

# Medidas Electrónicas II

## Informe Final

Diseño, simulación y construcción de antena en banda X



Docentes:

Ing. Alejandro M. Henze  
Ing. Juan Manuel Geria  
Ing. Patricio A. Greco

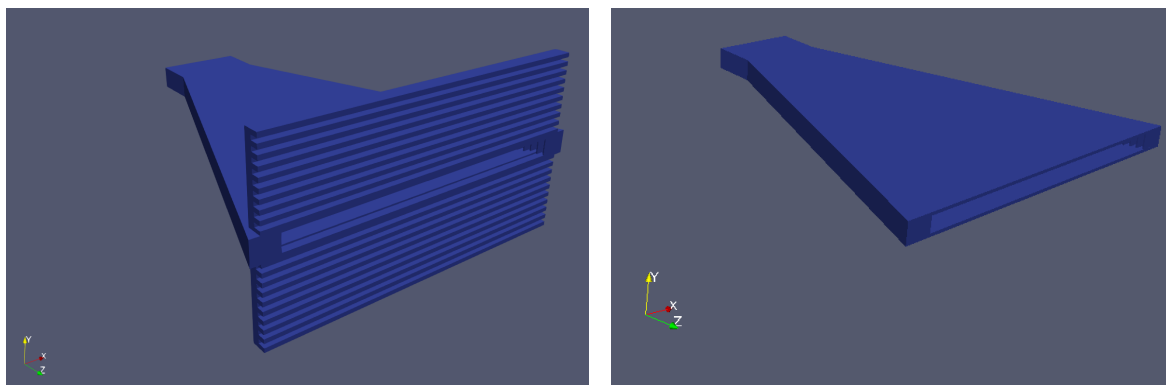
Estudiante:

Monteiro, Tiago

## Primeras estructuras horn en OpenEMS

En OpenEMS [1] las estructuras son definidas por vectores o listas de valores que representan las secciones transversales de los volúmenes que luego deben ser extruidas para generar los objetos en un espacio tridimensional. Esto produce cierta dificultad al empezar a diseñar un volumen si no se lo desarrolla dando pequeños pasos. Por este motivo se decidió empezar con estas primeras estructuras de antenas tipo Horn que, si bien no eran lo pedido por la cátedra, nos permitieron entender la mecánica del modelado en OpenEMS. Dicho de otra forma, el objetivo en esta etapa era aprender a desarrollar y definir estructuras con las funciones de OpenEMS.

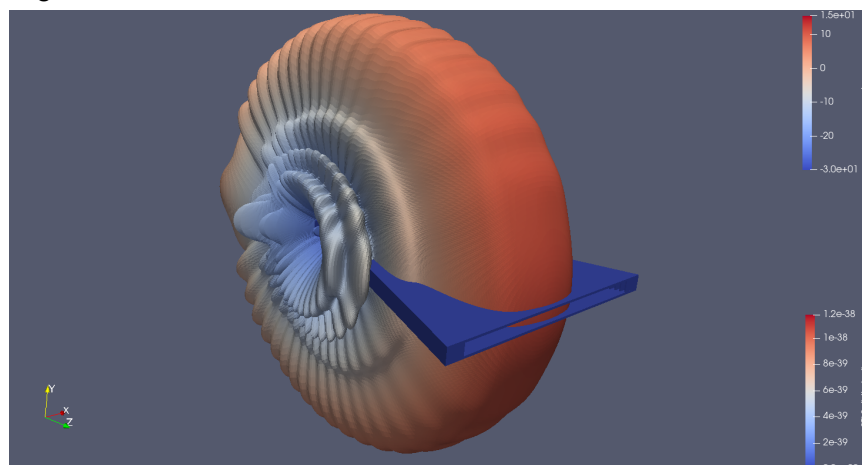
Se intentó replicar la antena estudiada en [2] que servía como punto de partida.



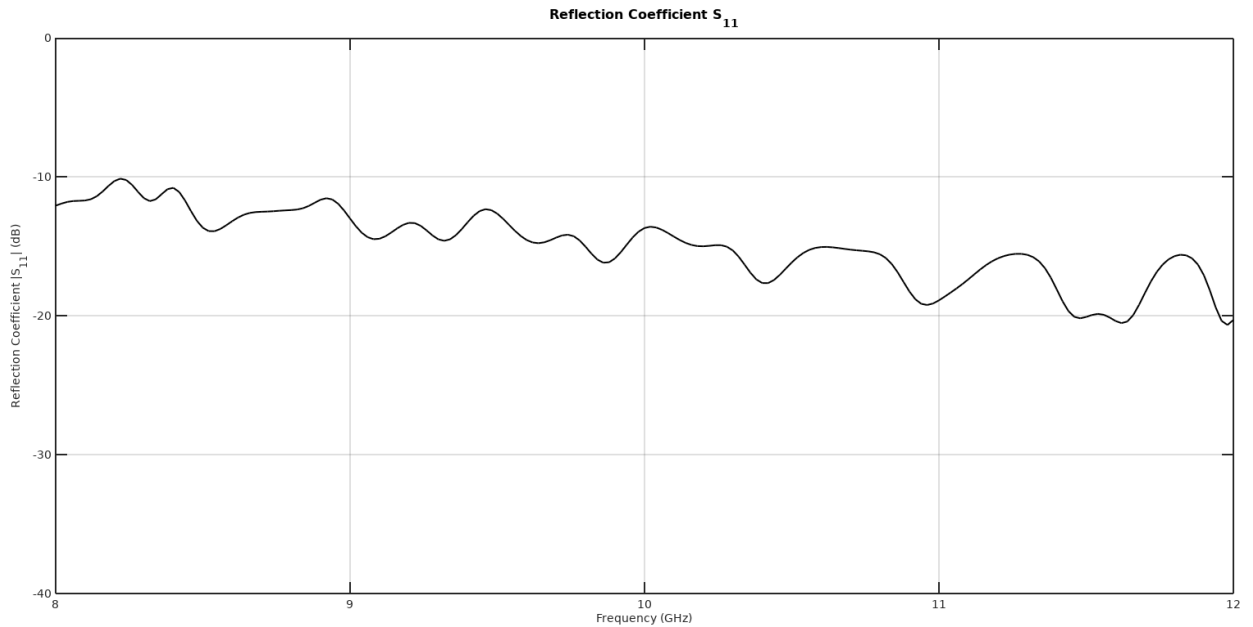
Se trata de dos antenas Horn corrugadas solo en las paredes paralelas al campo eléctrico que se propaga (teniendo en cuenta un modo de propagación TE<sub>10</sub>).

## Simulaciones

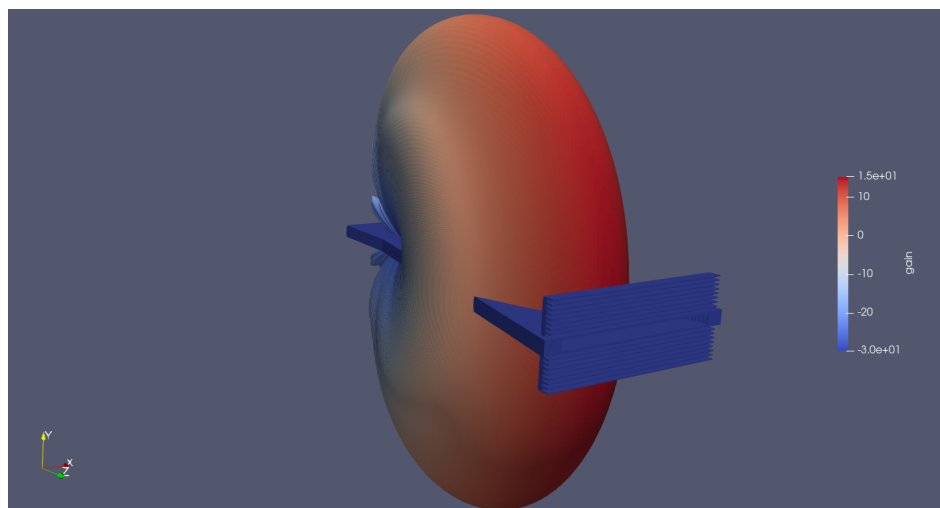
Partiendo de las estructuras antes mostradas, se realizaron las simulaciones de las mismas. Para el caso de la antena sin barreras, se puede ver una gran parte de la radiación hacia atrás. Es justamente por esto que en el trabajo de investigación [2] agregan las barreras que se ven en la segunda antena.



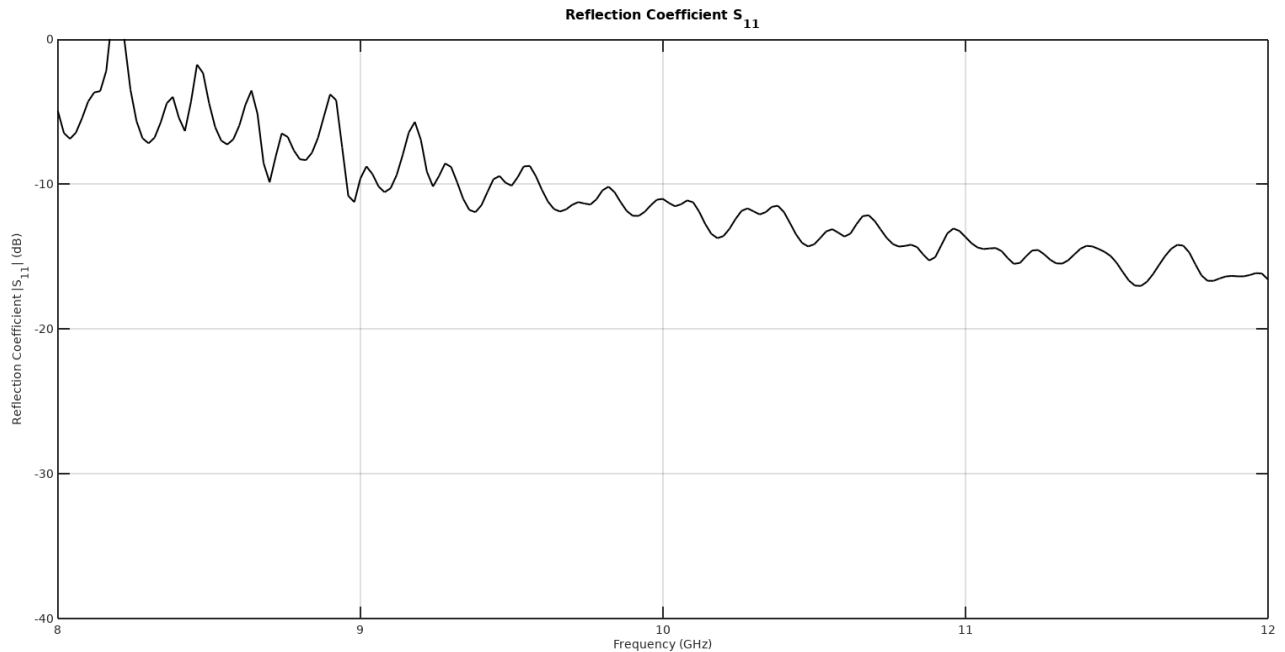
El  $S_{11}$  correspondiente a la antena sin barreras es el siguiente:



El siguiente paso fue intentar simular la antena con las barreras para entender cómo esto mejoraba el diagrama de radiación. Se agregaron las barreras en la abertura de la antenna, haciendo contacto con la misma y manteniendo la distancia de las solapas entre ellas y, para el caso de la primera solapa, entre ella y la boca de la antenna.



El  $S_{11}$  correspondiente a la antena con barreras es el siguiente:



A pesar de que en el paper citado anteriormente no se encontraban las medidas de la antena, se pudo llegar a un resultado similar en los diagramas de radiación. Esto daba la pauta de que las simulaciones no estaban tan lejos de lo que se obtenía con otros simuladores que no tienen licencia libre. Nuevamente, sirvió como un punto de arranque, los siguientes pasos serían los que permitirían desarrollar la antena requerida por la cátedra.

Vale la pena mencionar que para una mejor simulación y para no tener que estar corrigiendo el código cada vez que se cambia un parámetro, cada simulación en el proyecto está totalmente parametrizada. Es decir, basta solo con cambiar el valor de la variable que se desea estudiar para que la estructura se vuelva a generar completamente de acuerdo a las medidas especificadas.

Por otra parte, también hay que mencionar que gran parte de este arranque fue gracias a los ejemplos que se consiguieron en internet. Principalmente se trata de un post encontrado en el blog de antenas “Antenna Designer’s Notebook” [3] que también se encuentra en el link con referencia [4] que se basa en el estudio de [5]. El otro ejemplo que fue de ayuda fue el que deriva del video con referencia [6]. Todos estos ejemplos tratan sobre antenas cilíndricas a diferencia de lo que la cátedra nos solicita, que las antenas diseñadas por nosotros sean rectangulares.

## Programa de simulación

Luego de los resultados relativamente satisfactorios obtenidos en las simulaciones anteriores, se comenzó a desarrollar un programa en Octave [7] que haciendo uso de OpenEMS pudiera generar las estructuras de antenas Horn. Por la característica que debía tener la antena a presentar, se debió también contar con la capacidad de que las antenas sean corrugadas. Por otro lado, para mejorar la forma de simular y optimizar tiempos, fue recomendación de la cátedra que el programa cuente con la capacidad de barrer valores de parámetros a elección del usuario en forma automática. Es así que se llegó al programa publicado en [8].

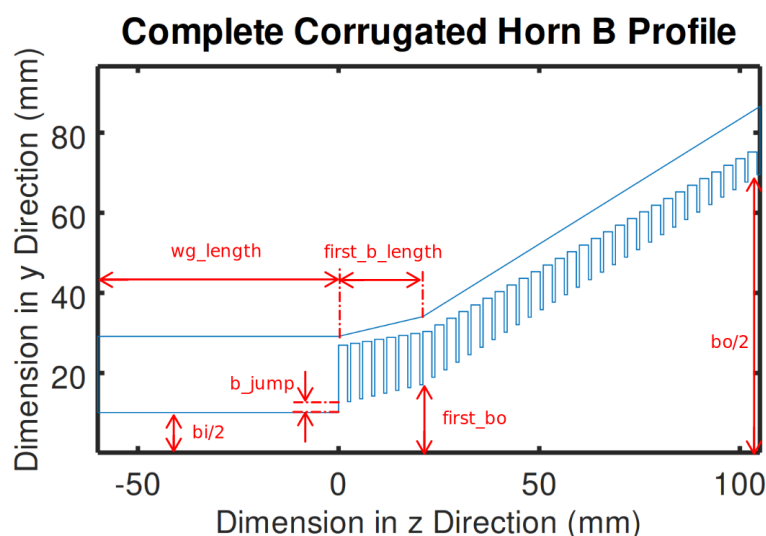
## Modo de uso

Como se mencionó anteriormente, el programa se desarrolló en Octave que tiene un lenguaje con sintaxis similar a la de MATLAB. El script principal es "MagicScript.m" el cual define todas las variables que conforman la antena y el adaptador de coaxial a guía de onda.

El programa tiene la capacidad de simular:

1. **Antenas Horn con perfil lineal**, con o sin corrugaciones en paredes perpendiculares o paralelas de la apertura.
2. **Antenas Horn con perfil exponencial**, con o sin corrugaciones en paredes perpendiculares o paralelas de la apertura.
3. **Antenas Horn con perfil tangencial**, con o sin corrugaciones en paredes perpendiculares o paralelas de la apertura.
4. **Antenas Horn con perfil lineal en dos etapas**, con o sin corrugaciones en paredes perpendiculares o paralelas de la apertura.
5. **Adaptador coaxial a guía de onda.**

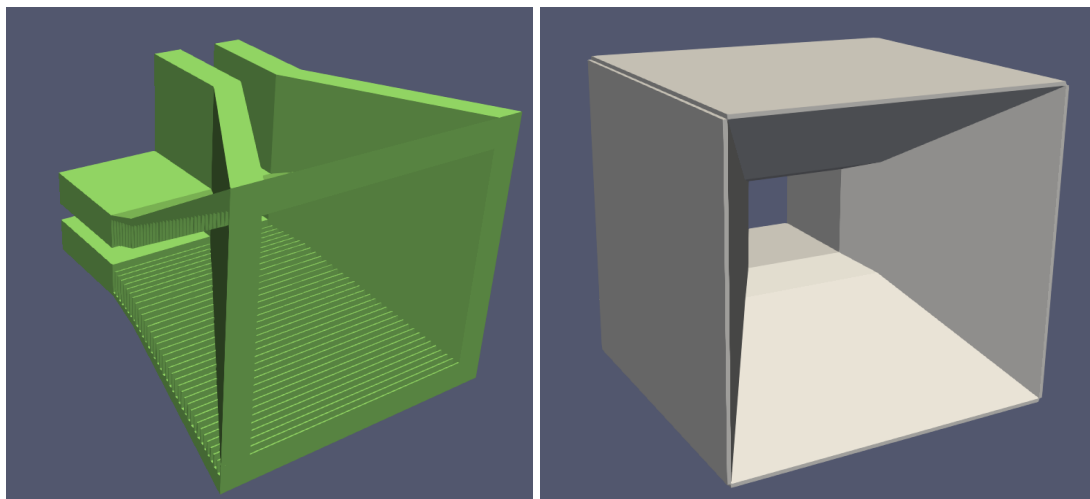
Algunas de las variables que se pueden definir para la antena Horn de perfil lineal en dos etapas son las que se muestran en la figura:



En este perfil se muestra el lado “B” de la antena (paredes perpendiculares al campo eléctrico teniendo en cuenta un modo de transmisión TE<sub>10</sub>). Estas mismas dimensiones se repiten para el perfil correspondiente al lado “A”, cambiando las letras “b” por “a”.

En el caso de un perfil exponencial o tangencial se usan los mismos parámetros de la guía de onda y apertura que los de la figura anterior con el agregado de algunos parámetros correspondientes a la ecuación para calcular cada perfil.

La profundidad de las corrugaciones también puede ser configurada con la variable “horn\_depth\_a” (o “horn\_depth\_b” según corresponda). En el caso que se configure en cero el programa variará la profundidad desde  $\frac{\lambda_c}{2}$  hasta  $\frac{\lambda_c}{4}$  siendo  $\lambda_c$  la longitud de onda de la variable “fcalc” (frecuencia a la cual se calcularán los diagramas de radiación y coeficiente de reflexión). En caso de querer diseñar una antena horn sin corrugaciones se deben configurar “HORN\_USE\_CORRUGATIONS\_A” y “HORN\_USE\_CORRUGATIONS\_B” en OFF.

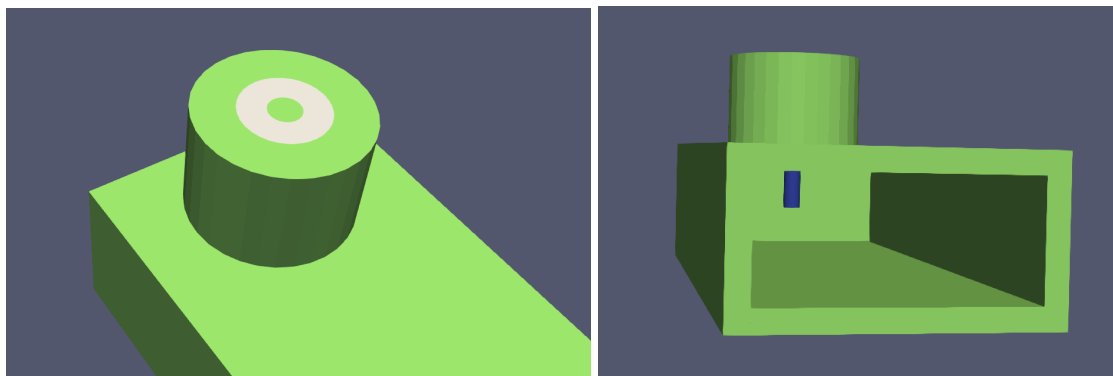


La lógica de las corrugaciones en las paredes de la antena se repite para cada tipo de perfil.

En las imágenes de arriba se puede observar una estructura en color beige que determina los límites exteriores de la antena. Es una estructura que se genera de forma automática por el programa y que tiene por objetivo extraer los sobrantes de la antena con un volumen de aire de mayor prioridad.

Para el caso del adaptador coaxial a guía de onda, la situación es similar. Los parámetros se configuran en la segunda parte de “MagicScript.m”.

Se puede configurar el tamaño de la guía de onda así como también la distancia desde el fondo de la misma al elemento radiante, la altura del elemento radiante, su diámetro y la intrusión del teflón a la guía de onda.



En este caso, el conector tiene un interior de aire que al llegar a la pared de la guía de onda se convierte en teflón. En el modelo real este aro de teflón es quien sostiene al elemento radiante.

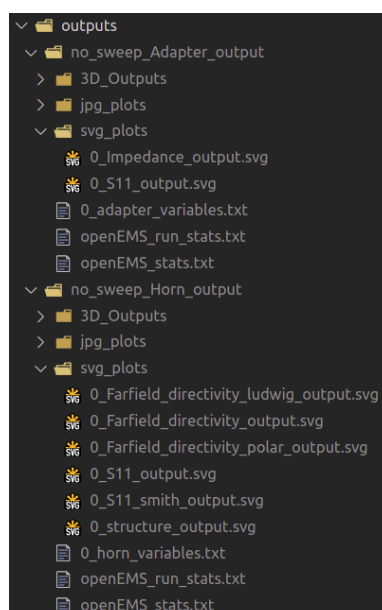
Una vez definidas las variables, llama a “simulation\_core.m” y es éste quien se encarga de comenzar las simulaciones.

En el caso de querer hacer un barrido de algún parámetro sólo se debe definir el mismo como un vector con principio, fin e incremento, es decir:

**PARÁMETRO = PRINCIPIO : INCREMENTO : FIN ;**

## Obtención de resultados

Los resultados se almacenan en la carpeta que por default se llama “outputs”. Dentro de ella se encuentran las imágenes, archivos 3D imprimibles y texto correspondiente a cada simulación del barrido.



Las imágenes se almacenan en .jpg para una rápida inspección y en .svg para una mayor resolución. Los archivos 3D de los volúmenes que determinan la antena se guardan en .stl mientras que el diagrama de radiación en 3D se almacena en .vtk (se recomienda abrir los mismos con Paraview).

La imagen de arriba muestra todos los archivos que se obtienen al terminar la simulación que viene por defecto en el script. El usuario debe asegurarse de que la simulación haya terminado correctamente, convergiendo al valor establecido, mirando los archivos .txt.

## Modificaciones a funciones de OpenEMS

Para realizar el correcto barrido de parámetros y que este fuera totalmente automático, hubo que editar algunos archivos de OpenEMS. En particular se editaron “CSXGeomPlot.m”, “plotFFcocx.m”, “plotFFdB.m”, “plotRefl.m” y “PolarFF.m” los cuales se encuentran agregados en la carpeta “src/” del proyecto [8].

CSXGeomPlot.m es el que se encarga de llamar a CSXCad: programa que produce la primera visualización 3D y que genera los archivos .stl. A este archivo hubo que cambiarle la forma de llamar a la aplicación ya que lo hacía en el hilo de ejecución de la simulación y esto bloqueaba el proceso hasta que el usuario cerrara CSXCad. Ahora el programa se ejecuta en un thread paralelo.

Por otro lado, a plotFFcocx.m hubo que hacerle cambios mínimos para que se pudieran guardar en archivos .svg los gráficos que él producía, lo mismo ocurrió con plotFFdB.m, plotRefl.m.

Con PolarFF.m hubo que modificar la forma de imprimir la salida para que pueda ser correctamente guardada con una escala aceptable.

El programa utilizará primero los archivos que se encuentran en “src/” y no los de la instalación de OpenEMS local. Esto quiere decir que no hace falta editar ningún archivo de OpenEMS, cosa que dañaría la instalación.

Para poder ejecutar el programa, OpenEMS debe estar instalados en “~/opt/openEMS” (como es recomendado por la página de OpenEMS por defecto).

## Bibliografía consultada

Gracias a la recomendación de la cátedra se leyó el libro [9] particularmente en su capítulo “Guía de onda metálica con reentrante”. Allí se puede entender que, para disminuir la velocidad de propagación del campo en la superficie interior de la antena, el período de las solapas tiene que ser aproximadamente  $0.1 * \lambda_c$ . Siendo  $\lambda_c$  la longitud de onda de la señal en espacio libre.

También se consultó [10] que coincidía en los conceptos con lo mencionado anteriormente. Si bien los temas se tratan en la bibliografía, no tienen un tratamiento en profundidad para lo que se necesitó en el proyecto. Por ejemplo, en [9] se trata el tema para una guía de onda con caras paralelas.

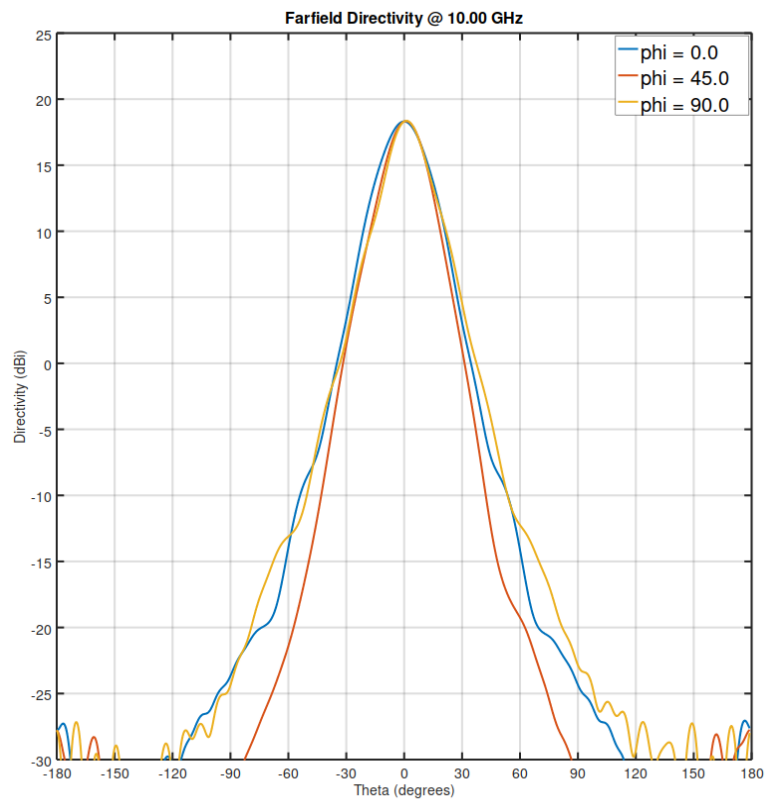


## Resultados

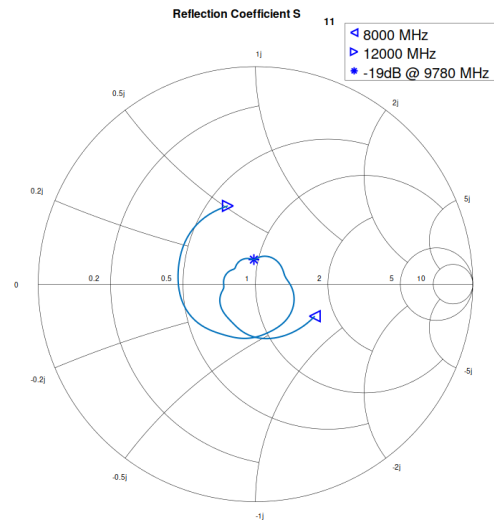
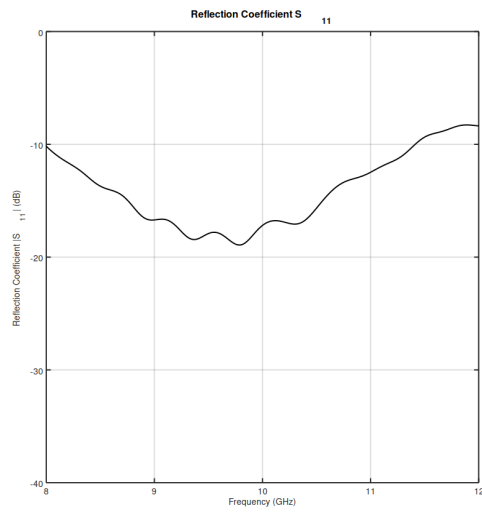
Los resultados que se obtienen por defecto con el programa se muestran a continuación:

### Antena Horn

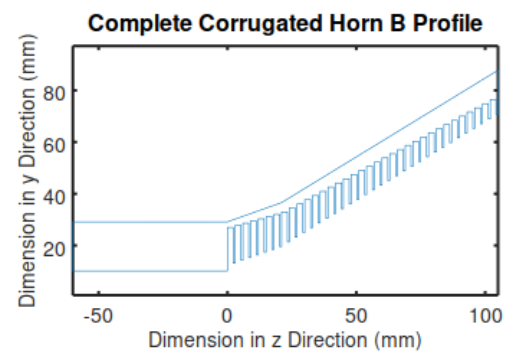
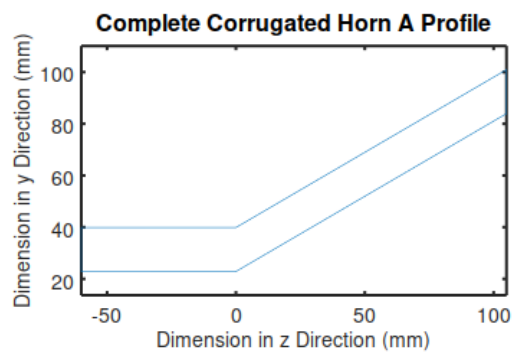
Diagrama de radiación:



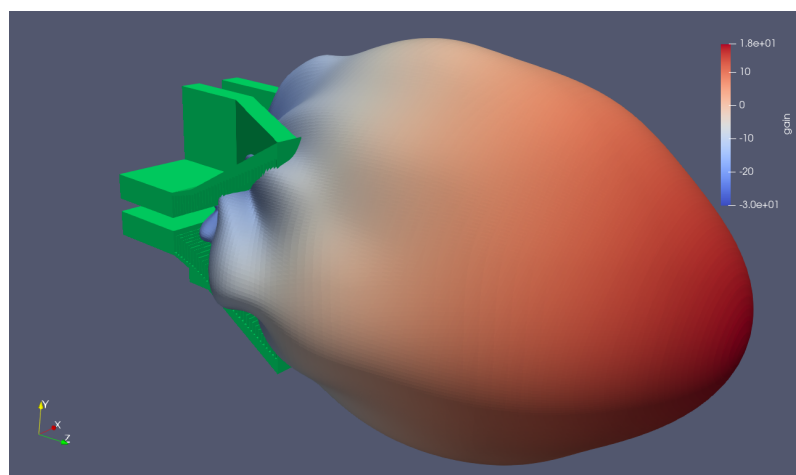
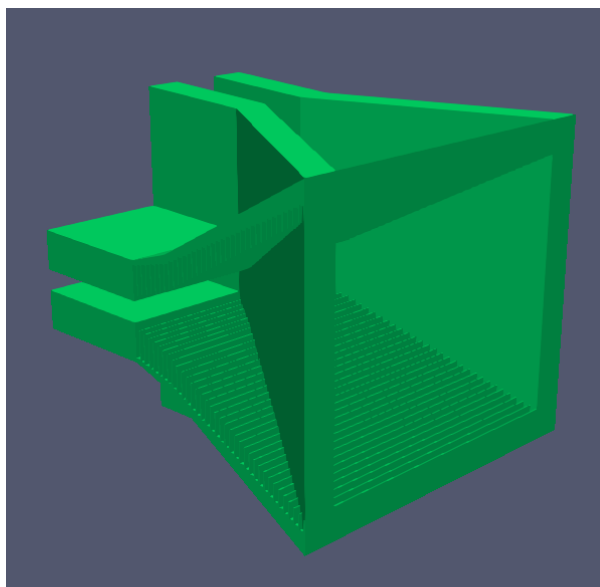
## Coeficiente de reflexión:



## Perfil Simulado

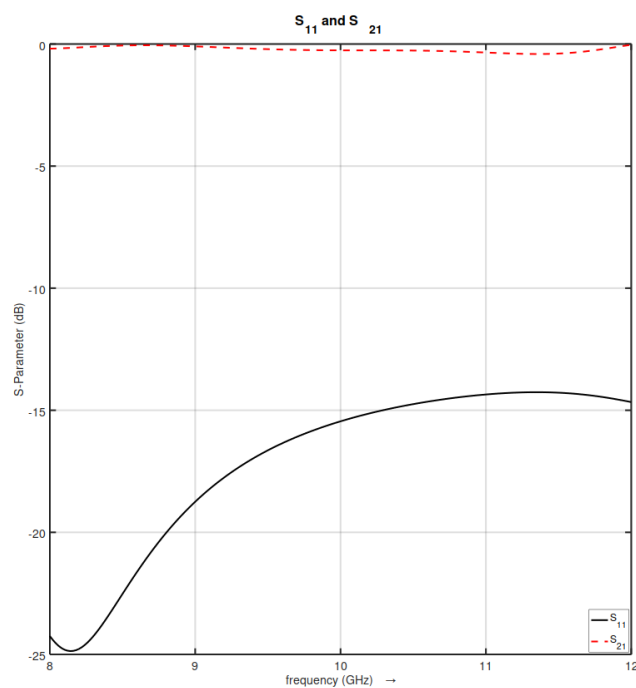


3D

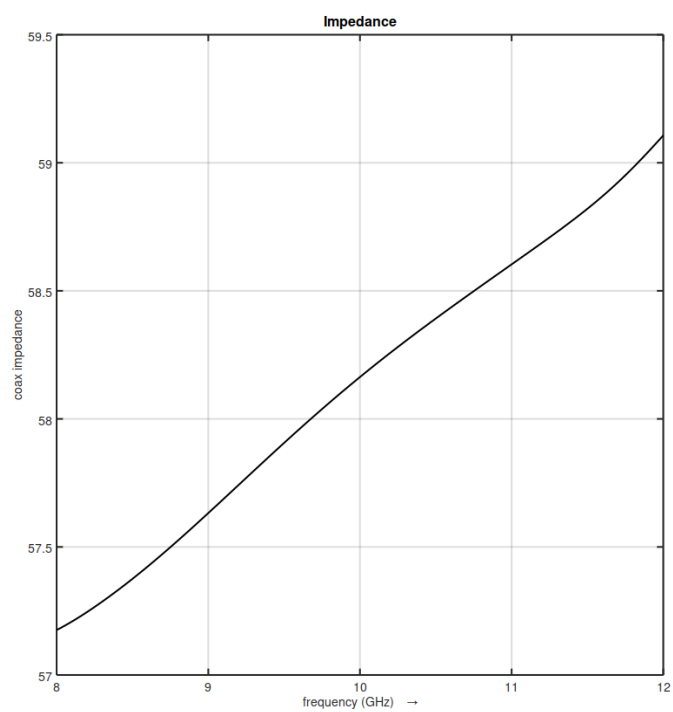


Adaptador Coaxial a Guía de onda

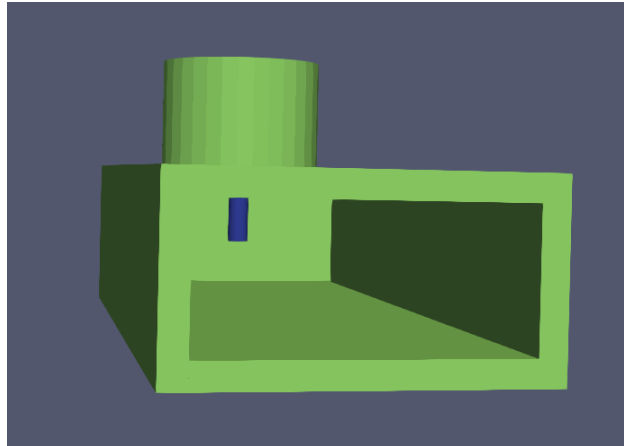
## Coeficiente de reflexión



## Impedancia



3D



## Referencias:

- [1]: OpenEMS (<https://openems.de/start/>)
- [2]: “[Dual-Polarization and Low-Sidelobe Corrugated Rectangular Horn Antennas for Outdoor RCS Measurement](#)” Changying Wu, Congxiang Li, Chufeng Hu and Yevhen Yashchyshyn.
- [3]: Antenna Designer’s Notebook (<http://antennadesigner.org/>)
- [4]: Corrugated Horn Antenna Tutorial for OpenEMS (<https://openems.de/forum/viewtopic.php?f=3&t=900>)
- [5]: Design of Corrugated Horns: A Primer Christophe Granet and Graeme L. James.
- [6]: Corrugated Horn Antenna Design in MATLAB and CST (<https://www.youtube.com/watch?v=Fh7Ri-CNEjs>)
- [7]: Octave (<https://www.gnu.org/software/octave/index>)
- [8]: Programa desarrollado ([https://github.com/monteiroman/medidas2\\_magicScript](https://github.com/monteiroman/medidas2_magicScript))
- [9]: “Fundamentos de Electrodinámica” Fiódorov N.N.
- [10]: “Antenna Theory Analysis and Design” C.A.Balanis.