

## 1. Implementación de escenarios de simulación

Los parámetros comunes de los escenarios simulados en HFSS se presentan en la tabla 1.

Analysis Setup	Terminal Network Analysis
Solution Type	HFSS
Boundary Condition	Radiation boundary ( $ABC$ )
Excitation	Lumped Port
Full Port Impedance	50 $\Omega$
Port Incident Voltage	1 V
Initial Mesh Resolution	6/9

Tabla 1: Condiciones de simulación generales.

Al realizar simulaciones se cuenta con dos tipos de *Analysis Setup*: *Network Analysis* y *Composite Excitation*, definidos en la *sección 3 - Working with ANSYS Electronics Desktop Projects* del Manual HFSS [1]. Para el desarrollo de las simulaciones presentadas se selecciona el *Network Analysis* (más específicamente *Terminal Network Analysis*), debido a que ofrece un conjunto más completo de resultados. Para este tipo de *Setup* tanto los campos electromagnéticos como los valores de voltajes y corrientes pueden ser monitoreados. Además, se obtienen resultados de parámetros S y TDR. Para la configuración de *Composite Excitation*, en la cual se lanzan todas las simulaciones activas en una misma simulación, no se obtienen resultados de parámetros S ni de TDR, pero los campos guardados pueden ser visualizados, y los voltajes y corrientes pueden ser monitoreados.

En cuanto a las condiciones de frontera (*Boundary Condition*), se selecciona una frontera de radiación ABC. Esta implica un menor costo computacional que una frontera PML. Un aspecto adicional que se considera para la configuración del escenario en HFSS es la distancia entre las antenas y la frontera de radiación. En la *sección 16 - Assigning Boundaries in HFSS* del Manual del simulador, que aborda las condiciones de frontera en el contexto de HFSS, se sugiere una distancia mínima de  $\lambda/4$  entre cualquier fuente de radiación y la frontera. Como buena práctica, se deja una distancia mayor a la sugerida (i.e.,  $\lambda/2$ ) para el desarrollo de estas simulaciones. La longitud de onda de referencia  $\lambda$  corresponde a la menor frecuencia considerada. En este caso, para una frecuencia de  $1GHz$  se tiene una distancia mínima entre antenas y fronteras de radiación de  $\lambda/2 = 15cm$ . Esta consideración aplica para la distancia entre las antenas y la frontera en cualquier dirección. Adicionalmente, se deja una distancia mínima de  $10cm$  entre las fronteras de radiación y cualquier otro objeto del escenario, como las esferas conductoras ubicadas en los escenarios 3, 4 y 7.

Otra consideración relevante al implementar los escenarios de simulación en HFSS es el costo computacional de las simulaciones electromagnéticas. Este es un factor relevante en el desarrollo de las simulaciones, debido a que son realizadas en un computador con características estándar. Las especificaciones técnicas

del computador utilizado para el desarrollo de las simulaciones se presentan en la tabla 2.

Procesador	Intel Core i7-6700T CPU @ 2.8GHz
RAM	32GB
Disco duro	1TB HDD Toshiba MQ02ABD100H
GPU	Intel HD Graphics 530 (integrada)

Tabla 2: Especificaciones técnicas de computador utilizado para simulaciones.

Considerando que múltiples escenarios cuentan con un material distinto al vacío, que constituyen el espacio en el que están enterrados los objetos, se modela este material con características análogas a la arena utilizada para las mediciones experimentales. Las propiedades electromagnéticas del material, obtenidas a través de Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) con el equipo TDR 200 de Campbell Scientific, se presentan en la tabla 3.

Permitividad eléctrica relativa ( $\epsilon_r$ )	2.58
Permeabilidad magnética relativa ( $\mu_r$ )	1
Conductividad eléctrica ( $\sigma$ )	0.03 S/m

Tabla 3: Propiedades electromagnéticas de arena.

Por otro lado, se cuenta con parámetros de simulación propios del método computacional utilizado en HFSS para la solución del modelo, como las condiciones de parada (máximo número de iteraciones y máximo delta de S). Como se menciona en la *sección 15 - Specifying Solution Settings* del Manual HFSS [1], el número de iteraciones se refiere a la cantidad de ciclos de refinamiento de malla que realiza el simulador. La solución adaptativa se desarrolla hasta cumplir con el máximo número de iteraciones, a menos que se cumplan criterios de convergencia como un delta S menor al establecido por parámetro. El número máximo de iteraciones se deja en el valor por defecto (6 iteraciones). El delta S se refiere a la magnitud del cambio de los parámetros S entre dos iteraciones consecutivas. Se utiliza como criterio de parada de soluciones adaptativas. Es decir, el análisis adaptativo acaba si la magnitud de cambio de todos los parámetros S de una iteración a la siguiente es menor que este valor. Considerando que en la *sección 15 - Specifying Solution Settings* del Manual HFSS [1] se sugiere dejar el valor por defecto (i.e., 0.02) para la mayoría de los casos, se utiliza este valor para las simulaciones presentadas. Disminuir el delta S representa un aumento en recursos computacionales y tiempo necesario, mientras que aumentarlo pone en riesgo la precisión del resultado obtenido. La relación entre el valor de delta S y la máxima magnitud de error causado por delta S se presenta en la figura 1.

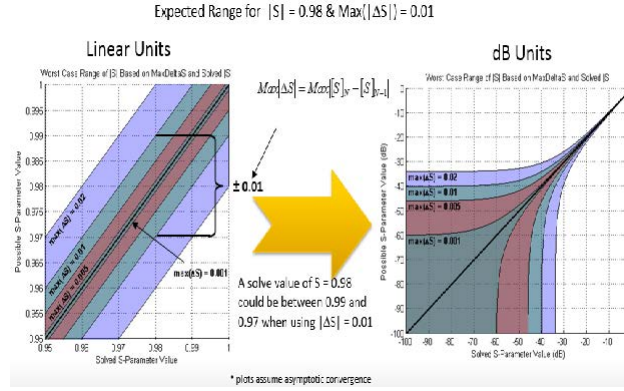


Figura 1: Relación entre delta S y máxima magnitud de error causado por delta S.

Por último, se cuenta con el diseño de la antena utilizada. Para el proceso de simulación se partió por implementar en HFSS un modelo de antena comercial: PowerLOG 70180 fabricada por AARIONIA AG [2]. Las dimensiones y demás especificaciones de diseño para una correcta implementación de la antena se obtuvieron a través de mediciones de la estructura física de la antena PowerLOG y de la revisión de documentación y literatura acerca del diseño y funcionamiento de antenas tipo joroba.

La mayoría de las dimensiones físicas se obtuvieron a través de mediciones. Sin embargo, la antena cuenta con partes que, por su forma no lineal, constituyen un reto en cuanto a su caracterización física. Entre ellas están las inclinaciones de las jorobas, y los bordes de los paneles laterales. Para la caracterización de estos componentes se desarrolló una herramienta de extracción de puntos en python. La herramienta recibe una imagen y la presenta en pantalla para que el usuario seleccione los puntos que conforman el borde de la estructura por caracterizar. Una vez seleccionados los puntos, se selecciona una dimensión conocida de la antena, para poder relacionar las dimensiones físicas de la antena con las dimensiones en píxeles de la imagen. En la misma herramienta, se presenta la unión de los puntos seleccionados a través de una curva tipo spline grado 3, como se presenta en la figura 2. Esta curva permite verificar que la caracterización de componentes no lineales como la inclinación de las jorobas a través de curvas tipo spline es adecuada. Finalmente, se obtiene como resultado la posición (x,y) de los puntos seleccionados. Estos puntos se utilizan en la herramienta de curva spline de HFSS para construir los elementos ya mencionados.

La construcción precisa de la curvatura de las jorobas es crítica debido a que estas constituyen un elemento fundamental del funcionamiento de la antena. Considerando que su propósito es aumentar el máximo ancho de banda práctico de la antena, realizando un acople de impedancias entre  $50 \Omega$  en la sección de guía de onda y  $377 \Omega$  en la abertura [3], su forma tiene un impacto en la propagación de las ondas y en el funcionamiento de la antena.

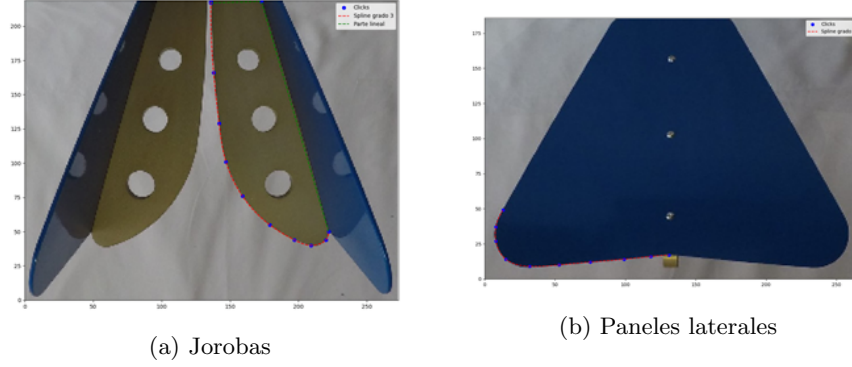


Figura 2: Extracción de puntos a partir de imagen de antena.

La excitación de la antena constituye otro reto de diseño, considerando que no es completamente visible y que además no se cuenta con un detalle sobre su funcionamiento en la documentación [2] dada por el fabricante. Por ello, se realizó una revisión de artículos que abordan aspectos de diseño e implementación de antenas tipo corneta [3],[4],[5],[6]. A partir de estos artículos se determinó que la antena tipo corneta de doble joroba está excitada por una línea de transmisión coaxial que pasa a través de una de las jorobas hasta hacer contacto con la otra, como se muestra en la figura 3. Como se menciona previamente, la excitación de la antena se modela en HFSS a través de un *Lumped Port* con impedancia conocida ( $50 \Omega$ ) en el extremo de la alimentación coaxial. Se utiliza este tipo de puerto teniendo en cuenta que constituye una frontera de radiación al interior del volumen simulado, como se menciona en la *sección 18 - Assigning Excitations for HFSS or HFSS-Transient* del Manual HFSS [1]. Al utilizarlo en la interfaz entre la antena y la línea de transmisión, produce una excitación en un punto o celda específica, en forma de voltaje o corriente.

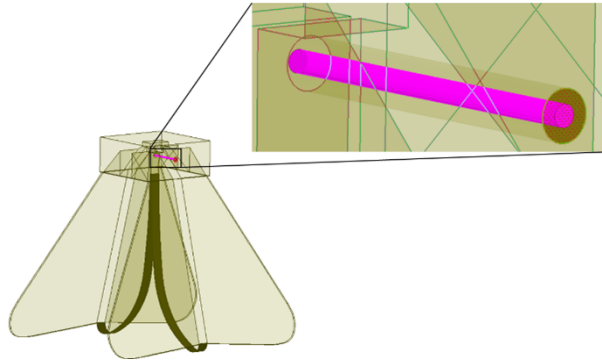


Figura 3: Excitación de antena a través de línea de transmisión.

Además, se incluye la cavidad trasera cuadrada como parte de la antena

tipo corneta. Esta hace parte de la transición de cable coaxial a guía de onda y tiene como propósito disminuir las pérdidas de retorno de la antena [3]. La implementación de la cavidad y la alimentación coaxial en el diseño de la antena se presenta en la figura 4. Tanto la cavidad trasera como los paneles laterales inferiores se incluyeron en el diseño según las mediciones físicas realizadas.

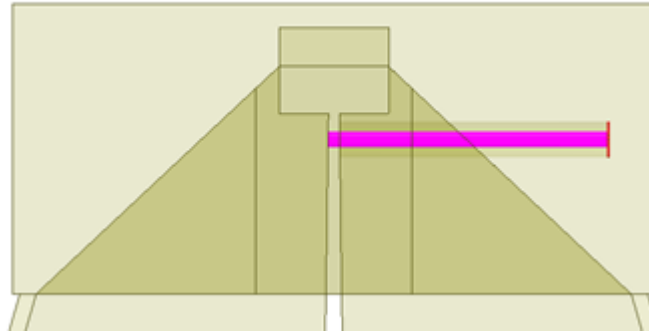


Figura 4: Alimentación coaxial y cavidad trasera.

El resultado de modelar la antena Powerlog en HFSS se presenta en la figura 5.

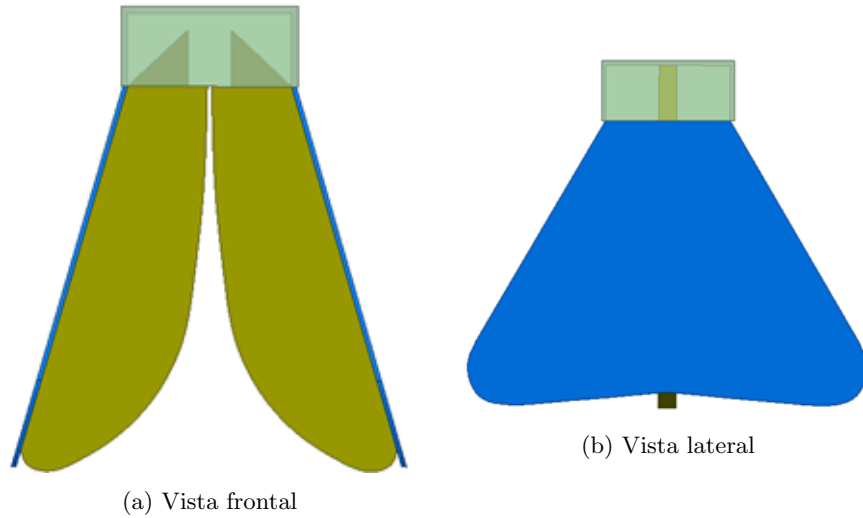


Figura 5: Antena Powerlog diseñada en HFSS.

## 2. Configuración y Resultados de simulación

### 2.1. Escenario 1: Antena transmisora en vacío

#### 2.1.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 1 está constituido únicamente por la antena transmisora. Este escenario se presenta en la figura 6. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 4.

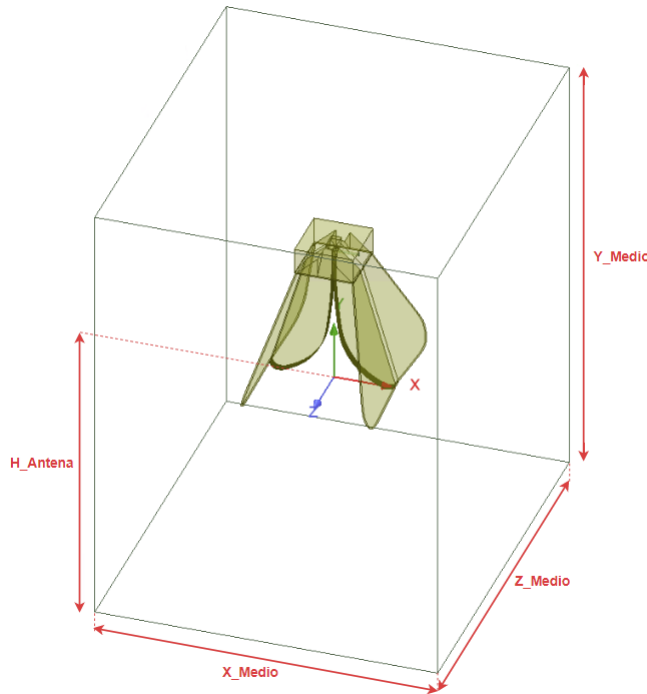


Figura 6: Escenario 1.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz.slp.

#### 2.1.2. Resultados - Dominio de frecuencia

##### 2.1.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 1 en el dominio de la frecuencia es de 00:38:01 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 18.5 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales uti-

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	476 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	250 mm
H_Arena	-
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 4: Parámetros de escenario 1 - Dominio de frecuencia.

lizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz.prof.

#### 2.1.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 1 de simulación en el dominio de la frecuencia se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.017049, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz.png.

#### 2.1.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 1 en el dominio de la frecuencia se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz.s1p.

#### 2.1.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz.mstat.

#### 2.1.2.5 Campos electromagnéticos

Considerando que la simulación de este escenario ya ha sido ejecutada, se pueden obtener los campos electromagnéticos para todo el dominio de simulación. Para ello, se debe utilizar la herramienta Fields Calculators presentada en la sección 22 - Post Processing and Generating Reports del Manual HFSS [1]. Al

exportar los campos, se puede definir un mallado que incluya todo el dominio espacial simulado, de  $(0, 0, 0)$  a  $(X\_Medio, Y\_Medio, Z\_Medio)$ , con espaciado determinado en cada dimensión  $(X, Y, Z)$ . Adicionalmente, esta herramienta de cálculo permite obtener parámetros adicionales como el vector de Poynting, y cuenta con operaciones escalares y vectoriales que pueden ser realizadas con los parámetros base para obtener resultados adicionales específicos.

#### 2.1.2.6 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre  $0$  y  $180^\circ$ ) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atraviesa eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1\_3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.gif.
- Plano YZ que atraviesa eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1\_3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1\_3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_freq\_1\_3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.

Considerando que las simulaciones de los escenarios presentados en este reporte ya han sido ejecutadas, es posible obtener animaciones equivalentes para todas las frecuencias simuladas (1, 3, 5, 7 GHz), tanto para el campo eléctrico y magnético como para

#### 2.1.3. Configuración de escenario - Dominio de tiempo

El escenario está constituido únicamente por la antena transmisora. Sus características físicas son las mismas del escenario presentado en la sección 2.1.1. Sin embargo, en la sección 2.1.3 se analiza el escenario en el dominio del tiempo (*Transient Network Analysis*). Este escenario se presenta en la figura 6. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 5.



Analysis Setup	Transient Network Analysis
Input Signal	Broadband pulse
Rango de frecuencias	[1-7] GHz
Número de frecuencias	401
Condición de parada	$t = 10\text{ns}$
X_Medio	476 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	250 mm
H_Arena	-
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 5: Parámetros de escenario - Dominio de tiempo.

#### 2.1.4. Resultados - Dominio de tiempo

##### 2.1.4.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 1 en el dominio del tiempo es de 06:40:10 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 13.8 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_tiempo\_1-7\_GHz.prof.

##### 2.1.4.2 Convergencia

La convergencia del escenario 1 en el dominio del tiempo se logra en 5 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.0057123, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_tiempo\_1-7\_GHz.png.

##### 2.1.4.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 1 en el dominio del tiempo se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen1\_vacio\_tiempo\_1-7\_GHz.slp.

#### 2.1.4.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. Las características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen1_vacio_tiempo_1-7_GHz.mstat`.

#### 2.1.4.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de tiempo en el rango de la duración de la simulación (10ns). Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen1_vacio_tiempo_1-7_GHz-animation_1GHz_XY.gif`.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen1_vacio_tiempo_1-7_GHz-animation_1GHz_YZ.gif`.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen1_vacio_tiempo_1-7_GHz-animation_1GHz_XZ.10cm.gif`.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen1_vacio_tiempo_1-7_GHz-animation_1GHz_XZ.20cm.gif`.

## 2.2. Escenario 2: Antena transmisora y superficie de arena

### 2.2.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 2 está constituido por la antena transmisora y una superficie de arena con las características descritas en la sección 1. Este escenario se presenta en la figura 7. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 6.

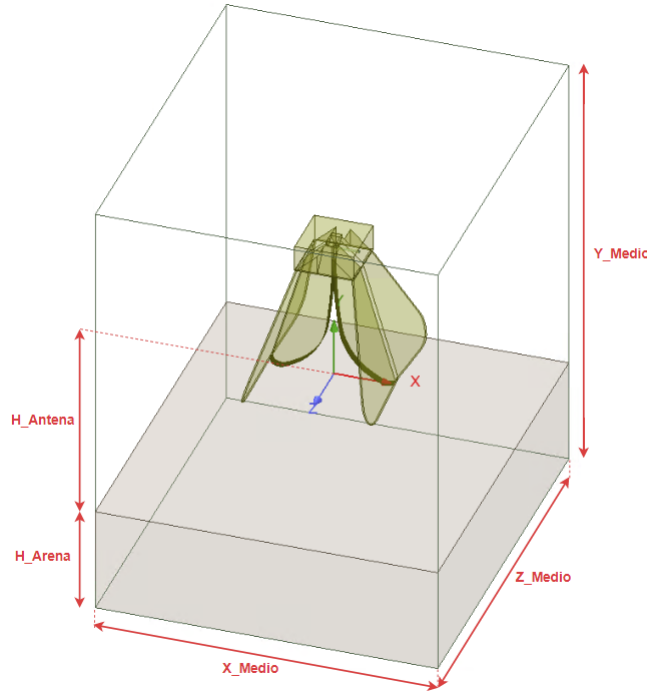


Figura 7: Escenario 2.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_freq_1.3.5.7_GHz.s1p`.

### 2.2.2. Resultados - Dominio de frecuencia

#### 2.2.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 2 es de 01:28:18 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 25 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_freq_1.3.5.7_GHz.prof`.

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	476 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	100 mm
H_Arena	150 mm
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 6: Parámetros de escenario 2.

#### 2.2.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 2 de simulación se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.013819, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_freq_1_3_5_7_GHz.png`.

#### 2.2.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 2 se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_freq_1_3_5_7_GHz.s1p`.

#### 2.2.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_freq_1_3_5_7_GHz.mstat`.

#### 2.2.2.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre 0 y 180°) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_freq_1_3_5_7_GHz-animation_1GHz_XY.gif`.

- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen2\_arena\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen2\_arena\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen2\_arena\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.

### 2.2.3. Configuración de escenario - Dominio de tiempo

El escenario está constituido únicamente por la antena transmisora. Sus características físicas son las mismas del escenario presentado en la sección 2.2.1. Sin embargo, en la sección 2.2.3 se analiza el escenario en el dominio del tiempo (*Transient Network Analysis*). Este escenario se presenta en la figura 6. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 7.

Analysis Setup	Transient Network Analysis
Input Signal	Broadband pulse
Rango de frecuencias	[1-7] GHz
Número de frecuencias	401
Condición de parada	$t = 10\text{ns}$
X_Medio	476 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	100 mm
H_Arena	150 mm
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 7: Parámetros de escenario - Dominio de tiempo.

### 2.2.4. Resultados - Dominio de tiempo

#### 2.2.4.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 2 en el dominio del tiempo es de 06:57:39 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de

17.9 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz.prof`.

#### **2.2.4.2 Convergencia**

La convergencia del escenario 2 en el dominio del tiempo se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.011913, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz.png`.

#### **2.2.4.3 Parámetros S**

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 2 en el dominio del tiempo se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz.s1p`.

#### **2.2.4.4 Estadísticas de mallado**

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz.mstat`.

#### **2.2.4.5 Animaciones de campos electromagnéticos**

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de tiempo en el rango de la duración de la simulación (10ns). Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz-animation_XY.gif`.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz-animation_YZ.gif`.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz-animation_XZ_10cm.gif`.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena  
`powerlog_1tx_1agosto2022_escen2_arena_tiempo_1-7_GHz-animation_XZ_20cm.gif`.

## 2.3. Escenario 3: Antena transmisora y esfera PEC de diámetro 10cm

### 2.3.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 3 está constituido por la antena transmisora y una esfera de conductor eléctrico perfecto (PEC). Este escenario se presenta en la figura 8. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 8. Las coordenadas  $X, Y, Z$  correspondientes a la ubicación de la esfera de PEC en la tabla 8 se dan con respecto al marco de referencia ubicado en la boca de la antena que se presenta en la figura 8.

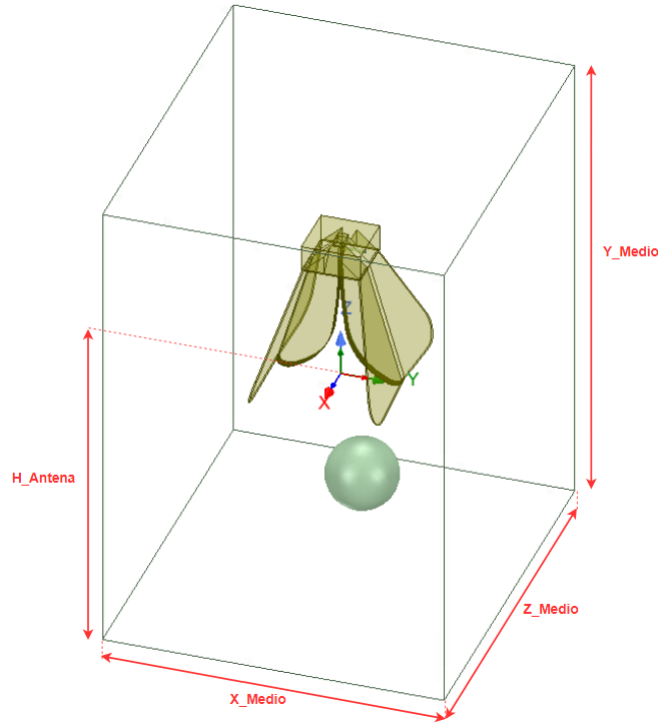


Figura 8: Escenario 3.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen3_esferaPEC_freq_1.3_5.7_GHz.slp`.

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	476 mm
Y_Medio	665 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	300 mm
H_Arena	-
Objeto	Esfera de PEC, $\phi = 100mm$
X_Objeto	30 mm
Y_Objeto	-150 mm
Z_Objeto	0 mm
Mallado inicial	6/9

Tabla 8: Parámetros de escenario 3.

### 2.3.2. Resultados - Dominio de frecuencia

#### 2.3.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 3 es de 00:40:36 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 22.1 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen3_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.prof`.

#### 2.3.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 3 de simulación se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.014697, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen3_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.png`.

#### 2.3.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 3 se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen3_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.s1p`.

#### 2.3.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen3_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.mstat`.



### 2.3.2.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre 0 y 180°) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_freq\_1.3-5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_freq\_1.3-5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_freq\_1.3-5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_freq\_1.3-5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.

### 2.3.3. Configuración de escenario - Dominio de tiempo

El escenario está constituido por la antena transmisora y una esfera de conductor eléctrico perfecto (PEC). Sus características físicas son las mismas del escenario presentado en la sección 2.3.1. Sin embargo, en la sección 2.3.3 se analiza el escenario en el dominio del tiempo (*Transient Network Analysis*). Este escenario se presenta en la figura 8. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 9.

### 2.3.4. Resultados - Dominio de tiempo

#### 2.3.4.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 3 en el dominio del tiempo es de 06:34:54 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 20.4 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.prof.

Analysis Setup	Transient Network Analysis
Input Signal	Broadband pulse
Rango de frecuencias	[1-7] GHz
Número de frecuencias	401
Condición de parada	$t = 10\text{ns}$
X_Medio	476 mm
Y_Medio	665 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	300 mm
H_Arena	-
Objeto	Esfera de PEC, $\phi = 100\text{mm}$
X_Objeto	30 mm
Y_Objeto	-150 mm
Z_Objeto	0 mm
Mallado inicial	6/9

Tabla 9: Parámetros de escenario - Dominio de tiempo.

#### 2.3.4.2 Convergencia

La convergencia del escenario 3 en el dominio del tiempo se logra en 5 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.0057138, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.png.

#### 2.3.4.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 3 en el dominio del tiempo se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.slp.

#### 2.3.4.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.mstat.

#### 2.3.4.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de tiempo

en el rango de la duración de la simulación (10ns). Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_XY.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_YZ.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen3\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_XZ\_20cm.gif.

## 2.4. Escenario 4: Antena transmisora, superficie de arena y esfera PEC de diámetro 10cm

### 2.4.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 4 está constituido por la antena transmisora, una superficie de arena con las características descritas en la sección 1 y una esfera de conductor eléctrico perfecto (PEC). Este escenario se presenta en la figura 9. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 10. Las coordenadas  $X, Y, Z$  correspondientes a la ubicación de la esfera de PEC en la tabla 10 se dan con respecto al marco de referencia ubicado en la boca de la antena que se presenta en la figura 9.

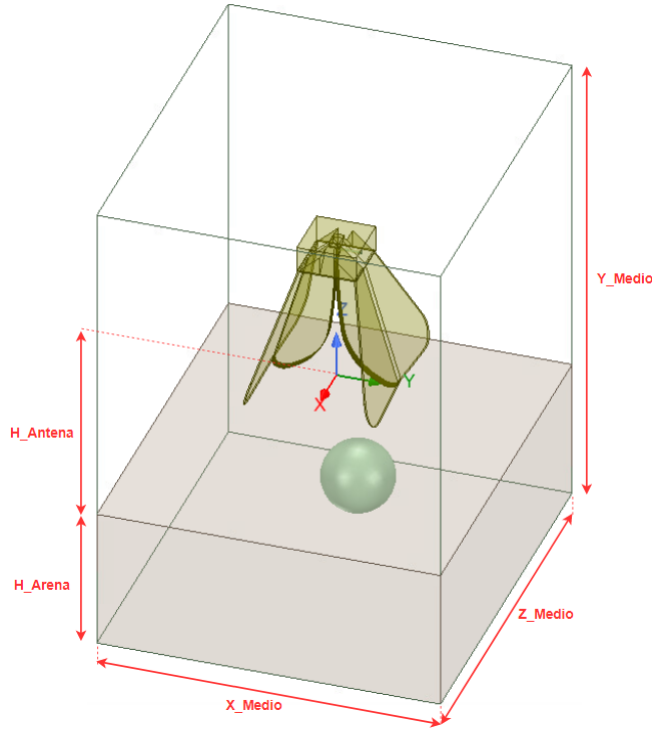


Figura 9: Escenario 4.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz.slp.

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	476 mm
Y_Medio	665 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	100 mm
H_Arena	200 mm
Objeto	Esfera de PEC, $\phi = 100mm$
X_Objeto	30 mm
Y_Objeto	-150 mm
Z_Objeto	0 mm
Mallado inicial	6/9

Tabla 10: Parámetros de escenario 4.

## 2.4.2. Resultados - Dominio de frecuencia

### 2.4.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 4 es de 02:44:56 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 24.9 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen4_arena_esferaPEC_freq_1.3_5_7_GHz.prof`.

### 2.4.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 4 de simulación se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.01522, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen4_arena_esferaPEC_freq_1.3_5_7_GHz.png`.

### 2.4.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 4 se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen4_arena_esferaPEC_freq_1.3_5_7_GHz.s1p`.

### 2.4.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1agosto2022_escen4_arena_esferaPEC_freq_1.3_5_7_GHz.mstat`.

#### 2.4.2.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre 0 y 180°) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena.esferaPEC\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena.esferaPEC\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena.esferaPEC\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena.esferaPEC\_freq\_1.3\_5\_7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.

#### 2.4.3. Configuración de escenario - Dominio de tiempo

El escenario está constituido por la antena transmisora, una superficie de arena con las características descritas en la sección 1 y una esfera de conductor eléctrico perfecto (PEC). Sus características físicas son las mismas del escenario presentado en la sección 2.4.1. Sin embargo, en la sección 2.4.3 se analiza el escenario en el dominio del tiempo (*Transient Network Analysis*). Este escenario se presenta en la figura 9. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 11.

#### 2.4.4. Resultados - Dominio de tiempo

##### 2.4.4.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 4 en el dominio del tiempo es de 06:59:11 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 23.1 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena.esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.prof.

Analysis Setup	Transient Network Analysis
Input Signal	Broadband pulse
Rango de frecuencias	[1-7] GHz
Número de frecuencias	401
Condición de parada	$t = 10\text{ns}$
X_Medio	476 mm
Y_Medio	665 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	100 mm
H_Arena	200 mm
Objeto	Esfera de PEC, $\phi = 100\text{mm}$
X_Objeto	30 mm
Y_Objeto	-150 mm
Z_Objeto	0 mm
Mallado inicial	6/9

Tabla 11: Parámetros de escenario - Dominio de tiempo.

#### 2.4.4.2 Convergencia

La convergencia del escenario 4 en el dominio del tiempo se logra en 5 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.0062325, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.png.

#### 2.4.4.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 4 en el dominio del tiempo se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.s1p.

#### 2.4.4.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. Las características mencionadas se presentan en el archivo powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz.mstat.

#### 2.4.4.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de tiempo

en el rango de la duración de la simulación (10ns). Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena  
powerlog\_1tx\_1agosto2022\_escen4\_arena\_esferaPEC\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.



## 2.5. Escenario 5: Antena transmisora y antena receptora en vacío

### 2.5.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 5 está constituido por la antena transmisora y la antena receptora. Este escenario se presenta en la figura 10. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 12.

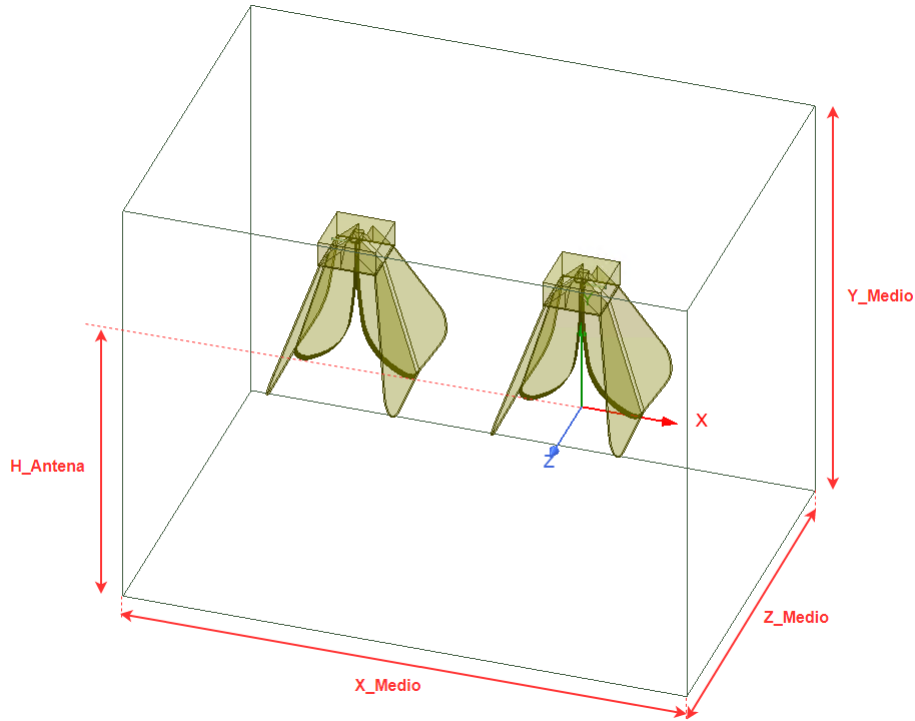


Figura 10: Escenario 5.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto_escen5_vacio_freq_1_3_5_7_GHz.s2p`.

### 2.5.2. Resultados - Dominio de frecuencia

#### 2.5.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 5 es de 03:10:02 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 26 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	802 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	250 mm
H_Arena	-
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 12: Parámetros de escenario 5.

componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto_escen5_vacio_freq_1.3.5.7_GHz.prof`.

#### 2.5.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 5 de simulación se logra en 5 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.0066134, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto_escen5_vacio_freq_1.3.5.7_GHz.png`.

#### 2.5.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 5 se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto_escen5_vacio_freq_1.3.5.7_GHz.s2p`.

#### 2.5.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto_escen5_vacio_freq_1.3.5.7_GHz.mstat`.

#### 2.5.2.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre 0 y 180°) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena

- 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto\_escen5\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena transmisora
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto\_escen5\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ\_tx.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena receptora
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto\_escen5\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ\_rx.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto\_escen5\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto\_escen5\_vacio\_freq\_1.3\_5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.

### 2.5.3. Configuración de escenario - Dominio de tiempo

El escenario está constituido por la antena transmisora y la antena receptora. Sus características físicas son las mismas del escenario presentado en la sección 2.5.1. Sin embargo, en la sección 2.5.3 se analiza el escenario en el dominio del tiempo (*Transient Network Analysis*). Este escenario se presenta en la figura 10. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 13.

### 2.5.4. Resultados - Dominio de tiempo

#### 2.5.4.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 5 en el dominio del tiempo es de 35:04:06 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 19.3 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto2022\_escen5\_vacio-tiempo\_1-7\_GHz.prof.

#### 2.5.4.2 Convergencia

La convergencia del escenario 5 en el dominio del tiempo se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.012435, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo powerlog\_1tx\_1rx\_lagosto2022\_escen5\_vacio-tiempo\_1-7\_GHz.png.

Analysis Setup	Transient Network Analysis
Input Signal	Broadband pulse
Rango de frecuencias	[1-7] GHz
Número de frecuencias	401
Condición de parada	$t = 10\text{ns}$
X_Medio	802 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	250 mm
H_Arena	-
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 13: Parámetros de escenario - Dominio de tiempo.

#### 2.5.4.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 5 en el dominio del tiempo se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen5_vacio_tiempo_1-7_GHz.s2p`.

#### 2.5.4.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. Las características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen5_vacio_tiempo_1-7_GHz.mstat`.

#### 2.5.4.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de tiempo en el rango de la duración de la simulación (10ns). Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena  
`powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen5_vacio_tiempo_1-7_GHz-animation_XY.gif`.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena transmisora  
`powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen5_vacio_tiempo_1-7_GHz-animation_YZ.tx.gif`.

- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena receptora  
powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen5\_vacio\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_  
YZ\_rx.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena  
powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen5\_vacio\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_  
XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena  
powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen5\_vacio\_tiempo\_1-7\_GHz-animation\_  
XZ\_20cm.gif.

## 2.6. Escenario 6: Antena transmisora, antena receptora y superficie de arena

### 2.6.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 6 está constituido por la antena transmisora y una superficie de arena con las características descritas en la sección 1. Este escenario se presenta en la figura 11. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 14.

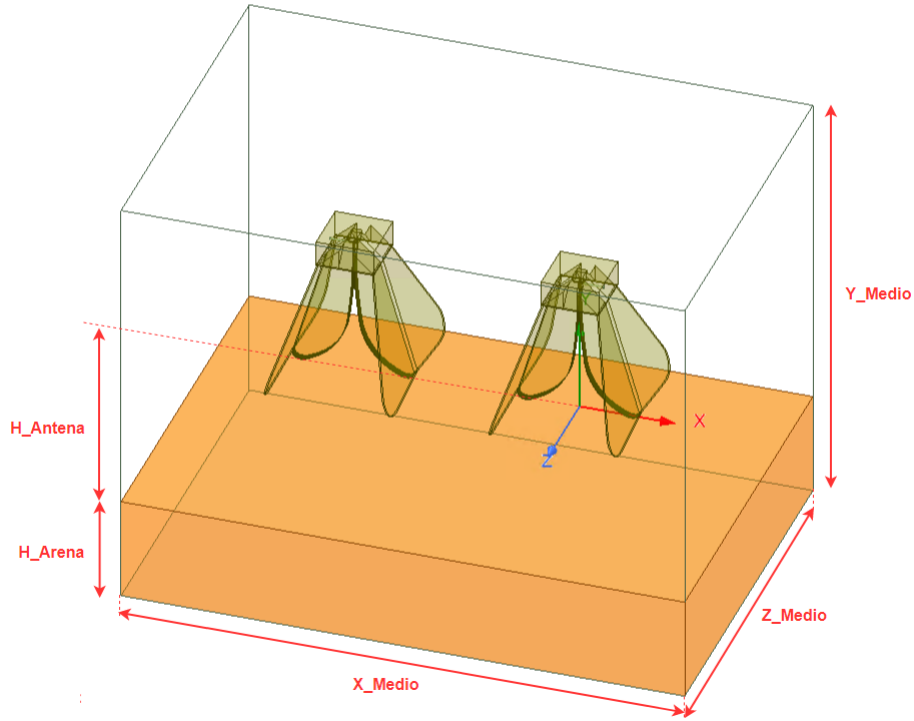


Figura 11: Escenario 6.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen6_arena_freq_1.3_5.7_GHz.s2p`.

### 2.6.2. Resultados - Dominio de frecuencia

#### 2.6.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 6 es de 05:51:47 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 26.6 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	802 mm
Y_Medio	615 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	100 mm
H_Arena	150 mm
Objeto	-
X_Objeto	-
Y_Objeto	-
Z_Objeto	-
Mallado inicial	6/9

Tabla 14: Parámetros de escenario 6.

componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen6_arena_freq_1.3.5.7_GHz.prof`.

#### 2.6.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 6 de simulación se logra en 4 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.018818, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen6_arena_freq_1.3.5.7_GHz.png`.

#### 2.6.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 6 se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen6_arena_freq_1.3.5.7_GHz.s2p`.

#### 2.6.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen6_arena_freq_1.3.5.7_GHz.mstat`.

#### 2.6.2.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre 0 y 180°) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena

- 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen6\_arena\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena transmisora
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen6\_arena\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ\_tx.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena receptora
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen6\_arena\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ\_rx.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen6\_arena\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen6\_arena\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.



## 2.7. Escenario 7: Antena transmisora, antena receptora y esfera PEC de diámetro 10cm

### 2.7.1. Configuración de escenario - Dominio de frecuencia

El escenario 7 está constituido por la antena transmisora, la antena receptora y una esfera de conductor eléctrico perfecto (PEC). Este escenario se presenta en la figura 12. Para su análisis se definen las condiciones de simulación y las dimensiones físicas presentadas en la tabla 15. Las coordenadas  $X, Y, Z$  correspondientes a la ubicación de la esfera de PEC en la tabla 15 se dan con respecto al marco de referencia ubicado en la boca de la antena que se presenta en la figura 12.

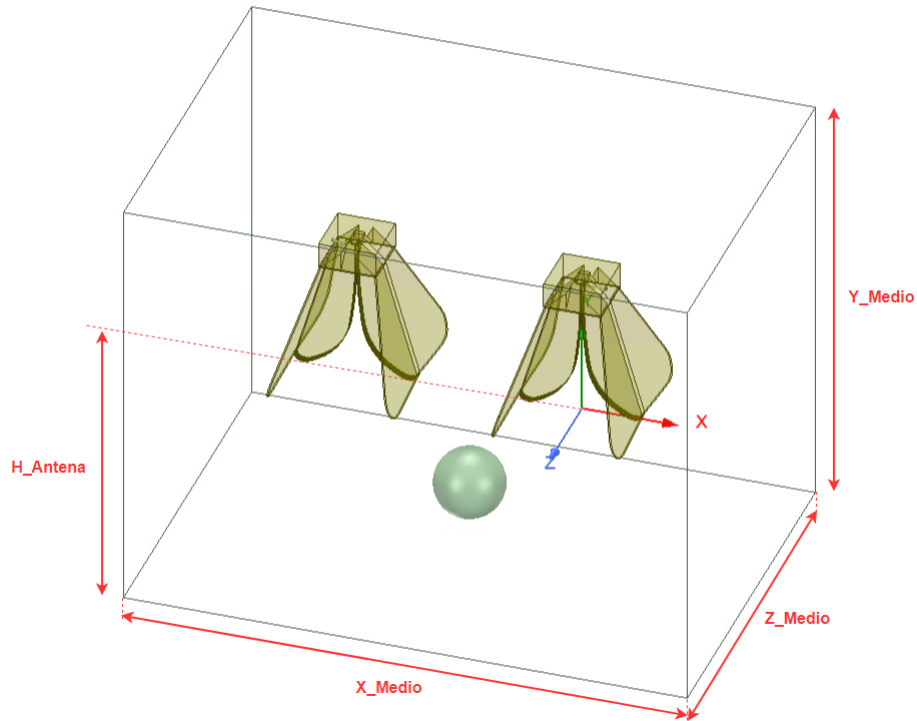


Figura 12: Escenario 7.

Una descripción más detallada de los parámetros físicos utilizados para la creación de este escenario, junto con sus respectivos valores, se encuentran en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen7_esferaPEC_freq_1.3-5.7_GHz.s2p`.

Frecuencias	[1, 3, 5, 7] GHz
X_Medio	802 mm
Y_Medio	665 mm
Z_Medio	547 mm
H_Antena	300 mm
H_Arena	-
Objeto	Esfera de PEC, $\phi = 100mm$
X_Objeto	-160 mm
Y_Objeto	-150 mm
Z_Objeto	0 mm
Mallado inicial	6/9

Tabla 15: Parámetros de escenario 7.

## 2.7.2. Resultados - Dominio de frecuencia

### 2.7.2.1 Recursos computacionales

El tiempo total de simulación para el escenario 7 es de 04:05:47 (HH:MM:SS). La memoria máxima utilizada para un proceso es de 26.3 GB. La información detallada sobre los recursos computacionales utilizados para todos los procesos que componen la simulación se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen7_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.prof`.

### 2.7.2.2 Convergencia

La convergencia del escenario 7 de simulación se logra en 5 iteraciones del método numérico. Para esta iteración, se obtiene un Delta S de 0.0073227, menor al valor de Máximo Delta S establecido en 0.02. La información completa sobre el proceso de convergencia del método numérico utilizado se presenta en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen7_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.png`.

### 2.7.2.3 Parámetros S

Los resultados de parámetros S para el conjunto de frecuencias simuladas en el escenario 7 se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen7_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.s2p`.

### 2.7.2.4 Estadísticas de mallado

Como resultado de ejecutar el Método de Elementos Finitos (FEM) se obtiene un reporte sobre las características físicas y estadísticas de los tetraedros resultantes en el escenario de simulación. La características mencionadas se presentan en el archivo `powerlog_1tx_1rx_1agosto2022_escen7_esferaPEC_freq_1_3_5_7_GHz.mstat`.

### 2.7.2.5 Animaciones de campos electromagnéticos

Se realizan animaciones de la magnitud del campo eléctrico sobre planos específicos del modelo. Las animaciones se logran realizando variaciones de fase (entre 0 y  $180^\circ$ ) de la onda incidente para frecuencias específicas. Los planos seleccionados, junto con los archivos de resultados correspondientes, son:

- Plano XY que atravieza eje de simetría de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen7\_esferaPEC\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XY.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena transmisora
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen7\_esferaPEC\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ\_tx.gif.
- Plano YZ que atravieza eje de simetría de la antena receptora
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen7\_esferaPEC\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_YZ\_rx.gif.
- Plano XZ ubicado 10cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen7\_esferaPEC\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_10cm.gif.
- Plano XZ ubicado 20cm por debajo de la boca de la antena
  - 1GHz: powerlog\_1tx\_1rx\_1agosto2022\_escen7\_esferaPEC\_freq\_1.3.5.7\_GHz-animation\_1GHz\_XZ\_20cm.gif.

## Referencias

- [1] ANSYS, “HFSS Help Release 2021 R1,” 2021.
- [2] AARONIA AG, “HIGH-POWER HORN ANTENNAS POWERLOG SERIES,” Tech. Rep., 2021. [Online]. Available: <https://aaronia.com/antennas/powerlog-series-horn/>
- [3] A. R. Mallahzadeh and A. Imani, “Double-ridged antenna for wideband applications,” *Progress in Electromagnetics Research-pier - PROG ELECTROMAGN RES*, vol. 91, pp. 273–285, 01 2009.
- [4] M. Abbas-Azimi, F. Arazm, and J. Rashed-Mohassel, “Design of a new broadband emc double ridged guide horn antenna,” in *2006 First European Conference on Antennas and Propagation*, 2006, pp. 1–5.
- [5] M. Botello-Perez, H. Jardon-Aguilar, and I. Ruiz, “Design and simulation of a 1 to 14 ghz broadband electromagnetic compatibility drgh antenna,” in *2005 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 2005, pp. 118–121.
- [6] C. Bruns, P. Leuchtmann, and R. Vahldieck, “Analysis and simulation of a 1-18-ghz broadband double-ridged horn antenna,” *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 45, no. 1, pp. 55–60, 2003.