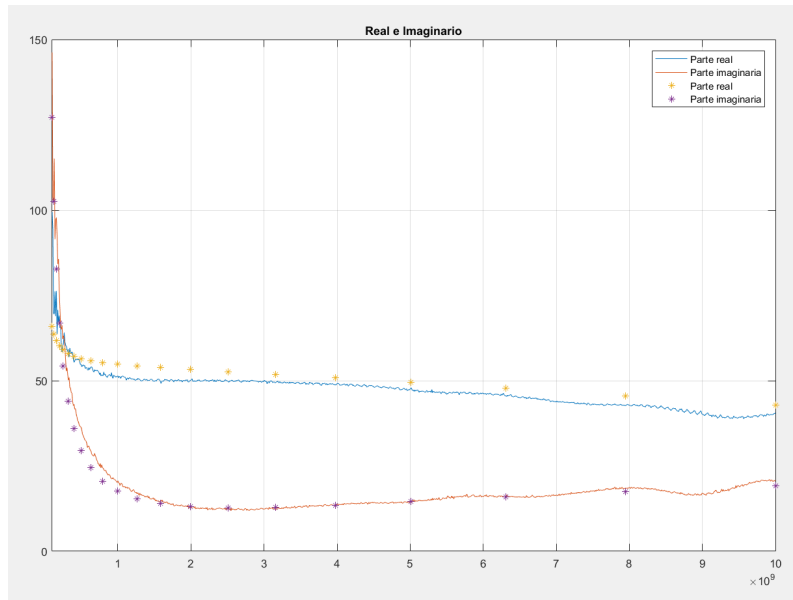


Figura 10: Comparación de carne vacuna con tejido muscular.

6. Desarrollo matemático

Para llegar a la obtención de estas curvas, fue necesario comprender el cálculo de la permitividad eléctrica de un material, el cual se compone por una parte real e imaginaria y cuyos valores se pueden obtener a partir de la fórmula de Debye. La misma consigue caracterizar el ϵ_r a partir de la conductancia y la capacidad de la sonda y el material medido, las cuales se estiman a partir de la conversión de parámetros S a parámetros admitancia, haciendo uso de un modelo de parámetros concentrados de antena.

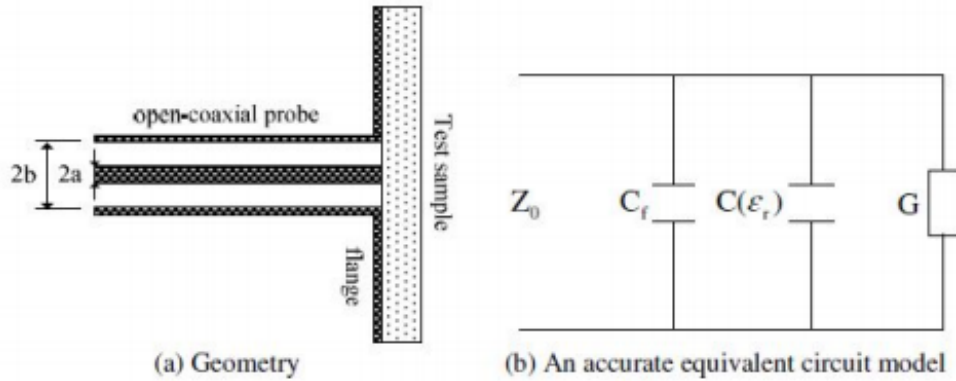


Figura 11: Sonda coaxial y modelo de la misma con un tejido.

El proceso matemático está descrito en el informe “Medición de permitividad eléctricas en líquidos con parámetros S, Ing. Ariel Das, Ing. Deborah Higa, Ing. Luciano Cismondi, Pablo Grass, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Electrónica, 2015”

7. Piezas 3D necesarias

Se creó un soporte para facilitar la inmovilidad de los cables del VNA y garantizar una mayor calidad de mediciones:



Figura 12: Sonda coaxial en su soporte.

8. Mediciones hechas

8.1. Comparación de pieles

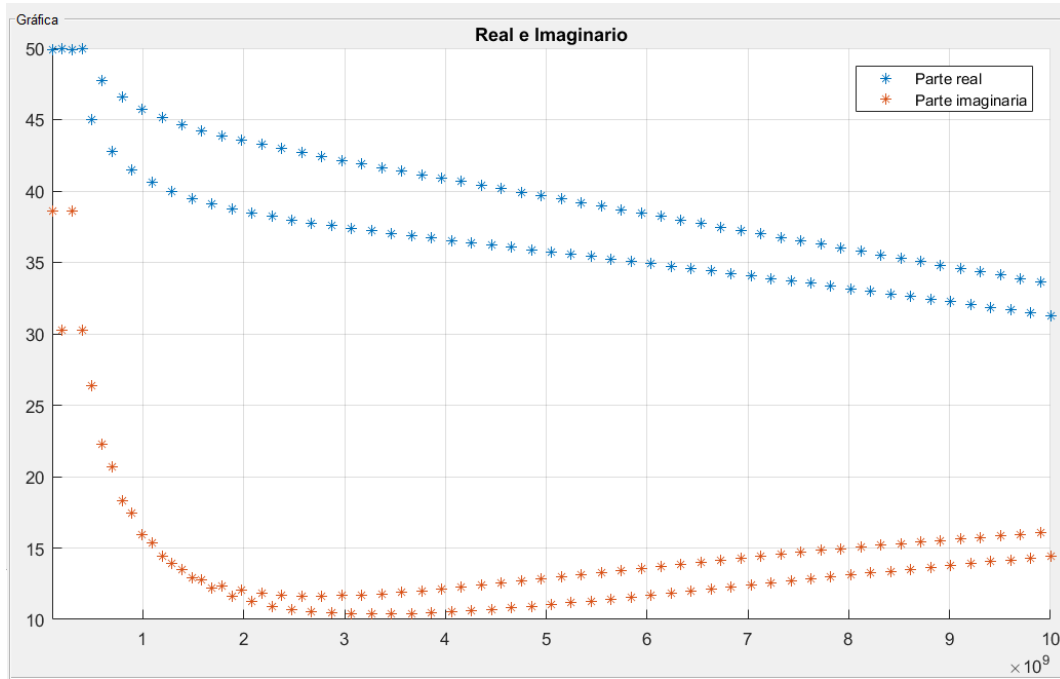


Figura 13: Diferencia entre las medias de pieles secas y húmedas.

Estos valores fueron obtenidos de la página italiana <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.php>. Los valores que obtuvimos de brazos de varias personas son diferentes a estas curvas teóricas:

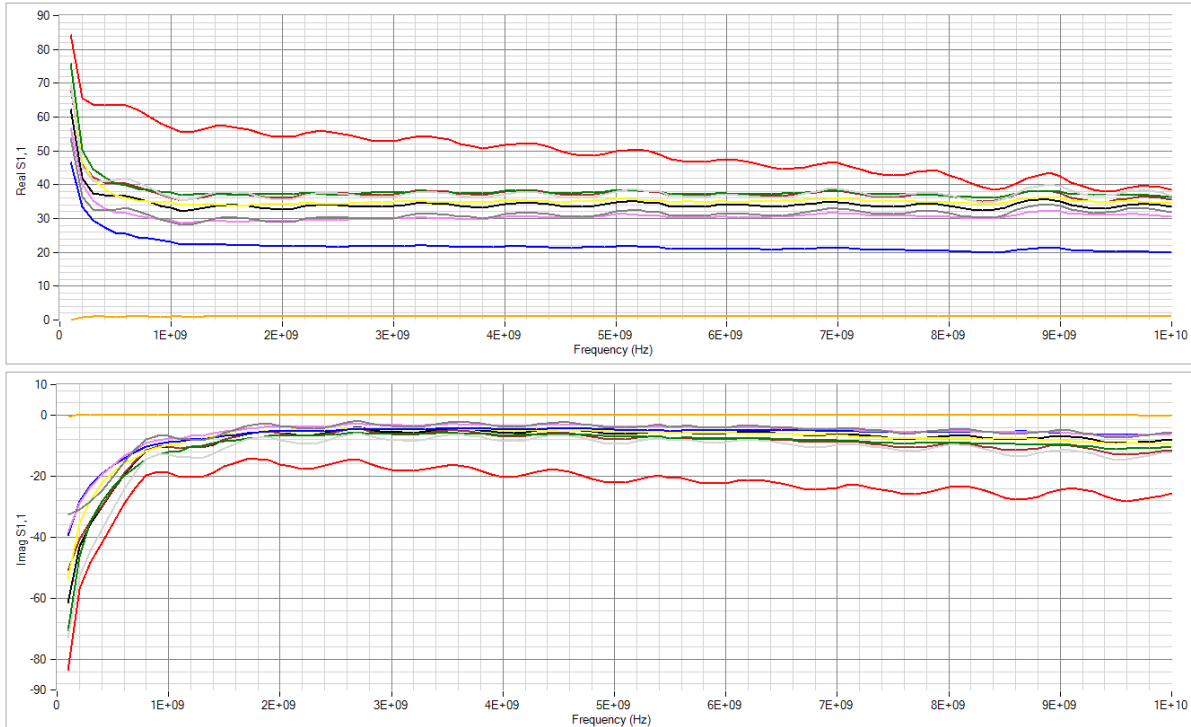


Figura 14: Superposición de 11 mediciones diferentes de brazos.

Es importante tener en cuenta que en la “Figura 13” la parte imaginaria se muestra como positiva para facilitar la visualización en el mismo gráfico que la parte real. En cambio en la “Figura 14” no está este cambio de signo.

Se aprecia que en las curvas teóricas existe una pendiente, negativa en el caso de la parte real, y positiva para la parte imaginaria. En el caso de las mediciones hechas, en promedio, no hay ningún tipo de pendiente en la parte real, y no tan pronunciada en la parte imaginaria.

9. Mejoras a futuro

Como posibles mejoras estamos seguros que el ambiente de medición tiene un gran impacto sobre la calidad de la calibración, y por ende, en la calidad de la medición que se toma. Las mediciones de piel observadas anteriormente fueron tomadas en una exposición de “Feria de proyectos”, con ubicación en la sede Campus, con lo cual la calibración que se hizo en el lugar influyó mucho en las mediciones tomadas. Concluimos de esto que es fundamental estar en un ambiente controlado y libre de perturbaciones tanto mecánicas como climáticas al momento de calibrar y tomar mediciones.

Creemos también que hace falta el desarrollo de un método sistemático de medición de las pieles, dado que si bien medimos antebrazos, el lugar específico siempre varió desde la flexura del codo hasta casi la muñeca, en la parte anterior tanto como posterior del antebrazo. No conocemos con precisión cómo fueron hechas las mediciones que tomamos como “valores teóricos” y entendemos que la humedad de la piel, así como otros factores que también aportan a la permitividad, varían según la zona.

10. Conclusiones

Se pudieron obtener mediciones cuya repetibilidad y repetitividad eran representativas tanto para la materia como para un proyecto de investigación. El aprendizaje logrado gracias al proyecto fue motivado también en parte por la potencialidad de que a futuro, el mismo pueda detectar anomalías como tumores en tejidos de manera no invasiva. Los conocimientos adquiridos se debieron tanto a la parte teórica pero más aún por poner en práctica los conceptos vistos a lo largo de la materia. Esperamos de esta forma, dejar una base para nuevos proyectos o incluso la continuación/extensión del mismo.

11. Bibliografía

- [1] AN 5989-2589EN *Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials*, Keysight Technologies, application note.
- [2] 5991-2171EN *Measuring Dielectric Properties Using Keysight's Materials Measurement Solutions*, Keysight Technologies, application note.
- [3] *Evaluation of a Reflection Method on an Open-Ended Coaxial Line and its Use in Dielectric Measurements*, Prof. Ing. Jan Vrba, CSc., Doc. Ing. Karel Novotný, CSc, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, Technická 2, 2006.
- [4] *Medición de permitividad eléctrica en líquidos con parámetros S*, Ing. Ariel Das, Ing. Deborah Higa, Ing. Luciano Cismondi, Pablo Grass, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Electrónica, 2015.
- [5] <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.php>, Institute for Applied Physics "Nello Carrara", Florence, Italy, 2012.
- [6] *Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz*, A.P. Gregory, R.N. Clarke, 2012.
- [7] *Programación en Matlab del algoritmo de calibración del modelo capacitivo para sondas coaxiales* María García Duarte, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Cartagena 2017.
- [8] *Permittivity and measurements*, V. Komarov, S. Wang, J. Tang, Washington State University, 2005.
- [9] *Permittivity measurements using coaxial probes, A Degree Thesis Submitted to the Faculty of the Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya by Bartomeu Oliver Riera*, B. Riera, May 2016.
- [10] *Artificial Human Phantoms: Human proxy in testing microwave apparatus that have electromagnetic interaction with the human body*, A. T. Mobashsher, A. M. Abbosh, School of ITEE, The University of Queensland St. Lucia, Brisbane QLD 4072, Australia, 2015.
- [11] NIST Technical Note 1554, *Characterization of Tissue-Equivalent Materials for High-Frequency Applications (200 MHz to 20 GHz)*, Jannes Baker-Jarvis, Sung Kim, Luke E. Schallinger, Justin Johnson, Brad Givot, 2010.