

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

*Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniera  
Electrónica e Ingeniero Electrónico*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL BASADA EN REALIDAD  
AUMENTADA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN DEL PATRÓN  
DE RADIACIÓN EN 3D DE ANTENAS PREDEFINIDAS”**

**AUTORES:**

TATIANA ALEXANDRA JARA QUITO

HERNÁN DAMIÁN DUY ROMERO

**TUTOR:**

ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ.

CUENCA – ECUADOR

2020

## CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR

Nosotros, Tatiana Alexandra Jara Quito con documento de identificación N° 0107384844 y Hernán Damián Duy Romero con documento de identificación N° 0105871412, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL BASADA EN REALIDAD AUMENTADA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D DE ANTENAS PREDEFINIDAS**”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Electrónica e Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto del 2020.



Tatiana Alexandra Jara Quito  
C.I. 0107384844



Hernán Damián Duy Romero  
C.I. 0105871412

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL BASADA EN REALIDAD AUMENTADA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D DE ANTENAS PREDEFINIDAS**”, realizado por Tatiana Alexandra Jara Quito y Hernán Damián Duy Romero, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto del 2020



Ing. Paúl Andrés Chasi P.

C.I. 0103652095

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Tatiana Alexandra Jara Quito con documento de identificación N° 0107384844 y Hernán Damián Duy Romero con documento de identificación N° 0105871412, autores del trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL BASADA EN REALIDAD AUMENTADA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D DE ANTENAS PREDEFINIDAS”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, agosto del 2020.



Tatiana Alexandra Jara Quito  
C.I. 0107384844



Hernán Damián Duy Romero  
C.I. 0105871412

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por la vida y salud de mi familia, por haberme escuchado en mis peores momentos. A mis padres, Hugo y Enma, quienes son mi fuerza para seguir cada día porque se han esmerado en dar educación a todos sus hijos, por no perder la confianza en mí, por seguir alentándome cuando tenía ganas de desfallecer. A mis hermanos, Daysi, Juan y Jonnathan, que me han alentado a ser una gran profesional. A mis sobrinos, Mateo, Matías y Nicole que han insistido diariamente para que culmine con este proyecto.

A todos los docentes que me han enseñado a través de todos estos años, al Ing. Paúl Chasi por su gran tutela, al Ing. Fernando Guerrero por tenerme tanta paciencia, haberme brindado una mano amiga, por la asesoría y la confianza en mí para realizar este proyecto; y al Ing. Gabriel León que supo guiarme en la etapa final de este proyecto. Muchas gracias de todo corazón.

***Tatiana Alexandra Jara Quito***

En primer lugar, agradezco a Dios por el hermoso regalo de la vida y por permitirme vivir esta alegría inmensa que es convertirme en un profesional de la ingeniería.

Agradezco a mi papá, Hernán Duy García, quien me ha brindado su apoyo incondicional en toda mi etapa como estudiante y que con su ejemplo me enseñó a trabajar duro por cumplir mis objetivos. A mi mamá, Meri Romero, quien con inmenso amor y cariño me motivó a terminar mi carrera y no me permitió rendirme, incluso en los momentos difíciles nunca me dejó solo. Mi agradecimiento también con los Ingenieros Paúl Chasi y Fernando Guerrero, por su tiempo y asesoría para el desarrollo del presente proyecto.

A todos quienes fueron mis profesores en la UPS, por sus enseñanzas y por sus conocimientos compartidos, gratitud eterna.

***Hernán Damián Duy Romero***

## DEDICATORIAS

A mis padres y mis hermanos quienes son mi principal fuente y mi apoyo incondicional.

A mi gran amigo Ing. Santiago Icaza "Tatita" porque fuiste, eres y serás mi pilar fundamental y el motivo para convertirme en una gran profesional.

Al Ing. Fernando Guerrero que ha demostrado el verdadero significado de ser docente, lo admiro por la entrega que tiene para enseñar.

A mi tía Libia que cada vez que la veía me preguntaba si ya culminaba mi carrera, mi dedicatoria al cielo.

**Tatiana Alexandra Jara Quito**

Dedico todo mi trabajo a mi papá y a mi mamá, a mi hermano Juan Sebastián de quien espero también se convierta en un gran ingeniero en su futuro, a mi abuelito Luis Romero, a mi abuelita Enma García y a mi querida ahijada Katalina Antonella, quien con sus ocurrencias ha llenado mi camino de felicidad.

También, a la memoria de mi abuelito Jesús Duy, mi abuelita Mariana Romero, mi compadre Juanito Valencia y a un buen amigo Santiago Delgado, allá en el cielo.

**Hernán Damián Duy Romero**

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	1
DEDICATORIAS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	15
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	17
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)	18
OBJETIVOS	19
OBJETIVO GENERAL .....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
CAPÍTULO 1: CONCEPTOS DE ANTENAS	20
1.1 Parámetros fundamentales de Antenas .....	20
1.1.1 Patrón de radiación	20
1.1.2 Densidad de potencia de radiación	22
1.1.3 Intensidad de radiación	23
1.1.4 Ancho de haz	23
1.1.5 Directividad	24
1.1.6 Eficiencia de una antena	24
1.1.7 Ganancia	25
1.1.8 Ancho de banda	25
1.1.9 Impedancia de entrada	25
1.1.10 Parámetro S11	26
CAPÍTULO 2: TIPOS DE ANTENAS	28
2.1 Antena Dipolo .....	28
2.2 Antena Monopolo .....	28
2.3 Antena Yagi-Uda .....	29

2.4 Antena tipo Log Periódica .....	30
2.5 Antena microstrip con patch rectangular .....	32
2.6 Antena con reflectro parabólico .....	34
2.7 Antena sectorial .....	35
2.8 Antena Discónica.....	35
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE ANTENAS 38	
3.1 Cálculos para el diseño de antenas.....	38
3.1.1 Diseño de una antena tipo monopolo	38
3.1.2 Diseño de una antena tipo Dipolo	38
3.1.3 Diseño de una antena tipo microstrip con patch rectangular	39
3.1.4 Diseño de una antena tipo discónica	40
3.1.5 Diseño de una antena tipo Yagi-Uda	40
3.1.6 Diseño de una antena tipo parabólica	42
3.1.7 Diseño de una antena tipo Log Periódica	43
3.1.8 Diseño de una antena tipo Sectorial	44
3.2 Simulación.....	44
3.2.1 Introducción al software ANSYS HFSS	44
3.2.2 Simulación de la antena tipo Monopolo	45
3.2.3 Simulación de la antena tipo Dipolo	46
3.2.4 Simulación de la antena tipo microstrip con patch rectangular	47
3.2.5 Simulación de la antena tipo discónica	49
3.2.6 Simulación de la antena tipo Yagi-Uda	50
3.2.7 Simulación de la antena tipo parabólica	52
3.2.8 Simulación de la antena tipo Log Periódica	53
3.2.9 Simulación de la antena tipo Sectorial	55
CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN Y PRUEBA DE ANTENAS 57	
4.1 Antena tipo Monopolo.....	57
4.2 Antena tipo Dipolo .....	57
4.3 Antena tipo microstrip con patch rectangular.....	58
4.4 Antena tipo Discónica .....	58
4.5 Antena tipo Yagi-Uda .....	59



4.6 Antena tipo Parabólica.....	59
4.7 Antena tipo Log Periódica .....	60
4.8 Antena tipo Sectorial .....	60
CAPÍTULO 5: CONCEPTOS DE REALIDAD AUMENTADA 61	
5.1 Definición de Realidad aumentada.....	61
5.2 Ventajas y desventajas del uso de realidad aumentada.....	61
5.3 Historia de la realidad aumentada.....	62
5.4 Arquitectura de la realidad aumentada.....	63
5.5 Niveles de realidad aumentada .....	64
5.6 Aplicaciones de la realidad aumentada en la vida real.....	65
5.6.1 AR en educación	65
5.6.2 AR en ingeniería	67
CAPÍTULO 6: VISUALIZACIÓN DE PATRONES DE RADIACIÓN Y PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS 69	
6.1 Unity 3D Game Engine .....	70
6.1.1 Creación de un proyecto en Unity	70
6.1.2 Configuración de la plataforma	71
6.1.3 Instalación del SDK de Android	73
6.2 Vuforia Engine Developer Portal.....	75
6.2.1 Creación de una cuenta en Vuforia Engine Developer Portal	75
6.2.2 Creación de targets	80
6.2.3 Creación de una base de datos en Vuforia Engine	84
6.3 Generación de objetos con realidad aumentada.....	88
6.3.1 Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo dipolo	89
6.3.2 Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo Yagi-Uda99	
6.3.3 Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo parabólica	100
6.3.4 Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo patch rectangular	101
6.4 Desarrollo de la aplicación móvil para la plataforma android.....	102
6.4.1 Interfaz gráfica para la antena tipo dipolo	102
6.4.2 Interfaz gráfica para la antena tipo Yagi-Uda	115
6.4.3 Interfaz gráfica para la antena tipo parabólica	116

6.4.4 Interfaz gráfica para la antena tipo patch rectangular	116
6.5 Exportación de la aplicación compatible con el sistema operativo Android.....	117
6.6 Exportación de la aplicación compatible con el sistema operativo iOS .....	121
6.7 Resultados obtenidos para la plataforma Android.....	126
6.8 Resultados obtenidos para la plataforma iOS.....	130
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Lóbulos del patrón de radiación</i> .....	21
Figura 1.2 <i>Regiones de campo alrededor de una antena</i> .....	22
Figura 1.3 <i>Anchos de haz en un patrón de radiación</i> .....	24
Figura 1.4 <i>Antena en modo de transmisión</i> .....	25
Figura 2.1 <i>Antena tipo dipolo para radiocomunicaciones</i> .....	28
Figura 2.2 <i>Antena tipo monopolo para aplicaciones de radiodifusión</i> .....	29
Figura 2.3 <i>Composición básica de la antena Yagi-Uda</i> .....	30
Figura 2.4 <i>Antena tipo Yagi-Uda para aplicaciones de televisión</i> .....	30
Figura 2.5 <i>Antena Log Periódica como un arreglo dipolar</i> .....	31
Figura 2.6 <i>Antena tipo Log Periódica para aplicaciones de radiocomunicación</i> .....	32
Figura 2.7 <i>Antena microstrip</i> .....	32
Figura 2.8 <i>Configuraciones del elemento patch</i> .....	33
Figura 2.9 <i>Antena tipo patch rectangular</i> .....	34
Figura 2.10 <i>Antena con reflector parabólico para aplicaciones de televisión satelital</i> .....	35
Figura 2.11 <i>Antena tipo sectorial para aplicaciones de comunicación móvil</i> .....	35
Figura 2.12 <i>Geometría de una antena discónica</i> .....	36
Figura 2.13 <i>Cono con elementos discretos</i> .....	36
Figura 2.14 <i>Antena tipo discónica para aplicaciones de radiocomunicación</i> .....	37
Figura 3.1 <i>Antena tipo monopolo simulada en el software HFSS</i> .....	45
Figura 3.2 <i>Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo monopolo: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D</i> .....	46
Figura 3.3 <i>Antena tipo dipolo simulada en el software HFSS</i> .....	46
Figura 3.4 <i>Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo dipolo: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D</i> .....	47
Figura 3.5 <i>Antena tipo microstrip con patch rectangular simulada en el software HFSS</i> .....	48
Figura 3.6 <i>Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo microstrip con patch rectangular: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D</i> .....	49
Figura 3.7 <i>Antena tipo discónica simulada en el software HFSS</i> .....	49

Figura 3.8 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo discónica: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D .....	50
Figura 3.9 Antena tipo Yagi-Uda simulada en el software HFSS.....	51
Figura 3.10 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo Yagi-Uda: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D .....	52
Figura 3.11 Antena tipo parabólica simulada en el software HFSS .....	52
Figura 3.12 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo parabólica: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D .....	53
Figura 3.13 Antena tipo Log Periódica simulada en el software HFSS.....	54
Figura 3.14 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo Log Periódica: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D .....	55
Figura 3.15 Antena tipo Sectorial simulada en el software HFSS .....	55
Figura 3.16 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo Sectorial: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D .....	56
Figura 5.1 Arquitectura de sistemas AR .....	64
Figura 5.2 (a) Nivel 0: Código de barras y QR [13], (b) Nivel 1: Patrón en escala de grises, fuente autor, (c) Nivel 2: Sistema de GPS [16], (d) Nivel 3: Visualización de patrones en Unity .....	65
Figura 5.3 Usuario visualizando Magic Book .....	66
Figura 5.4 MIT immersion lab .....	66
Figura 5.5 Laboratorio de Talentum School .....	66
Figura 5.6 AR para estructuras de construcción .....	67
Figura 5.7 Torre de alta tensión mediante AR .....	67
Figura 5.8 Placa de circuito de microcontrolador mediante AR.....	68
Figura 6.1 Entorno de desarrollo de Unity .....	70
Figura 6.2 Procedimiento para la creación de un proyecto en Unity .....	71
Figura 6.3 Ventana para la selección de plataforma del proyecto .....	71
Figura 6.4 Ventana de configuración Inspector .....	72
Figura 6.5 Configuración del nombre del paquete de la aplicación para Android.....	72
Figura 6.6 Configuración de la plataforma Unity para realidad aumentada .....	72

Figura 6.7 Configuración del SDK de Android en el software Unity .....	73
Figura 6.8 Página web generada para la descarga de Android Studio .....	74
Figura 6.9 Ruta de localización del SDK de Android en el ordenador .....	74
Figura 6.10 Asignación de la ruta del SDK de Android en la plataforma Unity.....	75
Figura 6.11 Entorno de desarrollo Vuforia .....	75
Figura 6.12 Registro y creación de cuenta en la plataforma Vuforia.....	76
Figura 6.13 Correo electrónico de confirmación de registro en la plataforma Vuforia .....	77
Figura 6.14 Inicio de sesión en la plataforma Vuforia.....	77
Figura 6.15 Procedimiento para la obtención de una licencia en la plataforma Vuforia .....	78
Figura 6.16 Licencia generada .....	78
Figura 6.17 Clave de licencia generada.....	79
Figura 6.18 Configuración de Vuforia Engine en el software Unity .....	79
Figura 6.19 Licencia añadida en el software Unity .....	80
Figura 6.20: Código QR asignado a una antena tipo dipolo .....	81
Figura 6.21 Código QR asignado a una antena tipo log periódica.....	81
Figura 6.22 Código QR asignado a una antena tipo parabólica .....	82
Figura 6.23 Código QR asignado a una antena tipo discónica.....	82
Figura 6.24 Código QR asignado a una antena tipo monopolo .....	83
Figura 6.25 Código QR asignado a una antena tipo patch rectangular.....	83
Figura 6.26 Código QR asignado a una antena tipo Yagi-Uda.....	84
Figura 6.27 Código QR asignado a una antena tipo sectorial.....	84
Figura 6.28 Procedimiento para crear una base de datos en la plataforma Vuforia.....	85
Figura 6.29 Creando una base de datos en Vuforia .....	85
Figura 6.30 Base de datos creada en la plataforma Vuforia .....	85
Figura 6.31 Procedimiento para cargar en la base de datos el código QR de una antena tipo dipolo .....	86
Figura 6.32 Códigos QR de las ocho antenas propuestas cargados en la base de datos en la plataforma Vuforia .....	86
Figura 6.33 Procedimiento para realizar la descarga de la base de datos desde la plataforma Vuforia.....	87
Figura 6.34 Opciones para abrir o guardar la base de datos generada en la plataforma Vuforia.....	87

Figura 6.35 Importación de la base de datos en el software Unity.....	88
Figura 6.36 Procedimiento para generar objetos con realidad aumentada .....	89
Figura 6.37 Exportación del modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo .....	90
Figura 6.38 Generación del archivo VRML del patrón de radiación de la antena dipolo .....	90
Figura 6.39 Importación del modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo .....	91
Figura 6.40 Modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo en el software Blender	91
Figura 6.41 Generación del archivo .blend del patrón de radiación de la antena dipolo .....	92
Figura 6.42 Archivos con extensión .blend y .wrl dentro de una misma carpeta .....	92
Figura 6.43 Creación de la carpeta para almacenar los objetos 3D de los patrones de radiación de las antenas propuestas .....	93
Figura 6.44 Modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo en el software Unity ...	93
Figura 6.45 Extracción del material del objeto 3D del patrón de radiación de la antena dipolo .....	94
Figura 6.46 Generación de un archivo tipo shader para asignar los colores al patrón de radiación de la antena dipolo .....	94
Figura 6.47 Código de programación utilizado para asignar los colores originales al objeto 3D del patrón de radiación de la antena tipo dipolo .....	95
Figura 6.48 Asignación del shader VertexColorsStandard al modelo del patrón de radiación de la antena dipolo .....	95
Figura 6.49 Patrón de radiación de la antena dipolo con sus colores originales .....	96
Figura 6.50 Procedimiento de generación del target para el reconocimiento del objeto.....	96
Figura 6.51 Target generado de manera aleatoria.....	97
Figura 6.52 Procedimiento para realizar el cambio del target.....	97
Figura 6.53 Target correspondiente a la antena dipolo.....	98
Figura 6.54 Modelo del patrón de radiación de la antena dipolo colocado sobre el target correspondiente .....	98
Figura 6.55 Modelo del patrón de radiación de la antena dipolo con realidad aumentada .	99
Figura 6.56 Colocación del modelo del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda en su respectivo target .....	99
Figura 6.57 Modelo del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda con realidad aumentada .....	100
Figura 6.58 Colocación del modelo del patrón de radiación de la antena parabólica en su respectivo target .....	100

Figura 6.59 <i>Modelo del patrón de radiación de la antena parabólica con realidad aumentada</i> .....	101
Figura 6.60 <i>Colocación del modelo del patrón de radiación de la antena patch rectangular en su respectivo target</i> .....	101
Figura 6.61 <i>Modelo del patrón de radiación de la antena patch rectangular con realidad aumentada</i> .....	102
Figura 6.62 <i>Procedimiento para cambiar la escena a una visualización 2D</i> .....	102
Figura 6.63 <i>Procedimiento para insertar el elemento Canvas</i> .....	103
Figura 6.64 <i>Procedimiento para insertar un panel dentro del elemento canvas</i> .....	103
Figura 6.65 <i>Configuración del color del panel</i> .....	104
Figura 6.66 <i>Procedimiento para insertar botones al panel</i> .....	104
Figura 6.67 <i>Configuración de los botones en el Canvas</i> .....	105
Figura 6.68 <i>Procedimiento para asignar la etiqueta de la antena correspondiente</i> .....	105
Figura 6.69 <i>Configuración de la etiqueta para la antena dipolo</i> .....	106
Figura 6.70 <i>Importación de los parámetros característicos de la antena dipolo</i> .....	106
Figura 6.71 <i>Procedimiento para asignar la textura tipo Sprite a las imágenes importadas</i>	107
Figura 6.72 <i>Textura Sprite asignada a las imágenes importadas</i> .....	107
Figura 6.73 <i>Procedimiento para la asignación de imágenes a cada uno de los botones</i> ....	108
Figura 6.74 <i>Procedimiento para asignar las imágenes con textura Sprite en su correspondiente botón</i> .....	108
Figura 6.75 <i>Imágenes de los parámetros característicos asignados a cada botón</i> .....	109
Figura 6.76 <i>Configuración de las dimensiones de las imágenes</i> .....	109
Figura 6.77 <i>Procedimiento para asignar funciones a cada uno de los botones</i> .....	110
Figura 6.78 <i>Procedimiento para agregar las imágenes de los parámetros característicos a los botones</i> .....	110
Figura 6.79 <i>Procedimiento para visualizar los parámetros característicos en la aplicación</i>	111
Figura 6.80 <i>Modelo del patrón de radiación de la antena dipolo junto con la interfaz gráfica desarrollada para la aplicación móvil</i> .....	111
Figura 6.81 <i>Visualización del parámetro directividad luego de seleccionar el botón correspondiente</i> .....	112
Figura 6.82 <i>Asignación de las funciones al botón Ver Parámetro S11</i> .....	112
Figura 6.83 <i>Visualización del parámetro S11 luego de seleccionar el botón correspondiente</i> .....	113

Figura 6.84 Asignación de las funciones al botón Ver Parámetro Impedancia.....	113
Figura 6.85 Visualización del parámetro impedancia luego de seleccionar el botón correspondiente .....	113
Figura 6.86 Asignación de las funciones al botón Ver Parámetro VSWR.....	114
Figura 6.87 Visualización del parámetro VSWR luego de seleccionar el botón correspondiente .....	114
Figura 6.88 Configuración de las funciones del botón Borrar Imágenes .....	115
Figura 6.89 Modelo del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda junto con la interfaz desarrollada para la aplicación móvil .....	115
Figura 6.90 Visualización de los parámetros característicos de la antena tipo Yagi-Uda: (a) S11, (b) Impedancia, (c) VSWR, (d) Directividad .....	116
Figura 6.91 Modelo del patrón de radiación de la antena parabólica junto con la interfaz gráfica desarrollada para la aplicación móvil.....	116
Figura 6.92 Visualización de los parámetros característicos de la antena tipo parabólica: (a) S11, (b) Impedancia, (c) VSWR, (d) Directividad .....	116
Figura 6.93 Modelo del patrón de radiación de la antena patch rectangular junto con la interfaz gráfica desarrollada para la aplicación móvil .....	117
Figura 6.94 Visualización de los parámetros característicos de la antena tipo patch rectangular: (a) S11, (b) Impedancia, (c) VSWR, (d) Directividad .....	117
Figura 6.95 Generación del archivo con extensión .apk.....	118
Figura 6.96 Archivo .apk generado para su funcionamiento en Android.....	118
Figura 6.97 Aplicación en el almacenamiento interno del dispositivo móvil .....	119
Figura 6.98 Mensaje de confirmación para la instalación de la aplicación en el dispositivo.....	119
Figura 6.99 Aplicación instalándose en el dispositivo .....	120
Figura 6.100 Aplicación instalada en el dispositivo .....	120
Figura 6.101 Aplicación ejecutada en el dispositivo .....	121
Figura 6.102 Mensaje de confirmación para el acceso a la cámara del dispositivo .....	121
Figura 6.103 Configuración de la cuenta de desarrollador en Unity.....	122
Figura 6.104 Configuración para la exportación del proyecto.....	123
Figura 6.105 Selección de la plataforma iOS para la exportación del proyecto .....	123
Figura 6.106 Ruta del archivo con extensión .xcodeproj en el computador .....	124
Figura 6.107 Configuración de la cuenta de desarrollador .....	124
Figura 6.108 Configuración de las versiones compatibles con la aplicación.....	125



Figura 6.109 Configuración del permiso para el uso de la cámara en el dispositivo móvil .	125
Figura 6.110 Comprobación del funcionamiento de la aplicación .....	126
Figura 6.111 Aplicación disponible para su uso en el dispositivo iOS .....	126
Figura 6.112 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo monopolo .....	127
Figura 6.113 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo Log Periódica ..	127
Figura 6.114 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo microstrip con patch rectangular: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad .....	128
Figura 6.115 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo Yagi-Uda.....	128
Figura 6.116 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo sectorial.....	129
Figura 6.117 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo dipolo.....	129
Figura 6.118 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo parabólica: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad .....	130
Figura 6.119 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo discónica.....	130
Figura 6.120 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo monopolo: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad .....	131
Figura 6.121 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo microstrip con patch rectangular.....	132
Figura 6.122 Reconocimiento el target correspondiente a la antena tipo Log Periódica ....	132
Figura 6.123 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo Yagi-Uda.....	132
Figura 6.124 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo dipolo.....	133
Figura 6.125 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo sectorial: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad .....	134
Figura 6.126 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo discónica.....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Dimensiones características para una antena discónica trabajando en 90 y 200 MHz.....	37
Tabla 4.1 Resultados obtenidos para la antena tipo Monopolo .....	57
Tabla 4.2 Resultados obtenidos para la antena tipo Dipolo .....	58
Tabla 4.3 Resultados obtenidos para la antena tipo microstrip con patch rectangular.....	58

Tabla 4.4 <i>Resultados obtenidos para la antena tipo Discónica</i> .....	59
Tabla 4.5 <i>Resultados obtenidos para la antena tipo Yagi-Uda</i> .....	59
Tabla 4.6 <i>Resultados obtenidos para la antena tipo Yagi-Uda</i> .....	59
Tabla 4.7 <i>Resultados obtenidos para la antena tipo Log Periódica</i> .....	60
Tabla 4.8 <i>Resultados obtenidos para la antena tipo Sectorial</i> .....	60

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad la integración de una tecnología conocida como realidad aumentada en el ámbito de la educación superior, en el área de las telecomunicaciones, específicamente en el estudio de la teoría de antenas. Se busca la creación de un ambiente interactivo humano-virtual al momento de analizar los parámetros fundamentales que poseen cada una de las antenas, valiéndonos del uso de dispositivos móviles, con el objeto de mejorar el aprendizaje y la comprensión de parámetros característicos que pueden resultar abstractos o difíciles de imaginar cómo es el caso de los patrones de radiación de antenas.

Mediante el reconocimiento de imágenes, conocidos como targets, y a través del uso de la cámara de un dispositivo móvil se observará en pantalla el modelo del patrón de radiación en 3D de antenas predefinidas. Cada una de estas antenas está asociada a un target diferente en forma de código QR para su reconocimiento.

Para el desarrollo de la aplicación móvil, la metodología aplicada parte desde la simulación de las antenas predefinidas mediante el uso del software Ansys HFSS. Para ello, se deben tomar en cuenta valores reales de los parámetros físicos de las antenas, de las cuales se obtiene el patrón de radiación y los parámetros característicos tales como: S11, VSWR, impedancia y directividad. Una vez que se han obtenido los resultados deseados, se procederá al uso de un software distinto para la aplicación de la realidad aumentada en cada uno de los patrones de radiación obtenidos de las antenas antes simuladas. Este software se denomina Unity.

Para la generación de la aplicación móvil se utilizarán softwares compatibles con los sistemas operativos iOS y Android, tales como Xcode y Android Studio. Estos programas permiten generar un archivo del tipo .apk, el cual deberá ser instalado en dispositivos móviles de las plataformas antes mencionadas.

Finalmente, el resultado de la metodología aplicada será la obtención de una aplicación móvil para visualizar el modelo del patrón de radiación en 3D con realidad aumentada de diferentes antenas predefinidas junto con una interfaz gráfica en la que se puede acceder a sus parámetros característicos en forma de imágenes a través del uso de botones.

## INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del proyecto, se debe partir desde el diseño de las diferentes antenas propuestas mediante el uso del software Ansys HFSS. Al simular cada una de las antenas en dicho programa, se obtendrán los parámetros característicos deseados, entre ellos, el modelo del patrón de radiación en tres dimensiones, el cual será visualizado con realidad aumentada.

Para aplicar la tecnología de realidad aumentada sobre un objeto es necesario el uso de una plataforma denominada Vuforia, en la que se generará una base de datos que contiene los diferentes targets en forma de códigos QR asociados a cada una de las antenas propuestas y sobre los cuales se presentará el modelo del patrón de radiación respectivo.

Posterior al paso anterior, se recomienda utilizar el software Unity, el cual trabaja junto con Vuforia para ubicar los objetos 3D de los patrones de radiación de las antenas sobre los

diferentes targets generados y visualizarlos con realidad aumentada. Además, Unity posee herramientas para el desarrollo de aplicaciones móviles con interfaces gráficas para su posterior instalación en dispositivos con sistemas operativos tanto de Android como iOS.

El usuario que disponga de la aplicación móvil instalada en un celular o Tablet, podrá visualizar a través de la cámara los patrones de radiación con realidad aumentada de las antenas propuestas apuntando sobre el target en forma de código QR. Inmediatamente en pantalla se presentará una interfaz gráfica que permite acceder a los parámetros característicos de la antena junto con el modelo 3D del patrón de radiación respectivo.

## ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

Según la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), el 46.4% de la población del Ecuador cuenta con Smartphones y 6 de cada 100 niños, entre 5 a 15 años, los usan [1]. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el 57.4% de personas entre 16 y 24 años poseen un teléfono inteligente [2].

Debido a los porcentajes anteriores, el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son importantes para mejorar la experiencia educativa y disminuir la curva de aprendizaje en materias relacionadas con la ingeniería [3], [4]. En la actualidad se ha implementado el aprendizaje online que permite al usuario acceder a una plataforma o aplicaciones móviles de manera fácil y didáctica [5]. Al combinar las aplicaciones móviles y el uso de las TICs, la educación gira entorno de la difusión de conocimiento mediante el Smartphones por lo que se coloca ejemplos puntuales sobre el uso de herramientas tecnológicas con fines didácticos [6].

En relación con la educación universitaria, específicamente en el ámbito de la ingeniería, existen varios problemas relacionados con la imposibilidad de observar fenómenos físicos que no son fácilmente representables en una pizarra. Como soporte didáctico, se han utilizado varias herramientas tales como la proyección de imágenes, la construcción de modelos 3D, la realidad virtual, y uno que últimamente ha tenido especial atención que es la realidad aumentada. El uso de realidad aumentada permite que cada uno de los estudiantes pueda combinar las apps de los celulares con recursos escritos, logrando así mejorar la experiencia educativa.

Estas estrategias han demostrado mejorar notablemente el aprendizaje en asignaturas básicas. Sin embargo, no han sido explotadas en el área de la electrónica y las telecomunicaciones donde los fenómenos son invisibles e incluso complicados de imaginar.

Dentro del diseño de antenas, observar los parámetros característicos resulta un proceso complejo. A nivel de simulación es preciso contar con software especializados o en su defecto, tener una base matemática y de programación bastante extensa para obtener las gráficas que nos permitan comprender cabalmente el comportamiento de una antena. Por otro lado, físicamente no se puede observar los patrones de radiación ni otros parámetros característicos, para eso se requiere una serie de equipos para tomar mediciones y obtener una representación gráfica aproximada.

Actualmente no existe una herramienta que facilite la observación de las características de los diferentes tipos de antenas existentes. Su desarrollo facilitaría notablemente la comprensión de los fenómenos físicos presentes en una antena.

## JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

La falta de herramientas tecnológicas en la enseñanza de la ingeniería motiva a que constantemente los investigadores y desarrollares generen numerosos gadgets orientados a brindar soporte tanto a docentes como alumnos. Dentro de las opciones tecnológicas existentes en la actualidad, una que es relativamente nueva y que ha mostrado una gran aceptación, es la realidad aumentada. Gracias a esta tecnología es posible mostrar características que anteriormente no era posible observar y puede combinarse con elementos reales.

Como es bien conocido, la ingeniería es una carrera especialmente demandante por toda la cantidad de fenómenos físicos y modelos matemáticos que se estudian; muchos de estos son difíciles de observar, representar gráficamente y, en algunos casos, imaginar. Dentro del área de las telecomunicaciones, es prácticamente imposible observar la transmisión de una onda electromagnética. Junto con esto, existen otros procesos que no son observables y por ende imaginarlos también requieren una estructura de pensamiento más compleja. No todos los estudiantes pueden desarrollar estas habilidades de manera inmediata y un soporte tecnológico representaría una excelente manera de ayudarlos en el proceso. De hecho, el uso de herramientas audiovisuales facilita el trabajo de crear una concepción real del comportamiento de los elementos presentes en las telecomunicaciones.

Por tal motivo se plantea el desarrollo de una herramienta basada en realidad aumentada para la observación del patrón de radiación de las antenas y otros parámetros característicos. Esto facilitará la enseñanza de la teoría de antenas e incluso permitirá a otras personas, que no tienen un profundo conocimiento de ingeniería, comprender el funcionamiento físico de los equipos de telecomunicaciones. De esta manera se generará un aporte a mejorar el proceso educativo insertando herramientas tecnológicas, al mismo tiempo que demostramos que nuestra universidad sigue apuntando a respuestas

innovadoras como siempre lo ha hecho y motivo por el cuál somos conocidos de manera local, nacional e internacional [2].

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una aplicación móvil con realidad aumentada para visualizar el patrón de radiación con modelamiento 3D y los parámetros característicos de antenas predefinidas, como un soporte didáctico para la enseñanza de la teoría de antenas.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar un estado del arte de los principales tipos de antenas que se estudian en pregrado y de los nuevos modelos que se han desarrollado durante los últimos años.
2. Obtener el modelo en 3D del patrón de radiación y parámetros característicos mediante el uso del software de simulación ANSYS HFSS, de las diferentes antenas que dispone el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.
3. Integrar los softwares de diseño matemático, diseño gráfico y desarrollo de apps, planteando un proceso claro y definido que pueda replicarse en otros modelos de antenas diferentes.
4. Diseñar e implementar una aplicación móvil, compatible con los sistemas operativos Android e IOS, que permita observar tanto el patrón de radiación con modelamiento 3D y los parámetros característicos (pérdidas de retorno, impedancia, VSWR, ganancia, directividad) de diferentes antenas predefinidas disponibles en el laboratorio de Telecomunicaciones mediante el uso de realidad aumentada.
5. Desarrollar una guía enfocada a la enseñanza de parámetros de las antenas con un breve sustento teórico acompañado por el respaldo tecnológico de la aplicación de realidad aumentada, para la observación de los patrones de radiación y otros parámetros característicos.

# CAPÍTULO 1: CONCEPTOS DE ANTENAS

Se define a una antena como una estructura metálica o medio utilizado para radiar o receptor ondas electromagnéticas. Se la considera también como un transductor, capaz de transformar ondas de radio en ondas eléctricas y viceversa [7] [8].

Parámetros fundamentales de Antenas

## 1. Patrón de radiación

El patrón de radiación es la representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena como una función matemática en coordenadas espaciales. Entre las propiedades de radiación se incluyen: densidad de flujo de potencia, intensidad de radiación, intensidad de campo, directividad, fase o polarización [7].

## 1. LÓBULOS DEL PATRÓN DE RADIACIÓN

Un lóbulo del patrón de radiación es una porción delimitada por regiones que poseen una menor intensidad de radiación. Los lóbulos pueden subclasificarse en: mayor o principal, menor, lateral y posterior [7].

1. Un lóbulo mayor, también llamado haz principal se define como la dirección que contiene la máxima radiación [7].
2. Un lóbulo menor es cualquier lóbulo, excepto el lóbulo mayor [7].
3. Un lóbulo lateral es un lóbulo de radiación en cualquier otra dirección, generalmente adyacente al lóbulo mayor [7].
4. Un lóbulo posterior es un lóbulo de radiación menor que ocupa una dirección opuesta al lóbulo mayor [7].



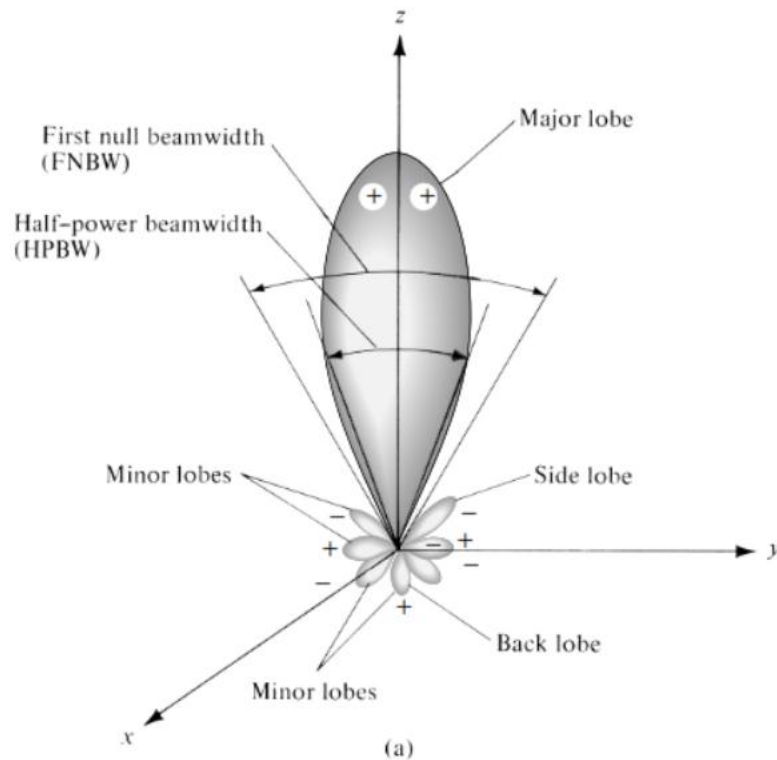


Figura 1.1 Lóbulos del patrón de radiación  
Fuente: Obtenido en [7]

#### PATRONES ISOTRÓPICOS, DIRECCIONALES Y OMNIDIRECCIONALES

1. Un radiador isotrópico se define como una hipotética antena ideal, sin pérdidas. Por lo tanto, un patrón de radiación isotrópico es aquel cuya intensidad de radiación es la misma en todas las direcciones [7] [9].
2. Una antena direccional tiene la propiedad de radiar o recibir ondas electromagnéticas de manera más eficiente en una dirección que en otras. Por lo tanto, un patrón de radiación direccional en una determinada dirección produce una mayor intensidad de radiación [7] [9].
3. Un patrón omnidireccional se define como un patrón no direccional en un plano dado pero direccional en algún plano ortogonal al anterior [7] [9].

#### REGIONES DE CAMPO

El espacio que rodea una antena se divide en tres regiones: campo cercano reactivo, campo cercano radiante y campo lejano [7].

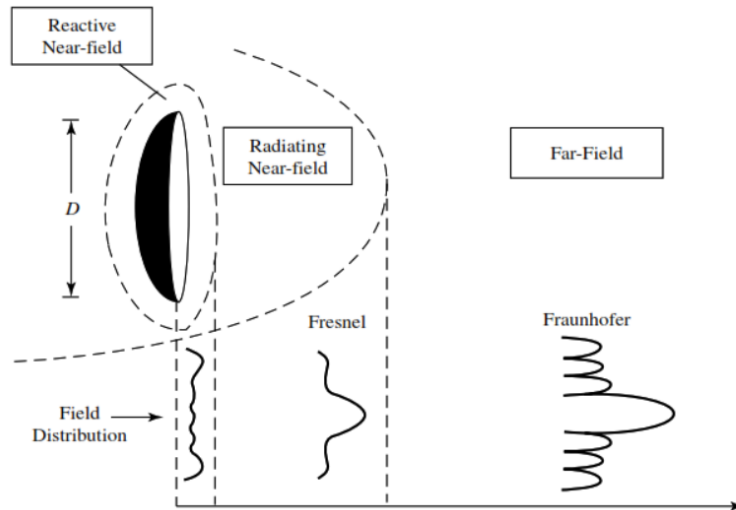


Figura 1.2 Regiones de campo alrededor de una antena

Fuente: *Obtenido en [7]*

1. La región de campo cercano reactivo se define como una región que rodea inmediatamente a una antena donde predomina el campo reactivo. Esta región existe a una distancia de  $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$  desde la superficie de la antena, donde  $D$  representa la dimensión más grande de la antena [7].
2. La región de campo cercano radiante o región de Fresnel se define como una región del campo ubicada entre la región de campo cercano reactiva y la región de campo lejano donde predomina la radiación de campo. El límite inferior es tomado a una distancia de  $R \geq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$  y el límite superior a una distancia  $R < \frac{2D^2}{\lambda}$  [7].
3. La región de campo lejano o región Fraunhofer se define como la región de campo de una antena donde la distribución de campo angular es independiente de la distancia desde la antena. La región de campo lejano existe a una distancia superior que  $\frac{2D^2}{\lambda}$  [7].

#### Densidad de potencia de radiación

Las ondas electromagnéticas transportan información a través de un medio inalámbrico o una estructura guiada desde un lugar hacia otro. La densidad de potencia de una onda electromagnética puede definirse a través del vector de Poynting [7] [9].

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$$

El cual representa la potencia por unidad de área dentro de un campo electromagnético, donde:

$\vec{P}$ : Vector de Poynting o densidad instantánea de potencia  $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

$\vec{E}$ : Vector intensidad de campo eléctrico instantáneo  $\left(\frac{V}{m}\right)$ .

$\vec{H}$ : Vector intensidad de campo magnético instantáneo  $\left(\frac{A}{m}\right)$ .

El vector de Poynting o densidad instantánea de potencia se compone de dos partes: una real y una imaginaria. La parte real representa la densidad de potencia promedio radiada y es aquella densidad de potencia que la antena radia y corresponde a un flujo de potencia que atraviesa una unidad de área esférica [9].

$$\vec{P}_{rad} = \frac{1}{2} Re(\vec{E} \times \vec{H}) \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

La parte imaginaria representa la densidad de potencia promedio reactiva la cual corresponde a aquella potencia que se disipa alrededor de la antena en forma de calor [9].

$$\vec{P}_{reac} = \frac{1}{2} Im(\vec{E} \times \vec{H})$$

Intensidad de radiación

La intensidad de radiación de una antena se define como la potencia radiada por unidad de ángulo sólido. La intensidad de radiación es un parámetro de campo lejano y se encuentra expresado matemáticamente como [7]:

$$U = r^2 P_{rad}$$

Donde:

$U$ : Intensidad de radiación  $\left(\frac{W}{\text{unidad de ángulo sólido}}\right)$

$P_{rad}$ : Densidad de radiación  $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

A partir de la intensidad de radiación se puede calcular la potencia total radiada por una antena [9]:

$$P_{rad} = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U \sin(\theta) d\theta d\phi$$

Ancho de haz

El ancho de haz se define como la separación angular entre dos puntos idénticos en lados opuestos del patrón de radiación máximo. En un patrón de antena existen varios anchos de haz, pero el más usado se lo conoce como Ancho de Haz de Media Potencia (HPBW por sus siglas en inglés Half-Power Beamwidth) el cual se define como el ángulo entre dos direcciones en las cuales la intensidad de radiación es la mitad del valor del haz. Otro ancho de haz importante es la separación angular entre los primeros nulos del patrón y se lo conoce como Ancho de Haz del Primer Nulo (FNBW por sus siglas en inglés First-Null Beamwidth) [7].

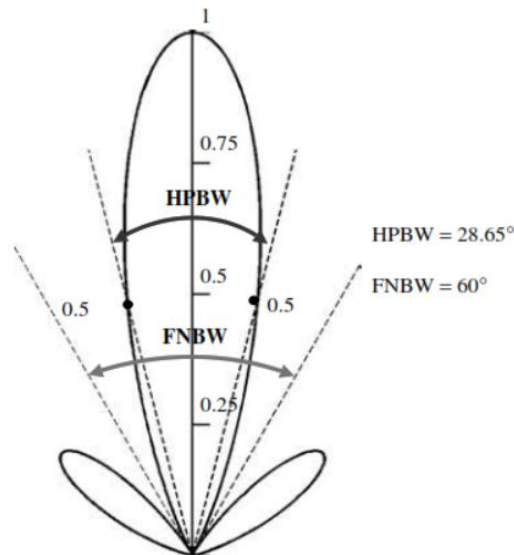


Figura 1.3 Anchos de haz en un patrón de radiación  
Fuente: *Obtenido en [7]*

### Directividad

Según la IEEE, la directividad de una antena se define como: “relación entre la intensidad de radiación en una dirección dada desde la antena y la intensidad promedio radiada en todas las direcciones” [9].

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}}$$

En el caso que la dirección no se encuentra especificada, la intensidad de radiación máxima o directividad máxima se expresa como [9]:

$$D_{max} = D_0 = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}$$

Donde:

$D$ : Directividad (adimensional).

$D_0$ : Directividad máxima (adimensional).

$U$ : Intensidad de radiación  $\left(\frac{W}{\text{unidad de ángulo sólido}}\right)$

$U_{max}$ : Intensidad de radiación máxima  $\left(\frac{W}{\text{unidad de ángulo sólido}}\right)$

$U_0$ : Intensidad de radiación de una fuente isotrópica  $\left(\frac{W}{\text{unidad de ángulo sólido}}\right)$

$P_{rad}$ : Potencia radiada total ( $W$ )

### Eficiencia de una antena

La eficiencia de una antena es un parámetro para determinar las pérdidas existentes tanto en los terminales de entrada como dentro de la estructura de la antena. En general, la eficiencia puede escribirse como [7]:

$$e_0 = e_r e_c e_d$$

Donde:

$e_0$ : Eficiencia total (sin dimensiones)

$e_r$ : Eficiencia de reflexión =  $(1 - |\Gamma|^2)$  (sin dimensiones)

$e_c$ : Eficiencia de conducción (sin dimensiones)

$e_d$ : Eficiencia dieléctrica (sin dimensiones)

$\Gamma$ : Coeficiente de reflexión de voltaje en los terminales de entrada de la antena  $\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$

donde  $Z_{in}$  representa la impedancia de entrada de la antena y  $Z_0$  es la impedancia característica de la línea de transmisión [7].

VSWR: Relación de voltaje de onda estacionaria =  $\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$  [7].

### Ganancia

La ganancia es un parámetro que mide la eficiencia de una antena. Existen dos tipos de ganancia: absoluta y relativa [9].

1. Ganancia absoluta: Relación entre la intensidad de radiación que sale de una antena en una dirección determinada y la intensidad total de potencia a la entrada de la antena. Matemáticamente se expresa como [7] [9]:

$$Ganancia = 4\pi \frac{\text{intensidad de radiación}}{\text{potencia total de entrada}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \text{ (adimensional)}$$

2. Ganancia relativa: Relación entre la ganancia de la antena en una dirección dada y la ganancia de una antena de referencia [9].

### Ancho de banda

El ancho de banda se define como el rango de frecuencias en el cual la antena se ajusta a un estándar especificado. Todas las antenas están limitadas a operar en una banda o margen de frecuencias [9].

### Impedancia de entrada

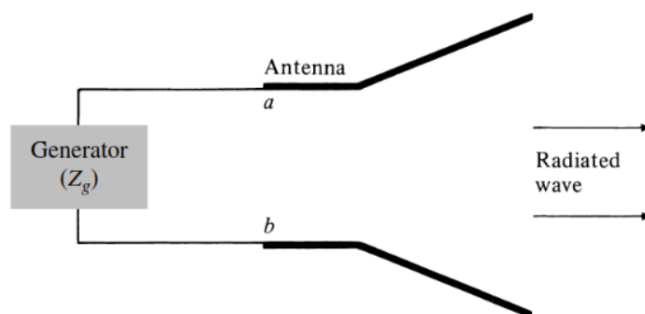


Figura 1.4 Antena en modo de transmisión

Fuente: *Obtenido en [7]*

La impedancia de entrada se define como la impedancia presente en los terminales de una antena. La relación de voltaje y corriente en los terminales sin carga adjunta se define como [7] [9]:

$$Z_A = R_A + jX_A$$

Donde:

$Z_A$ : Impedancia de la antena en los terminales  $a - b$  (*ohms*)

$R_A$ : Resistencia de la antena en los terminales  $a - b$  (*ohms*)

$X_A$ : Reactancia de la antena en los terminales  $a - b$  (*ohms*)

Parámetro  $S_{11}$

En un sistema de comunicación, los puertos o terminales de radio se definen como el lugar en donde se suministra la energía a una antena. Por lo tanto, el parámetro  $S_{11}$  representa la cantidad de potencia que se refleja desde la antena. A este parámetro también se lo conoce como coeficiente de reflexión ( $\Gamma$ ) o pérdida de retorno [8].

$$S_{11} = 10 \log \left( \frac{P_i}{P_r} \right)$$

Donde:

$P_i$ : Potencia incidente

$P_r$ : Potencia reflejada



## CAPÍTULO 2: TIPOS DE ANTENAS

### Antena Dipolo

Una antena dipolo es considerada como una estructura radiadora de ondas electromagnéticas, la cual está conformada por dos elementos conductores lineales [9]. Esta antena cuenta con una alimentación central empleada para transmitir o recibir señales. Las antenas dipolo se pueden encontrar en la mayoría de los servicios de telecomunicaciones, principalmente en arreglos de antenas utilizados en aplicaciones como: transmisión de señales de televisión, radiodifusión FM, servicios de radio móvil y comunicaciones militares [7].

Para el diseño de una antena dipolo se debe tomar en cuenta la longitud de onda  $\lambda$ , donde  $\lambda = \frac{c}{f}$ , es decir, la relación entre la velocidad de la luz ( $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ ) y la frecuencia de operación de la antena. Dependiendo de los requerimientos, la antena puede situarse de manera vertical u horizontal con respecto a la superficie terrestre, su patrón de radiación es un diagrama omnidireccional.



Figura 2.5 Antena tipo dipolo para radiocomunicaciones

**Fuente:** <http://www.broadcast-transmitter.com/high-power-broadband-fm-dipole-antenna.html>  
Antena Monopolo

Un monopolo tiene relación directa con el dipolo pues está conformado por un solo polo del correspondiente dipolo, generalmente montada perpendicularmente sobre un plano de tierra. A partir de un dipolo de  $\frac{\lambda}{2}$  se obtiene un monopolo de  $\frac{\lambda}{4}$ , el cual es la mitad



del dipolo. El patrón de radiación de la antena monopolo es un diagrama omnidireccional [9].

Los radiadores de las estaciones de radiodifusión AM y las antenas para comunicaciones móviles son aplicaciones del monopolo  $\frac{\lambda}{4}$  [9]. La impedancia de entrada de un monopolo equivale a la mitad de la impedancia de entrada del dipolo asociado a él. Matemáticamente se tiene [9]:

$$\begin{aligned} Z_{in} \left( \text{monopolo } \frac{\lambda}{4} \right) &= \frac{1}{2} Z_{in} \left( \text{dipolo } \frac{\lambda}{2} \right) = \frac{1}{2} (73 + j42.5) \\ &= 36.5 + j21.25 \Omega \end{aligned}$$

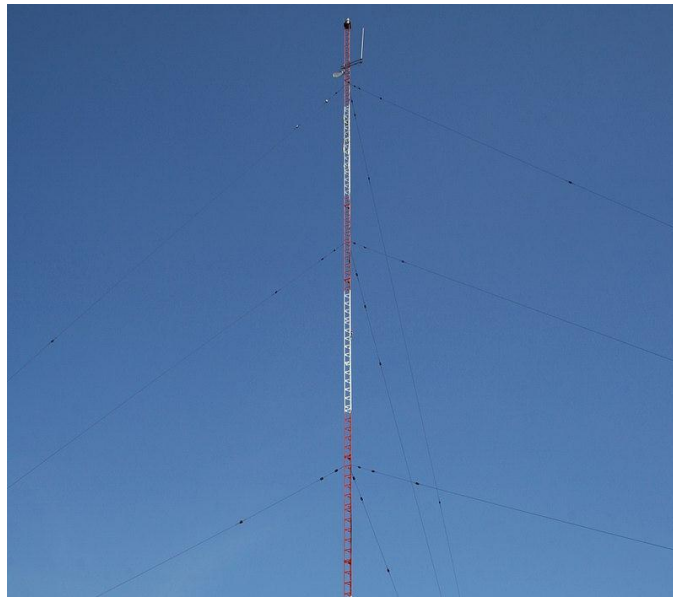


Figura 2.6 Antena tipo monopolo para aplicaciones de radiodifusión

Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/Monopole\\_antenna#/media/File:2008-07-28\\_Mast\\_radiator.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Monopole_antenna#/media/File:2008-07-28_Mast_radiator.jpg)

#### Antena Yagi-Uda

Es una de las antenas más utilizadas en sistemas de radiocomunicación, especialmente para la recepción de la señal de televisión. La antena Yagi Uda está conformada de los siguientes elementos [9]:

1. Un elemento excitador, cuya longitud de onda para resonancia está entre:  $0.45\lambda$  a  $0.49\lambda$  [9].
2. Uno o algunos elementos reflectores cuya longitud de onda para resonancia está entre:  $0.50\lambda$  a  $0.51\lambda$  [9].
3. Uno o varios elementos directores cuya longitud de onda para resonancia está entre:  $0.40\lambda$  a  $0.45\lambda$  [9].

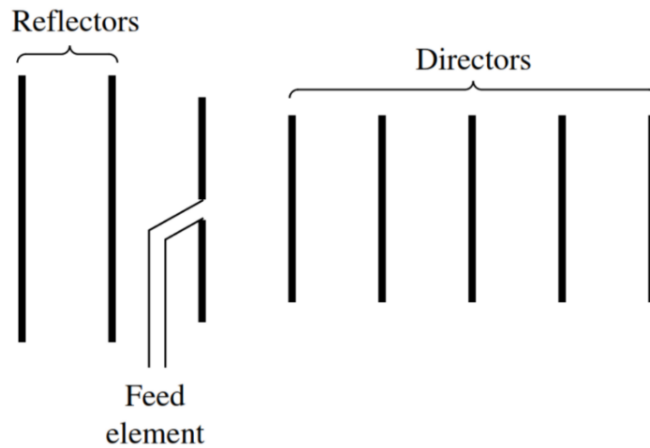


Figura 2.7 Composición básica de la antena Yagi-Uda

Fuente: Obtenido en [7]

Para la separación entre los diferentes elementos se tienen en cuenta los siguientes valores típicos [9]:

1.  $0.25\lambda$  entre el elemento excitador y el elemento reflector más cercano [9].
2.  $0.30\lambda$  entre el elemento excitador y el elemento director más cercano [9].
3.  $0.30\lambda$  a  $0.40\lambda$  entre los diferentes elementos directores [9].



Figura 2.8 Antena tipo Yagi-Uda para aplicaciones de televisión

Fuente: <https://semsite.wordpress.com/2016/12/13/yagi-uda-antenna/>

#### Antena tipo Log Periódica

Es un tipo de configuración de antena independiente de la frecuencia, pero dependiente de su geometría especificada en términos de ángulos [9]. Estas antenas son utilizadas en el rango de frecuencias entre 10-10000 MHz para aplicaciones como: televisión, comunicaciones punto a punto, alimentadores para reflectores, etc. [7].

La geometría de una antena log periódica depende de su ángulo de apertura  $\alpha$  y su estructura más popular consiste de una secuencia de dipolos colocados paralelamente uno a continuación de otro formando de esta manera un arreglo coplanar [7].

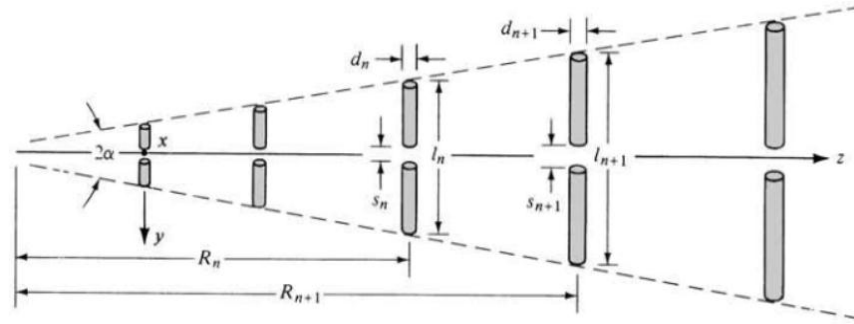


Figura 2.9 Antena Log Periódica como un arreglo dipolar

Fuente: Obtenido en [7]

Las principales características geométricas y dimensionales de la antena log periódica son [9]:

1. Factor geométrico:  $k_1 = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n}$
2. Factor de expansión:  $\sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}}$
3. Ángulo de apertura (expansión):  $\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{1 - \frac{1}{k_1}}{4\alpha} \right]$
4. Ancho de banda:  $B_a = 1.1 + 7.7 \left(1 - \frac{1}{k_1}\right)^2 \cot(\alpha)$
5. Ancho de banda deseado:  $B_s = BB_a$ , donde  $B$  es la relación entre la frecuencia superior y la frecuencia inferior de operación.
6. Longitud total del arreglo:  $L = \frac{\lambda_{max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot(\alpha)$ , donde  $\lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}}$
7. Número de pares de elementos:  $N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln(k_1)}$
8. Impedancia característica promediada:  $Z_a = 120 \left[ \ln \left( \frac{l_n}{d_n} \right) - 2.25 \right]$
9. Espacio entre los dos primeros elementos:  $S = d_{max} \cosh \left( \frac{Z_0}{120} \right)$ , donde  $d_{max}$  representa el diámetro del par de elementos finales.
10. Factor promedio de expansión:  $\alpha' = \frac{\alpha}{\sqrt{\frac{1}{k_1}}}$



Figura 2.10 Antena tipo Log Periódica para aplicaciones de radiocomunicación  
 Fuente: <http://www.amateur-radio-antenna.com/images/lpda4004000mhz.jpg>

### Antena microstrip con patch rectangular

Una antena del tipo microstrip es conocida comúnmente como antena patch. Estas antenas tienen la característica principal que pueden ser impresas sobre una placa de circuito, lo que a su vez las hace que sean de fácil fabricación y a costos relativamente bajos [9].

La estructura básica de una antena microstrip consta de: un patch (parche) metálico muy delgado ( $t \ll \lambda$ ), colocado sobre una lámina dieléctrica ( $h \ll \lambda$ , entre  $0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$ ) con una constante dieléctrica entre  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ , la cual se encuentra sobre una lámina metálica que sirve como plano de tierra. El elemento patch puede tener diferentes configuraciones como: cuadrado, rectangular, circular, triangular, entre otras [9].

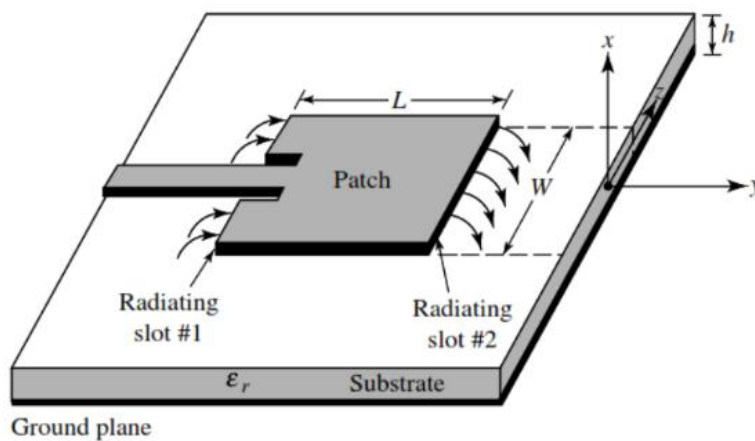


Figura 2.11 Antena microstrip

Fuente: Obtenido en [7]

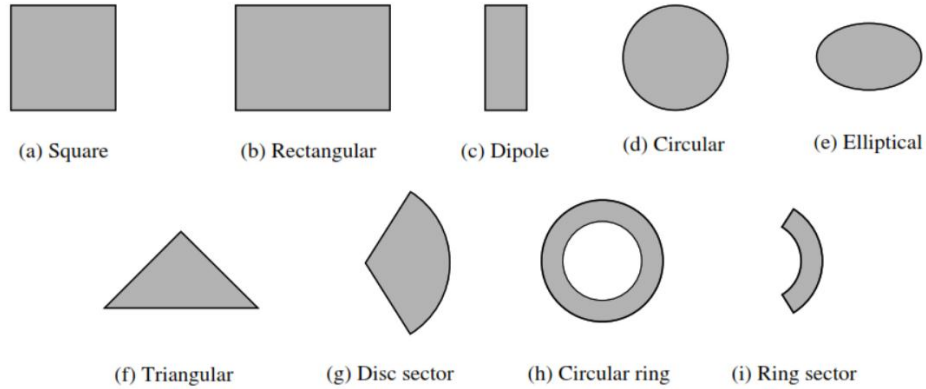


Figura 2.12 Configuraciones del elemento patch

Fuente: Obtenido en [7]

Para el diseño de una antena microstrip con patch rectangular se debe seguir los siguientes pasos con un conocimiento previo de los parámetros:  $\epsilon_r$ ,  $f_r$  y  $h$  para determinar las dimensiones  $W$  y  $L$  [9].

1. El ancho para el radiador patch se calcula con la siguiente fórmula:

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

2. Determinar la constante dieléctrica eficiente de la pasta dieléctrica con la siguiente ecuación:

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

3. Calcular la extensión de longitud del patch mediante la ecuación:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

4. Determinar la longitud efectiva del radiador patch:

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

5. Calcular la longitud física del radiador patch  $L$  con la ecuación:

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

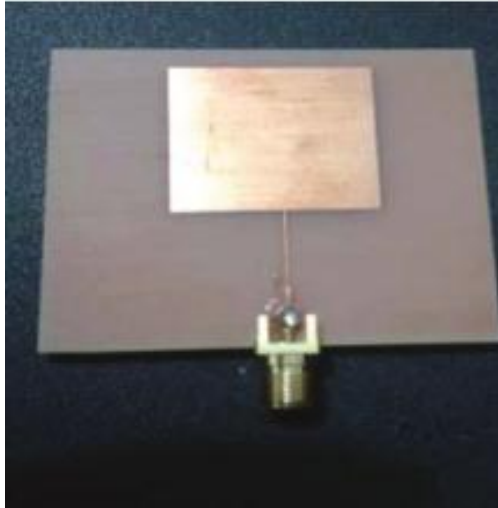


Figura 2.13 Antena tipo patch rectangular

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Fabrication-of-patch-antenna-metamaterial-system\\_fig1\\_272417924](https://www.researchgate.net/figure/Fabrication-of-patch-antenna-metamaterial-system_fig1_272417924)

#### Antena con reflector parabólico

Las antenas con reflector parabólico son muy utilizadas en enlaces de microondas y comunicaciones satelitales. Estas antenas están conformadas por dos elementos: un foco (o radiador) y un reflector. El radiador puede ser cualquier tipo de antena, mientras que el reflector se encuentra directamente relacionado con la ganancia de la antena y cuya característica principal es convertir las ondas esféricas en ondas planas, de esta manera se reduce la dispersión de las ondas radiadas. Para una antena con reflector parabólico, los radiadores más utilizados son antenas tipo bocina (horn) [7].

La ganancia de una antena parabólica está dada por la expresión:

$$G(dB) = 10 \log \left( \eta \frac{4\pi A}{\lambda^2} \right)$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia de abertura.

$A$ : Área física de la antena =  $\pi \left( \frac{d}{2} \right)^2$  ( $m^2$ )

$\lambda$ : Longitud de onda.

A partir de la ecuación de la ganancia se puede decir que, si el diámetro o la frecuencia de operación se incrementan, la ganancia de la antena parabólica también aumenta [9].



Figura 2.14 Antena con reflector parabólico para aplicaciones de televisión satelital

Fuente: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/reflectors/dish.php>

#### Antena sectorial

Una antena sectorial es un tipo de antena de microondas con una ganancia típica que puede ir desde los 10 dBi hasta los 19 dBi. Se construyen agregando una cara reflectora a uno o más dipolos alimentados en fase, aunque también existen antenas sectoriales construidas a partir de un arreglo de antenas tipo microstrip. La palabra sector tiene un significado geométrico tratándose de una circunferencia medida en grados de arco, cuyos diseños más típicos son de 60°, 90° y 120°. La aplicación más común de esta antena está en las comunicaciones móviles como tecnología celular para dar servicio en radios de hasta 15Km [9].



Figura 2.15 Antena tipo sectorial para aplicaciones de comunicación móvil

Fuente: <https://www.apm.com.tw/lte-sector-antenna-asc-172718m2.html>

#### Antena Discónica

Una antena discónica es una antena dipolar conformada por un polo tipo disco y un polo tipo cono [9], donde el disco está unido a un conductor central de alimentación coaxial y el cono se encuentra conectado a la protección exterior de la línea coaxial [7]. Estas antenas poseen un diseño mecánico simple, de fácil instalación y con características de banda ancha con aplicaciones en las bandas VHF (30-300 MHz) y UHF (300 MHz-3GHz) como transmisión, televisión y aplicaciones de comunicación [7].

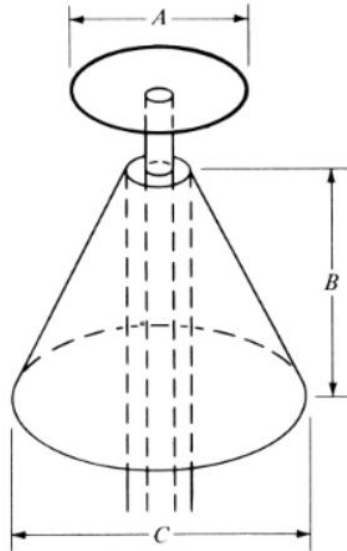


Figura 2.16 Geometría de una antena discónica

Fuente: Obtenido en [7]

Con la finalidad de reducir el uso de material o para disminuir el peso de la antena y/o contrarrestar los efectos de la presión del viento, el cono puede ser hecho con elementos discretos como alambres, varillas o tubos delgados [9].



Figura 2.17 Cono con elementos discretos

Fuente: Obtenido en [7]

Para lograr una mayor directividad y enfocar la señal en un sector determinado, se utilizan antenas discónicas como arreglos lineales de manera vertical. Los sistemas de telefonía celular utilizan este tipo de arreglos de antenas para solucionar problemas de acceso de señal, como es el caso de túneles, o donde existe gran demanda concentrada de llamadas como edificios o centros comerciales [9].

Las dimensiones típicas más utilizadas para antenas discónicas son las siguientes:  $A \approx 0.25\lambda$ ,  $B \approx 0.35\lambda$  y  $C \approx 0.40\lambda$ . Las dimensiones características de una antena discónica que trabaja en 90 MHz y 200 MHz son las siguientes [9]:



Tabla 2.1 Dimensiones características para una antena discónica trabajando en 90 y 200 MHz

Fuente: Obtenido en [9]

Frecuencia (MHz)	A (cm)	B (cm)	C (cm)
90	45.72	60.96	50.80
200	22.86	31.75	35.56

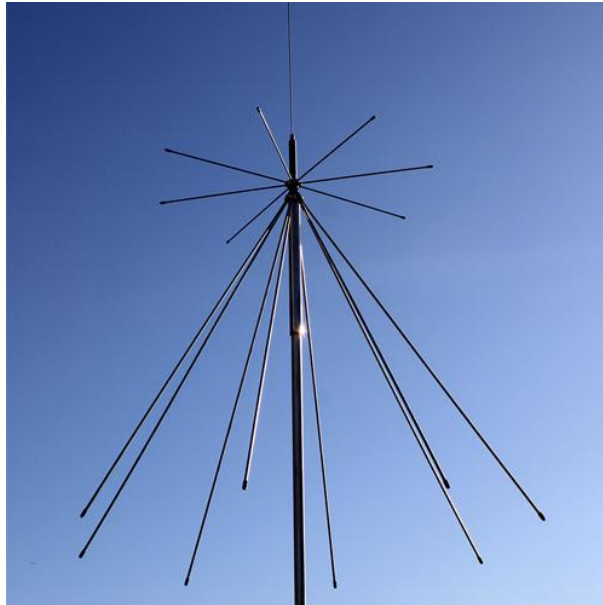


Figura 2.18 Antena tipo discónica para aplicaciones de radiocomunicación

Fuente: <https://www.tecsunradios.com.au/store/product/disccone-ultra-wideband-antenna/>

## CAPÍTULO 3: DISEÑO DE ANTENAS

A partir de la formulación de los conceptos se implementa el diseño completo de las antenas propuestas. Es esencial tomar en cuenta los valores reales de los parámetros físicos de la antena, tales como material de construcción, conectores, frecuencia de resonancia, dieléctrico, entre otros, debido a que influyen directamente en el funcionamiento y los resultados obtenidos se asemejan a los valores ideales.

Cálculos para el diseño de antenas

Diseño de una antena tipo monopolo

En el diseño de la antena monopolo se establece la frecuencia de resonancia  $f_r$  de 2.4 GHz y longitud de onda de  $\frac{1}{4}$ . A partir de estos parámetros se procede a encontrar la longitud del monopolo mediante:

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \quad (1)$$

$$l = \frac{\lambda}{4} \quad (2)$$

Considerando  $c$  como la velocidad de la luz y  $f_r$  la frecuencia de resonancia, se obtiene una longitud total de 3.125 cm.

$$l = \frac{3 \times 10^8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{4 \times 2.4 \times 10^9 \text{ (Hz)}} = \frac{0.125}{4} \text{ m}$$

$$l = 3.125 \text{ cm} \cong 3 \text{ cm}$$

Diseño de una antena tipo Dipolo

Se considera los cálculos del monopolo con la variación de que el dipolo contiene 2 monopolos, por lo tanto, la longitud obtenida anteriormente se divide a 2.

$$l_{\text{monopolo}} = 3 \text{ cm}$$

$$l_{\text{dipolo}} = \frac{3}{2} \text{ cm} = 1.5 \text{ cm}$$

Diseño de una antena tipo microstrip con patch rectangular

Se toma como referencia una antena parche con forma rectangular, con  $f_r$  de 2.4 GHz, material del dieléctrico FR4 con permitividad  $\epsilon_r = 4.4$  y grosor de 1.5 mm, e impedancia de  $50 \Omega$ .

Mediante los valores anteriormente mencionados se obtiene el ancho de la antena mediante la ecuación (3).

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3)$$

$$W = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 2.4 \text{ GHz}} \sqrt{\frac{2}{4.4 + 1}} = 38.0363 \text{ mm}$$

$$W \cong 39 \text{ mm}$$

Es necesario obtener la constante dieléctrica efectiva y la extensión real delta, para ello aplicamos las ecuaciones (4) y (5) para finalmente obtener la longitud real de la antena.

1. Constante dieléctrica efectiva:

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{1.5}{38.0363} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 4.1006$$

2. Extensión real delta (L)

$$\Delta L = 0.412 * h * \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

$$\Delta L = 0.412 * 1.5 * \frac{(4.1006 + 0.3) \left( \frac{38.0363}{1.5} + 0.264 \right)}{(4.1006 - 0.258) \left( \frac{38.0363}{1.5} + 0.8 \right)}$$

$$\Delta L = 0.6932 \text{ mm}$$

3. Longitud real

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L \quad (6)$$

$$L = \frac{300}{2 * 2.4 \sqrt{4.4}} - 2 * 0.6932$$

$$L = 29.4778 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la longitud efectiva en base de los valores obtenidos se aplica con la ecuación (7):

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (7)$$

$$L_{\text{eff}} = 29.4778 + 2 * 0.6932$$

$$L_{\text{eff}} = 30.8643 \text{ mm}$$

$$L_{\text{eff}} \cong 31 \text{ mm}$$

Tanto los valores W y L se aproximan al inmediato superior ya que en la construcción de antenas no trabaja con unidades micro.

Diseño de una antena tipo discónica

Para el diseño de la antena discónica se fija fr de 2.4 GHz, longitud de onda de  $\frac{1}{4}$  y el diámetro del cono al 70% de la longitud total del cono, con lo que se procede al cálculo de la longitud total del cono y el diámetro, tomando en cuenta la ecuación (1).

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m} = 12.5 \text{ cm}$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{12.5}{4} = 3.125 \text{ cm}$$

De donde,

$$\frac{\lambda}{4} = L \pm 30\% \quad (8)$$

$$L_{\text{cono}} = 40.625 \cong 41 \text{ mm}$$

El diámetro del disco depende de la longitud del cono, por lo tanto:

$$D_{\text{disco}} = 70\% L_{\text{cono}} \quad (9)$$

$$D_{\text{disco}} = 0.7 * 41 = 28.7 \text{ cm}$$

$$D_{\text{disco}} = 29 \text{ cm}$$

Para el diámetro del cono, se toma como referencia

$$D_{\text{cono}} = \frac{\lambda}{4} > L \quad (10)$$

$$D_{\text{cono}} = 60 \text{ mm}$$

Diseño de una antena tipo Yagi-Uda

El diseño para la antena Yagi – Uda es implementado con fr de 2.4 GHz y 10 directores; a partir de un dipolo de media longitud de onda con la ecuación (1).

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m} = 12.5 \text{ cm}$$

$$l_d = \frac{\lambda}{2} = \frac{0.125}{2} = 0.0625 \text{ m} = 6.25 \text{ cm}$$

$$l_R = 0.482 \lambda = 6.025 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director1}} = 0.432 \lambda = 5.4 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director2}} = 0.415 \lambda = 5.1875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director3}} = 0.407 \lambda = 5.0875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director4}} = 0.398 \lambda = 4.975 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director5}} = 0.39 \lambda = 4.875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director6}} = 0.39 \lambda = 4.875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director7}} = 0.39 \lambda = 4.875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director8}} = 0.39 \lambda = 4.875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director9}} = 0.39 \lambda = 4.875 \text{ cm}$$

$$l_{\text{director10}} = 0.407 \lambda = 5.0875 \text{ cm}$$

$$S_{\text{Dipolo-Reflector}} = 0.2 \lambda = 2.5 \text{ cm}$$

$$S_{\text{Dipolo-Director}} = 0.2 \lambda = 2.5 \text{ cm}$$

$$S_{\text{Directores}} = 0.2 \lambda = 2.5 \text{ cm}$$

$$r_{\text{directores}} = 0.00425 * \lambda = 0.0531 \text{ cm}$$

Diseño de una antena tipo parabólica

Con  $f_r = 2.4 \text{ GHz}$  y la ganancia de la antena de  $G = 33 \text{ dBi}$ , se obtiene la longitud de onda a partir de la ecuación (1):

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9}$$

$$\lambda = 0.125 \text{ m}$$

Dado que el diámetro del disco depende de la ganancia absoluta se aplica

$$G(\text{dB}) = 10 \log(G) \quad (11)$$

$$G = 10^{\frac{35.1}{10}}$$

$$G = 3.2359 \times 10^3$$

$$D = \lambda \sqrt{\frac{G}{1.5 \pi}} \quad (12)$$

$$D = 0.125 \sqrt{\frac{3.2359 \times 10^3}{1.5 \pi}}$$

$$D = 3.2756 \text{ m}$$

La distancia focal depende de la relación con el diámetro y la posición del foco, por lo que, para el foco centrado, la relación  $f/D$  está entre  $0.25 - 5$ , por lo que se tomó el valor de referencia de  $f/D = 0.35$ , por lo tanto:

$$f = D * 0.35 \quad (13)$$

$$f = 3.2756 * 0.35$$

$$f = 1.2283 \text{ m}$$

La profundidad del disco equivale a

$$P = \frac{D^2}{16 f} \quad (14)$$

$$P = \frac{3.2756^2}{16 * 1.2283}$$

$$P = 0.5459 \text{ m}$$

Diseño de una antena tipo Log Periódica

Para las antenas log periódicas, se asigna una frecuencia mínima  $f_{\min} = 2.4 \text{ GHz}$  y máxima  $f_{\max} = 5 \text{ GHz}$ , con lo cual se establece dos diferentes longitudes de onda de la ecuación (1).

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 12.5 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{f_{\max}} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9} = 6 \text{ cm}$$

A su vez, se asigna los valores del factor de escala  $\tau$  y el espaciamiento constante relativo  $\sigma$  para obtener el ángulo del vértice de la antena  $\alpha$ .

$$\tau = 0.865$$

$$\sigma = 0.157$$

$$\cot(\alpha) = \frac{4\sigma}{1 - \tau} \quad (15)$$

$$\alpha = 12.162^\circ$$

El número total de elementos depende de varios factores que se detallan con las ecuaciones (16)-(19), para finalmente aplicar la ecuación (20).

1. Factor B (ancho de banda deseado)

$$B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \quad (16)$$

$$B = 2.0833$$

2. Ancho de banda en la región activa

$$\text{Bar} = 1.1 + 7.7(1 - \tau)^2 \cot(\alpha) \quad (17)$$

$$\text{Bar} = 1.7528$$

3. Ancho de banda para el diseño

$$B_s = B * \text{Bar} \quad (18)$$

$$B_s = 3.6517$$

4. Longitud del eje o mástil teórico

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot(\alpha) \quad (19)$$

$$L = 10.4452 \text{ cm}$$

$$N = 1 + \frac{\ln(Bs)}{\ln\left(\frac{1}{\tau}\right)} \quad (20)$$

$$N = 9.9308 \approx 10 \text{ elementos}$$

La longitud de cada elemento depende de la longitud máxima de la antena y de  $\tau$ , por lo tanto:

$$l_{\max} = \frac{\lambda_{\max}}{2} \quad (21)$$

$$l_{\max} = 6.25 \text{ cm}$$

$$l_1 = 6.25 \text{ cm}$$

$$l_n = l_{n-1} * \tau \quad (22)$$

$$l_2 = l_1 * \tau = 5.40625 \text{ cm}$$

$$l_3 = l_2 * \tau = 4.6764 \text{ cm}$$

$$l_4 = l_3 * \tau = 4.0451 \text{ cm}$$

$$l_5 = l_4 * \tau = 3.499 \text{ cm}$$

$$l_6 = l_5 * \tau = 3.0266 \text{ cm}$$

$$l_7 = l_6 * \tau = 2.618 \text{ cm}$$

$$l_8 = l_7 * \tau = 2.2646 \text{ cm}$$

$$l_9 = l_8 * \tau = 1.9588 \text{ cm}$$

$$l_{10} = l_9 * \tau = 1.6944 \text{ cm}$$

#### Diseño de una antena tipo Sectorial

La antena sectorial es un arreglo de antenas dipolo, por lo que se referencia a los cálculos del diseño de dipolo con la ecuación (1) .

$$l_{\text{dipolo}} = \frac{l_{\text{monopolo}}}{2} = \frac{\frac{3e8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{2.4e9 \text{ (Hz)}}}{2} = \frac{0.125}{8} \text{ m} = 1.5625 \text{ cm}$$

#### Simulación

##### Introducción al software ANSYS HFSS



A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de las antenas diseñadas previamente, mediante el software de simulación ANSYS HFSS. Con este programa se adquirieron las pérdidas de retorno  $S_{11}$ , relación de onda estacionaria de voltaje VSWR, impedancia real e imaginaria, directividad, ganancia, patrones de radiación en 2D y 3D, entre otros parámetros que permiten un análisis completo del comportamiento de antenas.

#### Simulación de la antena tipo Monopolo

A partir de los valores de las dimensiones calculados, se obtienen resultados con frecuencia de resonancia  $f_r = 2.3879$  GHz y  $L = 3$  cm, lo que se refleja en la Figura 3.1, mostrando la antena monopolo en el software de simulación HFSS.

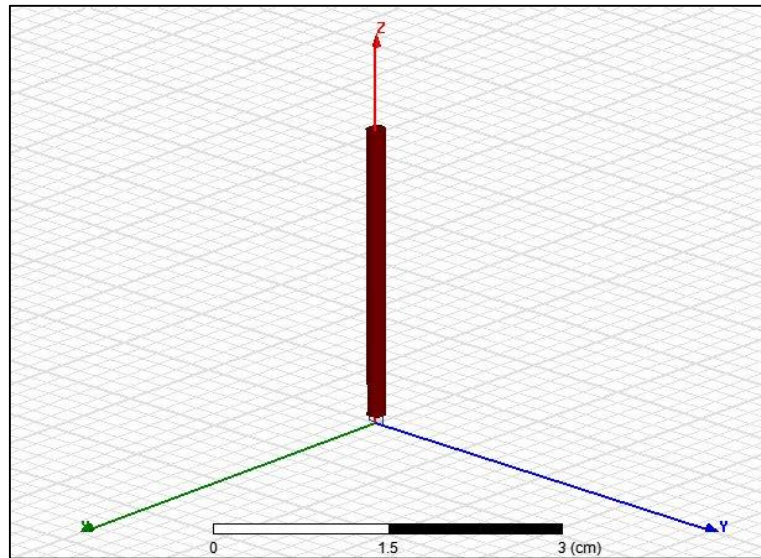
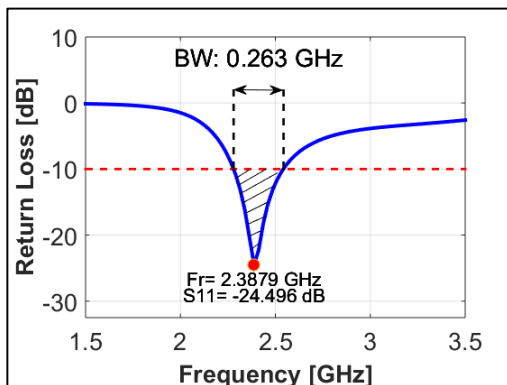


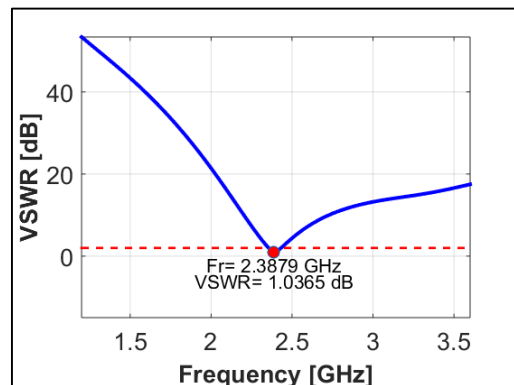
Figura 3.19 Antena tipo monopolo simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

Los parámetros se observan en la Figura 3.2, para lo cual se obtuvo  $S_{11} = -24.496$  dB con  $BW = 0.263$  GHz,  $VSWR = 1.0365$  dB, impedancia real  $Z_r = 26.99 \Omega$  e imaginaria  $Z_i = -1.512 \Omega$ . Además, la directividad se muestra en 2D y el patrón de radiación se relaciona con la ganancia y se visualiza en 3D.



(a)



(b)

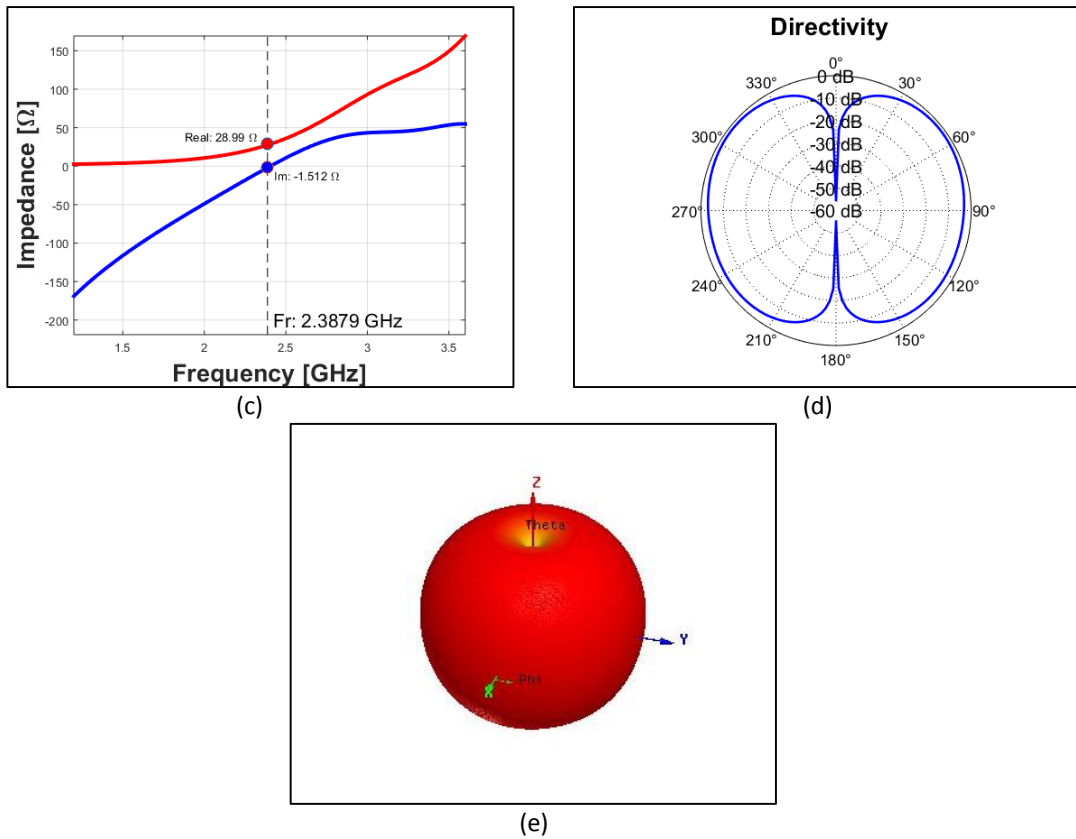


Figura 3.20 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo monopolo: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo Dipolo

Con los valores de diseño  $L_d = 1.5$  cm de cada elemento, se procede con la simulación en HFSS mostrando la Figura 3.3.

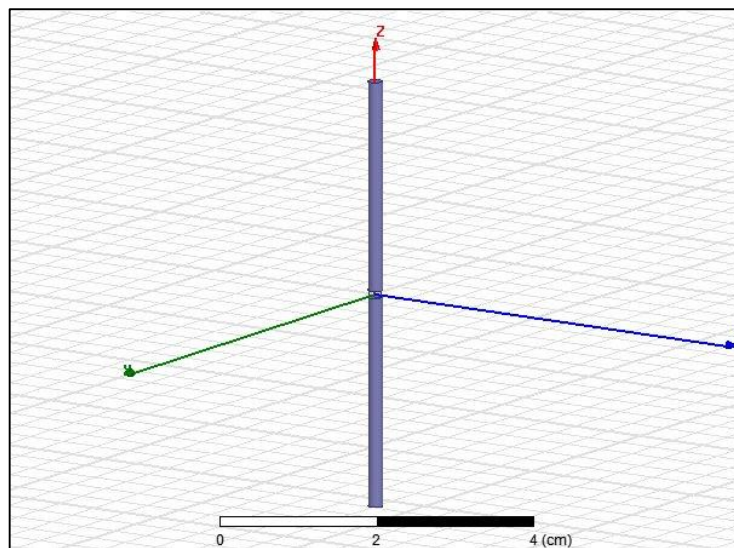


Figura 3.21 Antena tipo dipolo simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

Los resultados obtenidos de la simulación de la antena dipolo se observan en la Figura 3.4, adquiriendo  $S_{11} = -17.0981$  dB,  $BW = 0.29$  GHz,  $VSWR = 2.4422$  dB,  $Z_r = 64.56 \Omega$ ,  $Z_i = -2.695 \Omega$ . La directividad se muestra en 2D y el patrón de radiación de ganancia tiene modelado en 3D.

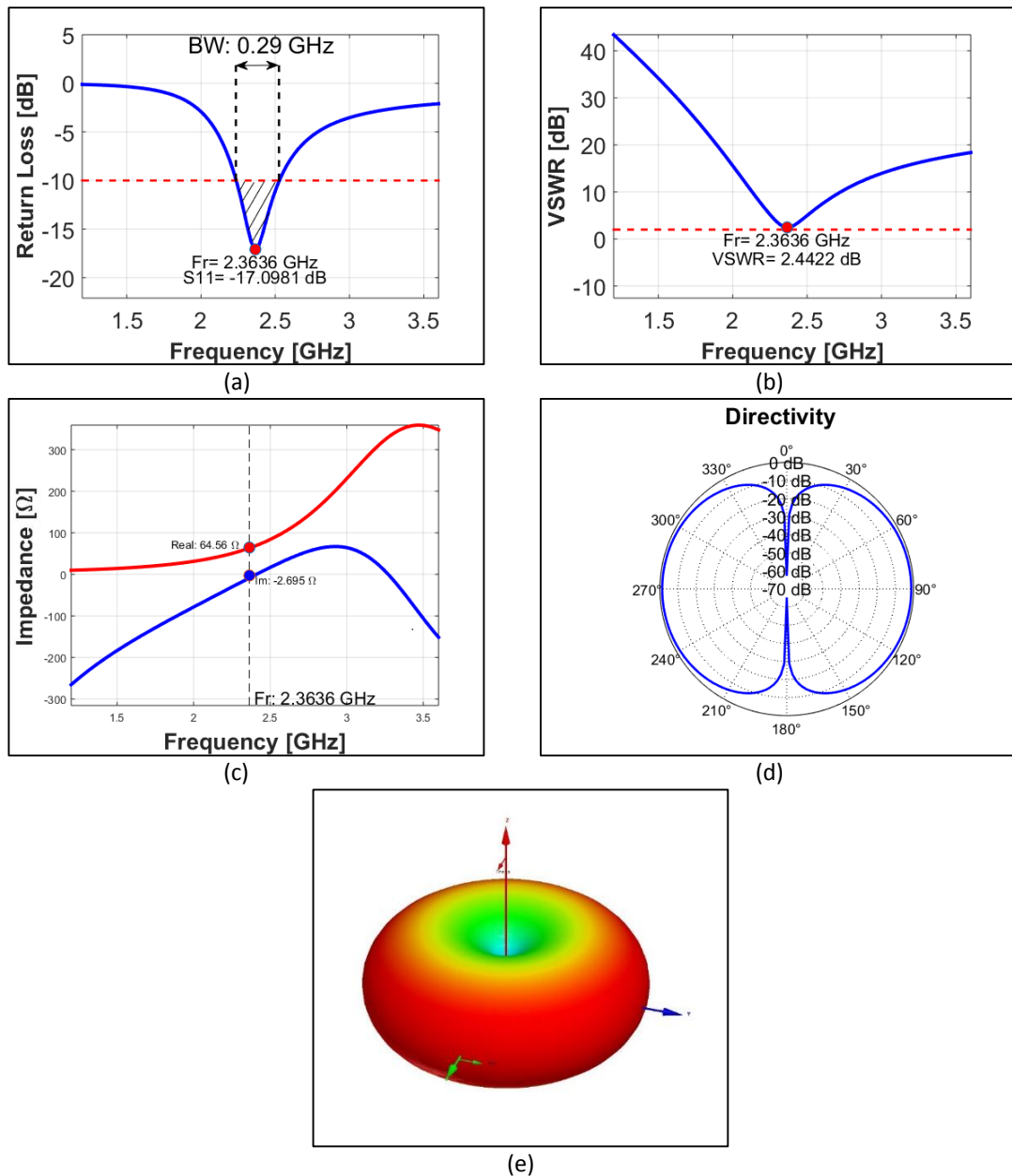


Figura 3.22 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo dipolo: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo microstrip con patch rectangular

En la simulación de la antena tipo microstrip con patch rectangular se referencia al sustrato de 1.5 mm de grosor, ancho del parche  $W = 39$  mm, largo del parche  $L = 31$  mm.

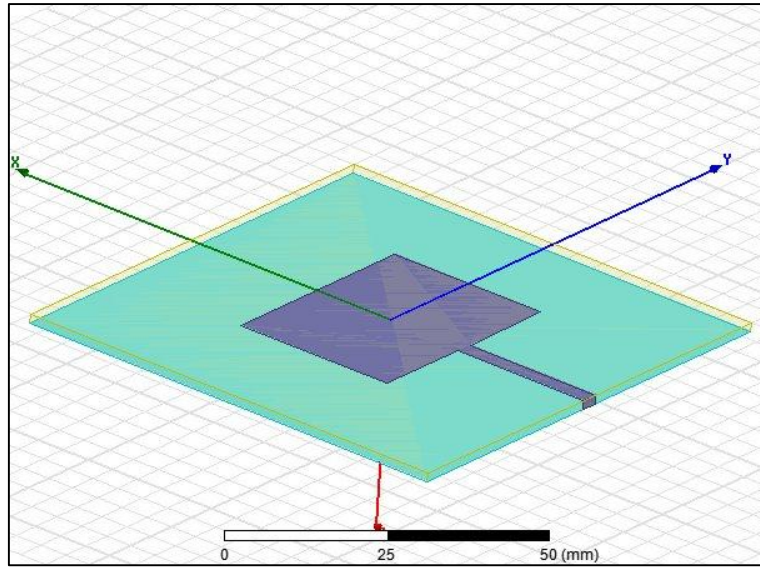
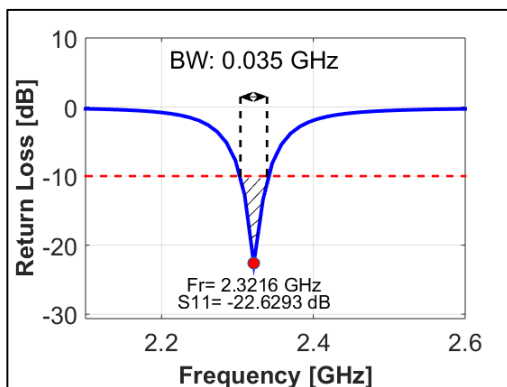


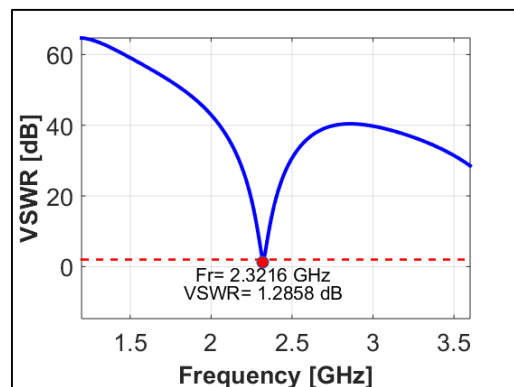
Figura 3.23 Antena tipo microstrip con patch rectangular simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

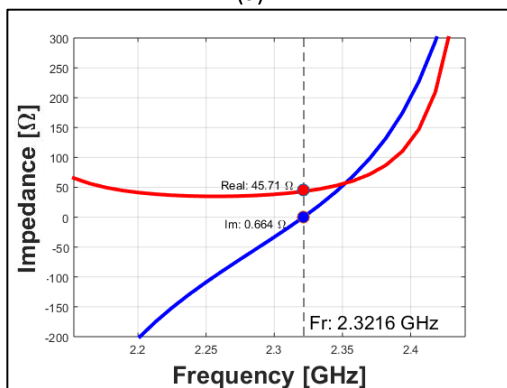
En la Figura 3.5 se observa el diseño de la antena en el software ANSYS HFSS, con lo que se obtienen sus parámetros tales como: pérdidas de retorno  $S_{11} = -22.6293$  dB,  $BW = 0.035$  GHz,  $VSWR = 1.2858$  dB,  $Z_r = 45.71 \Omega$ ,  $Z_i = 0.664 \Omega$ , la directividad se visualiza en 2D y el patrón de radiación de la ganancia en 3D.



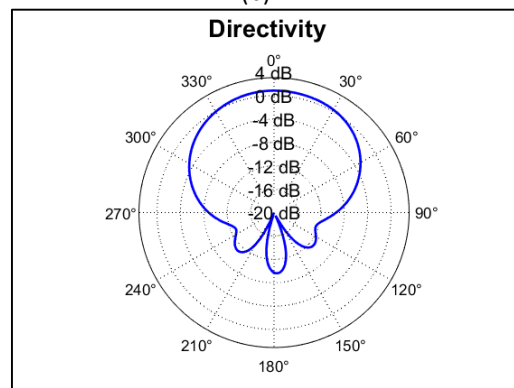
(a)



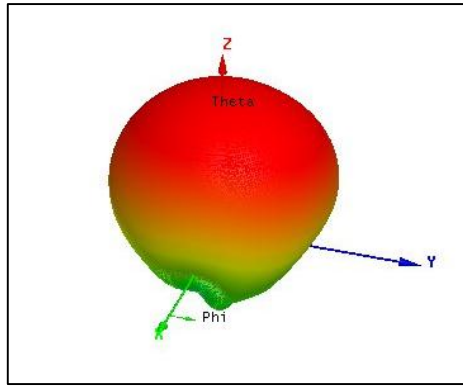
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3.24 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo microstrip con patch rectangular: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo discónica

En HFSS se procede con la simulación con los datos obtenidos con los cálculos. En la Figura 3.7 se aprecia el diseño final de la antena discónica.

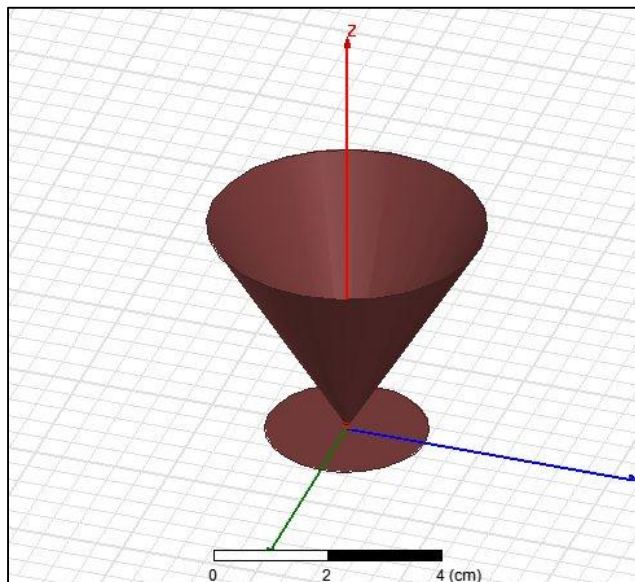


Figura 3.25 Antena tipo discónica simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

Los valores de los parámetros se reflejan en la Figura 3.8, con lo cual  $S_{11} = -27.5106$  dB,  $BW = 0.768$  GHz,  $VSWR = 0.73211$  dB,  $Z_r = 181 \Omega$ , e  $Z_i = -12.11$  dB. La directividad tiene visualización en 2D y el patrón de radiación de la ganancia está en 3D.

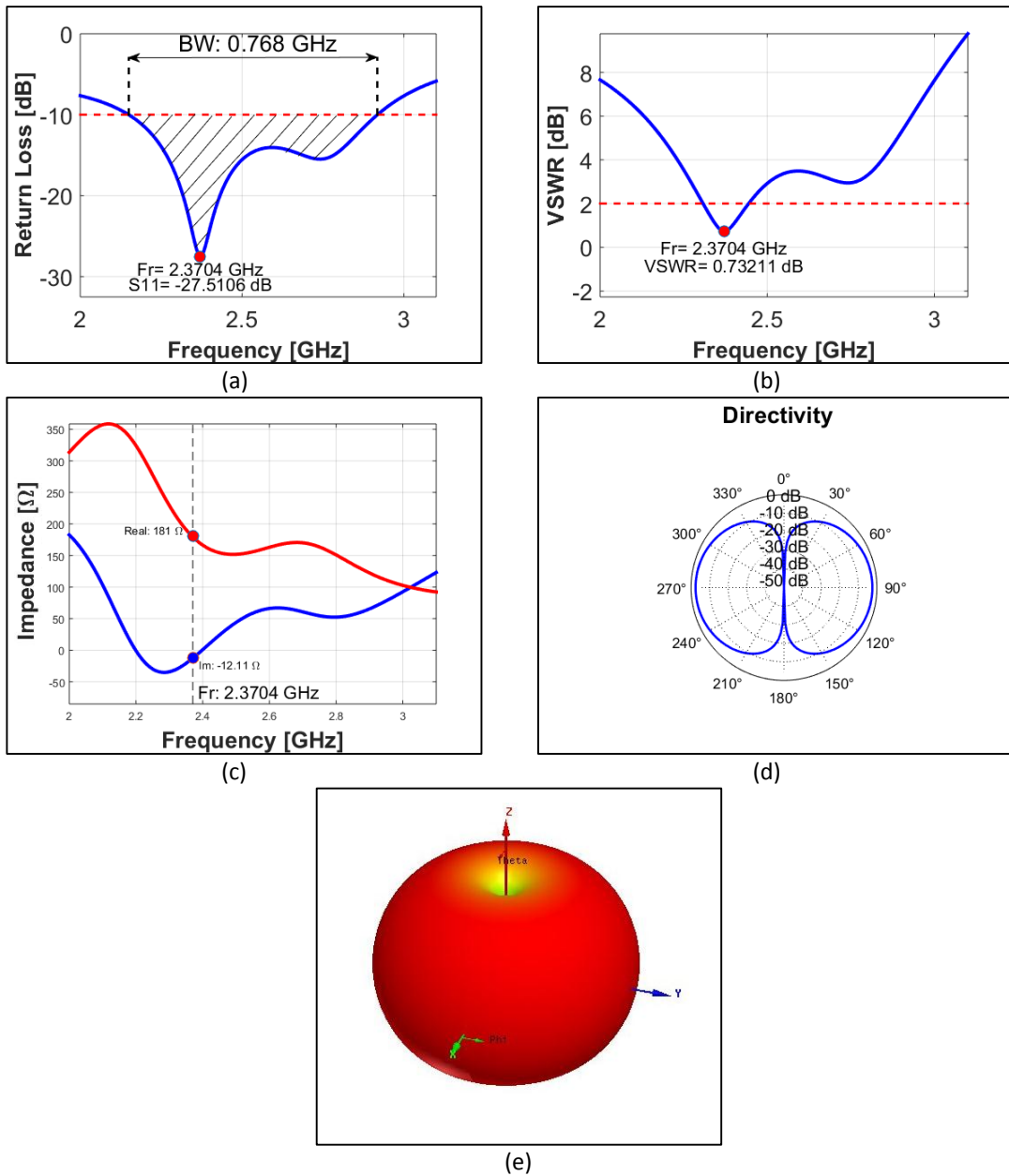


Figura 3.26 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo discónica: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo Yagi-Uda

En la simulación para la antena Yagi-Uda, se toma en cuenta las longitudes de cada elemento con la respectiva distancia entre los mismo, con lo cual, la Figura 3.9 muestra el diseño final.

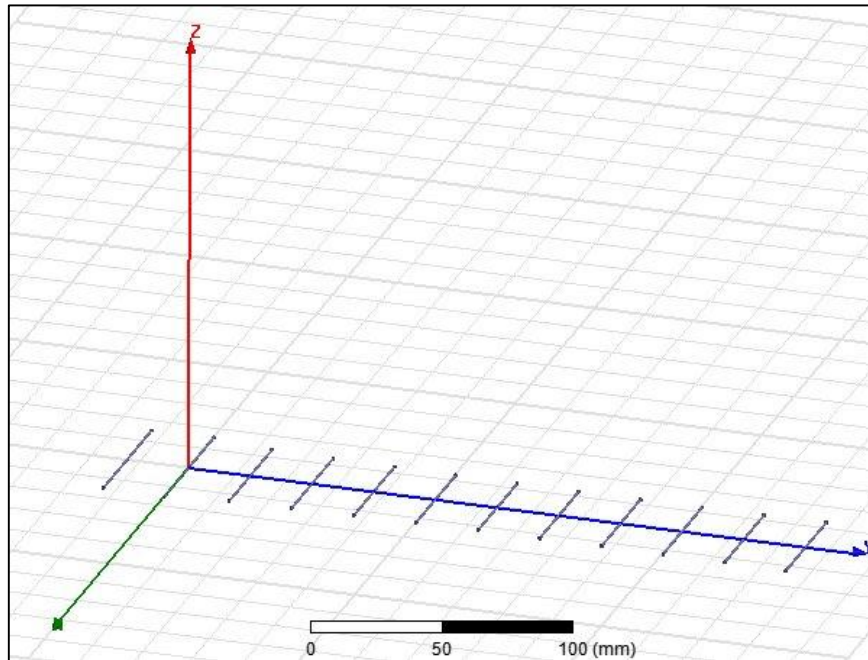
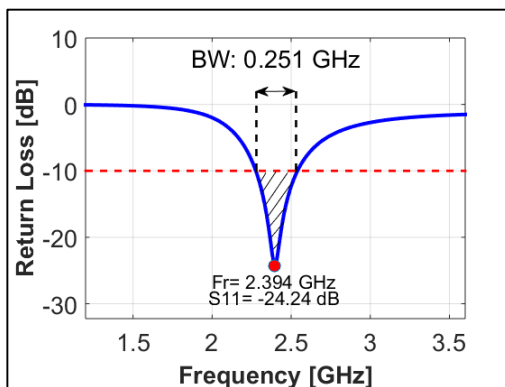


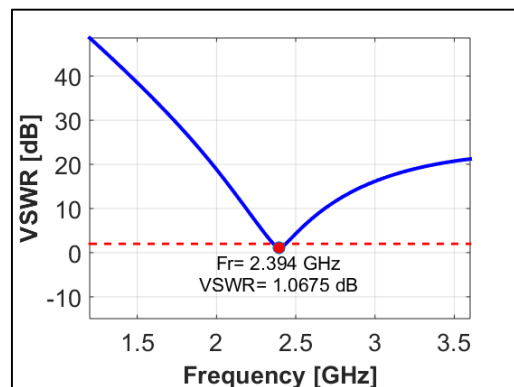
Figura 3.27 Antena tipo Yagi-Uda simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

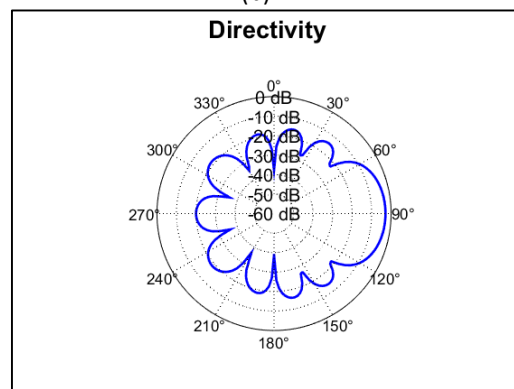
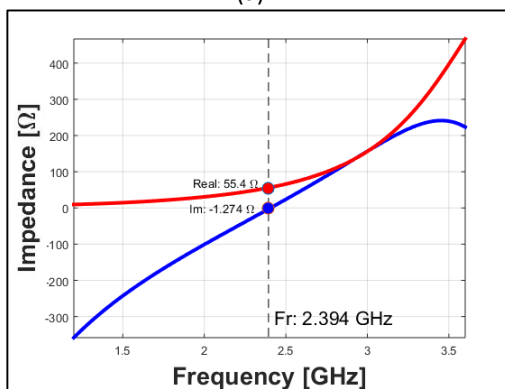
Los resultados que se obtuvieron se exponen en la Figura 3.10, donde  $S_{11} = -24.24$  dB,  $BW = 0.251$  GHz,  $VSWR = 1.0675$  dB,  $Z_r = 55.4 \Omega$ ,  $Z_i = -1.274 \Omega$ . La directividad se refleja en 2D y el patrón de radiación de la ganancia en 3D.



(a)



(b)



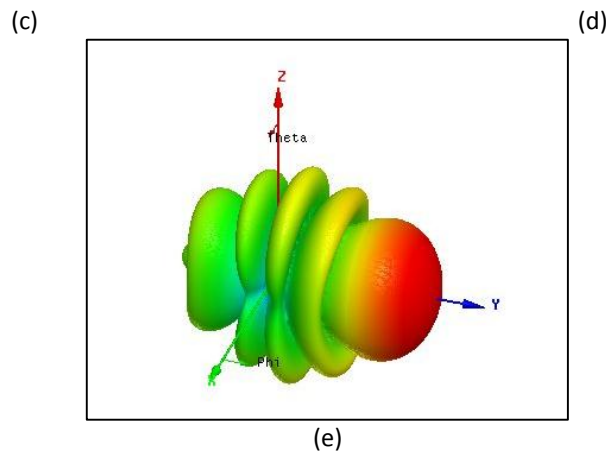


Figura 3.28 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo Yagi-Uda: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo parabólica

Con las dimensiones del disco parabólico, se complementa la simulación con una antena bocina o trompeta para la misma frecuencia del diseño del disco, por lo que la Figura 3.11 muestra el disco con la antena bocina como foco centrado.

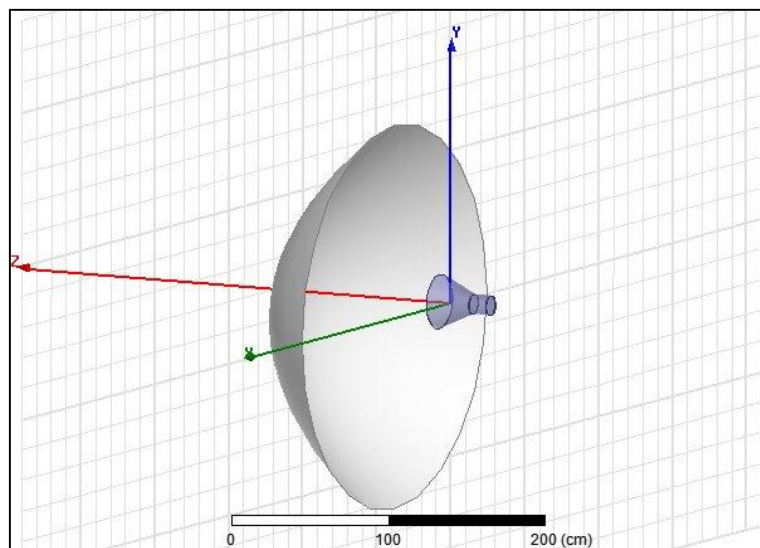


Figura 3.29 Antena tipo parabólica simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

En la Figura 3.12 se observa  $f_r = 2.35$  GHz, con lo que se obtiene  $S_{11} = -15.2603$  dB,  $BW = 0.036$  GHz,  $VSWR = 3.0283$  dB,  $Z_r = 28.99 \Omega$ ,  $Z_i = -1.512 \Omega$ ., también se muestra la directividad en 2D y el patrón de radiación de la ganancia en 3D.



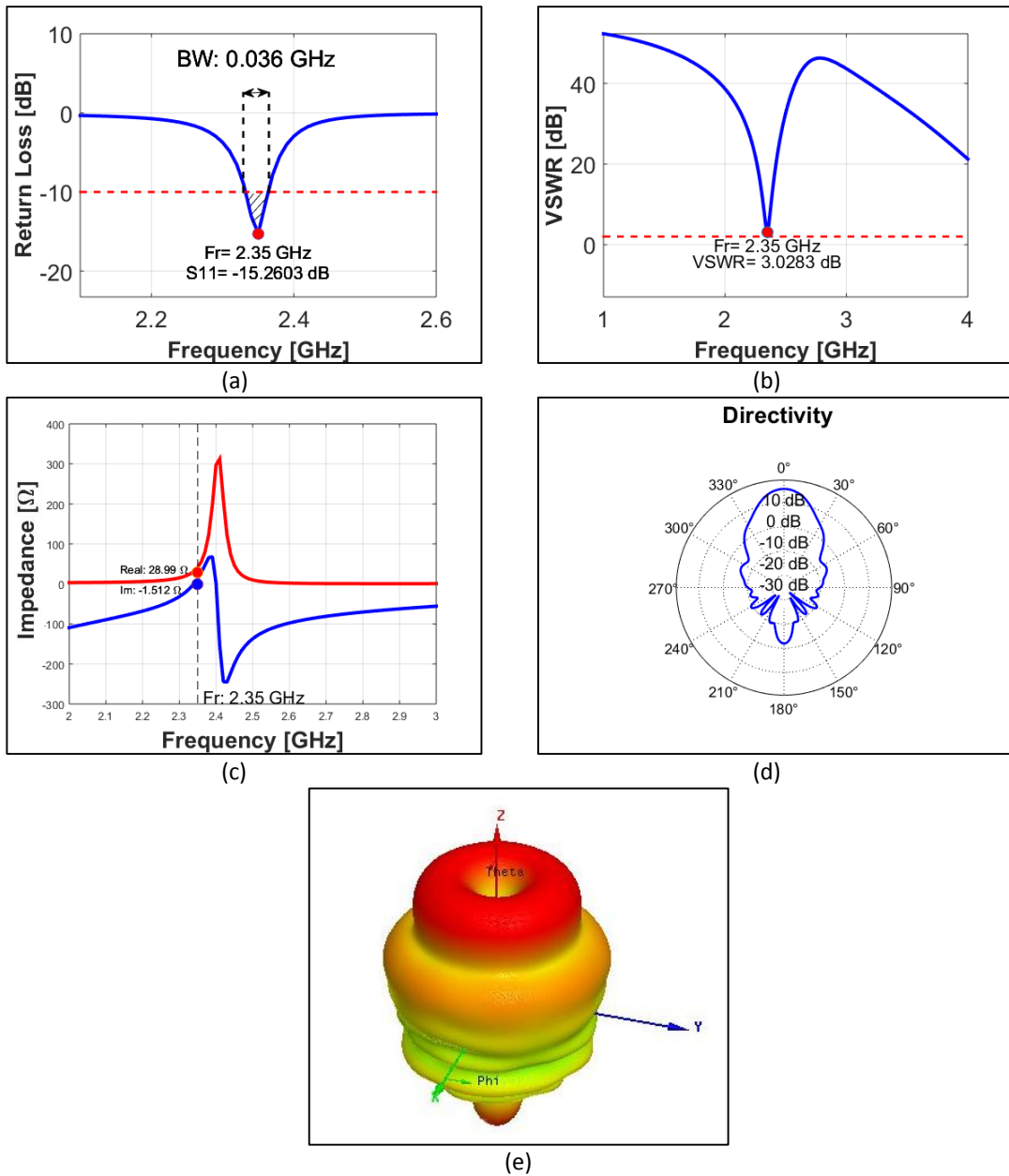


Figura 3.30 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo parabólica: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo Log Periódica

La Figura 3.13 muestra el diseño de la antena Log-Periódica con 10 elementos con sus respectivas dimensiones previamente calculadas.

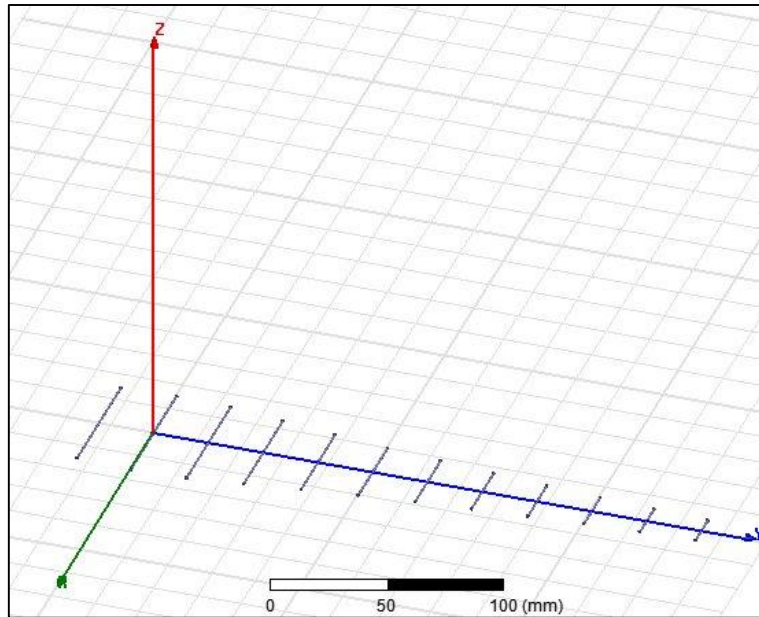
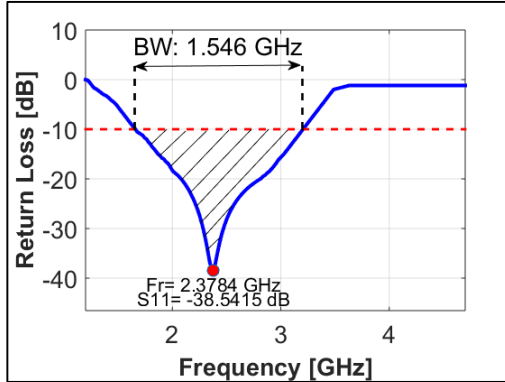


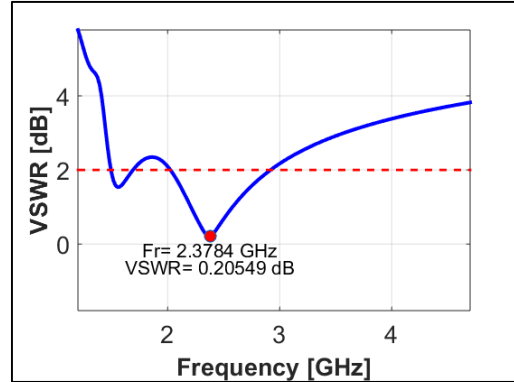
Figura 3.31 Antena tipo Log Periódica simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

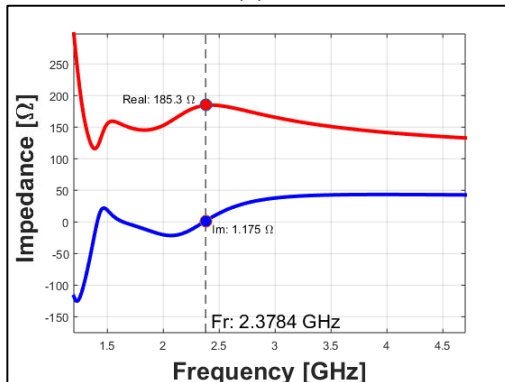
La Figura 3.14 refleja  $f_r = 2.3784$  GHz, con lo que se obtiene  $S_{11} = -38.5415$  dB,  $BW = 1.546$  GHz,  $VSWR = 0.20549$  dB,  $Z_r = 185.3 \Omega$ ,  $Z_i = 1.175 \Omega$ . La directividad se visualiza en 2D y el patrón de radiación relacionado con la ganancia en 3D.



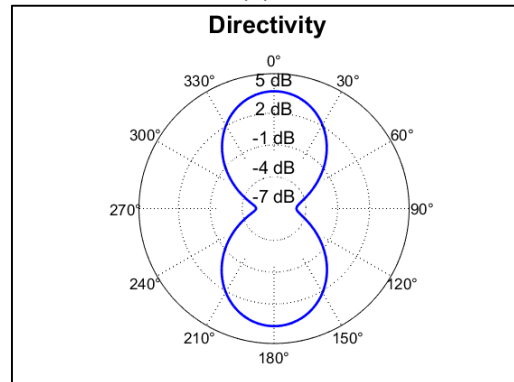
(a)



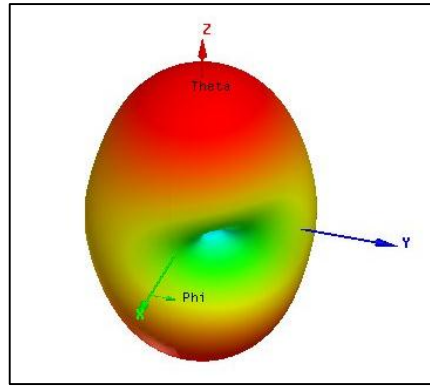
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3.32 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo Log Periódica: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

Simulación de la antena tipo Sectorial

Se construye un arreglo de antenas con dipolos resonantes en  $f_r = 2.4$  GHz, por lo que consideró el diseño mostrado en la Figura 3.15 para la obtención de los parámetros característicos.

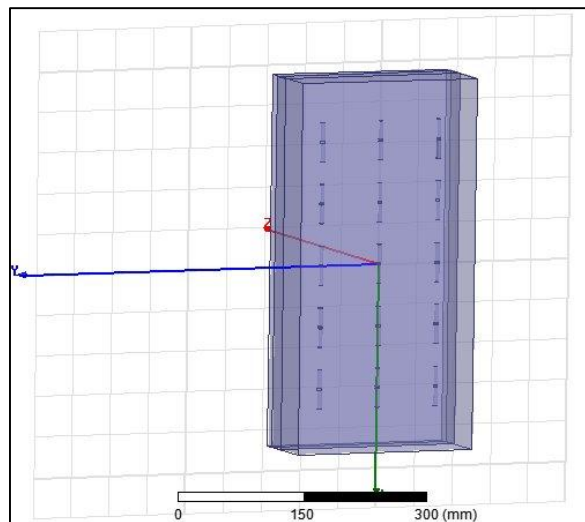


Figura 3.33 Antena tipo Sectorial simulada en el software HFSS

Fuente: Autores

En la Figura 3.16 se muestra  $f_r = 2.44$  GHz, obteniendo  $S_{11} = -42.6128$  dB,  $BW = 0.631$  GHz,  $VSWR = 0.12859$  dB,  $Z_r = 72.5 \Omega$ ,  $Z_i = -1.274 \Omega$ , la directividad en 2D y el patrón de radiación de la ganancia en 3D.

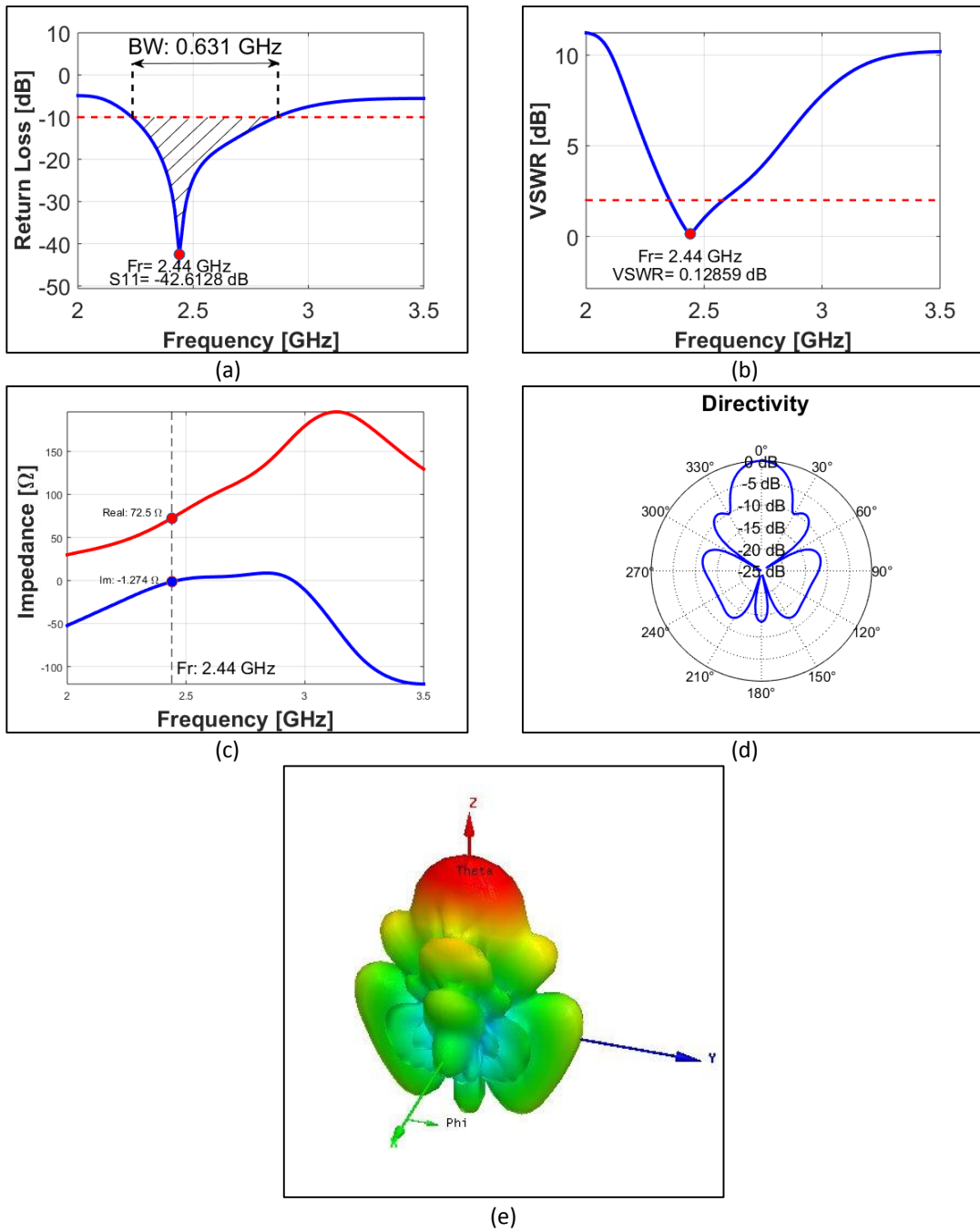


Figura 3.34 Resultados obtenidos a partir de la simulación de la antena tipo Sectorial: (a) Pérdidas de retorno, (b) VSWR, (c) Impedancia, (d) Directividad en 2D y (e) Patrón de radiación en 3D

Fuente: Autores

## CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN Y PRUEBA DE ANTENAS

Se evaluará los parámetros obtenidos mediante las simulaciones de cada una de las antenas mencionadas, tomando en cuenta los valores de referencia que se establecen en la teoría de antenas. Las condiciones de frontera que se aplican para este capítulo son los límites de cada uno de los parámetros,  $S_{11} \leq -15$  dB,  $0 \leq VSWR \leq 2$  e Impedancia con la parte real aproximada a los valores de simulación y la parte imaginaria nula.

### Antena tipo Monopolo

Con la simulación de la antena monopolo se obtuvo los resultados de la Tabla 4.1. La frecuencia de resonancia se asemeja a la impuesta en la sección de cálculos de dimensiones, esto se da debido a las condiciones de simulación en la caja de radiación o las propiedades del material de la antena.

Con la frecuencia de resonancia se visualiza la curva de las pérdidas de retorno o del parámetro  $S_{11}$ , condición que cumple el diseño impuesto. Para el ancho de banda  $BW$ , se toma los valores mínimo y máximo de las frecuencias, entre la curva del parámetro  $S_{11}$  y una recta en  $-10$  dB, con lo cual, la antena tiene un rango de frecuencias muy ancho en cual puede trabajar. El parámetro  $VSWR$  debe ser  $\leq 2$  dB, con lo cual se observa que el diseño implementado cumple con esta condición.

En la parte de diseño se especificó que la impedancia de la antena es de  $29 \Omega$ , esto se debe a que el software de simulación HFSS cuenta con impedancias por defecto, por lo cual, se obtuvo la impedancia mostrada en la Tabla 4.1, con la parte real cercana al valor impuesto, pero con la parte imaginaria que muestra que la antena no tiene un buen acoplamiento debido al material o al tipo de conector.

Tabla 4.2 Resultados obtenidos para la antena tipo Monopolo

Parámetro	Valor
<b>fr</b>	2.3879 GHz
<b>BW</b>	0.263 GHz
<b>S11</b>	-24.496 dB
<b>VSWR</b>	2.3879 dB
<b>Impedancia</b>	$28.99 - j1.512 \Omega$

### Antena tipo Dipolo

Mediante el diseño de la antena dipolo se obtuvo los valores de la Tabla 4.2. La frecuencia de resonancia se presenta en  $f_r = 2.3636$  GHz, obteniendo un pico máximo para el parámetro S11 no tan elevado, pero cumpliendo con la condición de frontera. A pesar de contar con un S11 bajo, se tiene un ancho de banda de  $BW = 0.29$  GHz, obteniendo diferentes aplicaciones para su uso. El parámetro VSWR también se encuentra alrededor de las condiciones de frontera.

En la parte de la impedancia se observa que la parte real se aproxima a los  $65 \Omega$  pero también cuenta con la parte imaginaria, recalando las condiciones de diseño se pueden modificar para la obtención de mejores resultados.

Tabla 4.3 *Resultados obtenidos para la antena tipo Dipolo*

Parámetro	Valor
<b>f<sub>r</sub></b>	2.3636 GHz
<b>BW</b>	0.29 GHz
<b>S11</b>	-17.0981 dB
<b>VSWR</b>	2.4422 dB
<b>Impedancia</b>	$64.56 - j2.695 \Omega$

Antena tipo microstrip con patch rectangular

En los resultados de la simulación de la antena parche, se consiguió una frecuencia de resonancia muy baja, esto se da por los valores reales de las propiedades del dieléctrico, dimensiones no optimizadas de la antena, entre otros. A pesar de esto, se alcanzaron valores por encima de los valores impuestos teóricamente. El ancho de banda muestra un gran intervalo en el cual la antena trabaja sin problemas.

La impedancia en el diseño es de  $50 \Omega$  pero en la simulación se obtuvo un valor menor, lo cual se debe a las dimensiones de la línea de transmisión, lo que provoca que no se obtenga un buen acoplamiento.

Tabla 4.4 *Resultados obtenidos para la antena tipo microstrip con patch rectangular*

Parámetro	Valor
<b>f<sub>r</sub></b>	2.3216 GHz
<b>BW</b>	0.035 GHz
<b>S11</b>	-22.6293 dB
<b>VSWR</b>	1.2858 dB
<b>Impedancia</b>	$45.71 + j0.664 \Omega$

Antena tipo Discónica

En la simulación de la antena discónica se obtuvieron los datos de la Tabla 4.4, lo que muestra que la frecuencia de resonancia no es exacta en la del diseño, a pesar de que cuenta con un margen de error mínimo. El ancho de banda es muy extenso con lo cual la antena no presenta problemas al momento de transmitir.

En la frecuencia de resonancia mencionada, el parámetro S11 obtuvo un gran pico, lo que representa que la antena cuenta con buenas características. El parámetro VSWR se encuentra alrededor de los límites teóricos; y la impedancia a pesar de que parte real no está tan distante del valor de diseño, la parte imaginaria causa que la antena no se acople exitosamente.

Tabla 4.5 *Resultados obtenidos para la antena tipo Discónica*

Parámetro	Valor
<b>fr</b>	2.3704 GHz
<b>BW</b>	0.768 GHz
<b>S11</b>	-27.5106 dB
<b>VSWR</b>	0.73211 dB
<b>Impedancia</b>	181 - j12.11 Ω

#### Antena tipo Yagi-Uda

Mediante la Tabla 4.5 se analiza los parámetros de la antena Yagi-Uda. La frecuencia de resonancia cuenta con un error mínimo pero los siguientes parámetros presentan características deseables en una antena. El parámetro S11 exhibe un valor aspirado en la teórica de antenas, mostrando que la antena cuenta con pérdidas de retorno mínimas.

Al contar con un ancho de banda extenso, la antena puede ser utilizada en diferentes aplicaciones, por ende, la antena muestra factibilidad en las transmisiones. El parámetro VSWR a pesar de ser un valor bajo, se encuentra dentro de los límites del mismo. En la parte de acoplamiento se observa que la parte real se aproxima al valor de diseño, pero nótese que la parte imaginaria es cercana a cero, por lo que la antena tendría un buen acoplamiento.

Tabla 4.6 *Resultados obtenidos para la antena tipo Yagi-Uda*

Parámetro	Valor
<b>fr</b>	2.394 GHz
<b>BW</b>	0.251 GHz
<b>S11</b>	-24.24 dB
<b>VSWR</b>	1.0675 dB
<b>Impedancia</b>	55.4 - j1.274 Ω

#### Antena tipo Parabólica

La Tabla 4.6 demuestra que los datos obtenidos de la simulación de la antena parabólica no han sido apropiados, es decir, con la frecuencia de resonancia se obtuvo un ancho de banda muy pequeño, por lo que la antena no tendría muchas aplicaciones.

El parámetro S11 se encuentra dentro de los límites, pero se busca que las características de las antenas sean máximas, mientras que VSWR sobrepasa los límites, es decir, se encuentra fuera del intervalo de valores aptos para el mismo, proporcionando un resultado fuera de lo deseado. Con la impedancia obtenida de la simulación, se muestra un mejor acoplamiento a pesar de las variaciones de los otros parámetros.

Tabla 4.7 *Resultados obtenidos para la antena tipo Yagi-Uda*

Parámetro	Valor
<b>fr</b>	2.35 GHz
<b>BW</b>	0.036 GHz
<b>S11</b>	-15.2603 dB

<b>VSWR</b>	3.0283 dB
<b>Impedancia</b>	28.99 – j1.512 $\Omega$

#### Antena tipo Log Periódica

Con la simulación de la antena Log Periódica se consiguieron los resultados de la Tabla 4.7. La frecuencia de resonancia ha variado a la frecuencia planteada en el diseño, con la cual muestra que el ancho de banda se ha extendido alrededor de 1.5 GHz, por lo que la antena planteada tiene diferentes aplicaciones. El pico máximo para las pérdidas de retorno S11 muestra un valor ideal para antenas log-periódicas, es decir, sobresale en medida y se encuentra dentro de los límites. El parámetro VSWR es minúsculo, pero cumple con las condiciones de frontera planteados. La impedancia de la antena puede ser modificada con diferentes técnicas para mejorar el acoplamiento porque el error es mínimo.

Tabla 4.8 *Resultados obtenidos para la antena tipo Log Periódica*

Parámetro	Valor
<b>fr</b>	2.3784 GHz
<b>BW</b>	1.546 GHz
<b>S11</b>	–38.5415 dB
<b>VSWR</b>	0.20549 dB
<b>Impedancia</b>	185.3 + j1.175 $\Omega$

#### Antena tipo Sectorial

Las antenas sectoriales al ser un arreglo de antenas de dipolos, cuenta con la variación del número de elementos a utilizarse, por lo que a partir de un dipolo de 2.4 GHz, se ingresan dos o más elementos en diferentes direcciones de manera que se obtenga las características deseadas.

En la Tabla 4.8 se observa los resultados obtenidos con un arreglo de dipolos de 3x5, con lo cual se obtuvo la frecuencia más próxima a la planteada. El ancho de banda también se considera extenso al superar los 500 MHz. El parámetro S11 muestra un pico máximo ideal, sobrepasando los límites de las condiciones de frondea. VSWR es bajo, pero se mantiene en los límites. La parte real de la impedancia es próxima al valor planteado de 75  $\Omega$  y la parte imaginaria muestra que no se tiene un acoplamiento ideal.

Tabla 4.9 *Resultados obtenidos para la antena tipo Sectorial*

Parámetro	Valor
<b>fr</b>	2.44 GHz
<b>BW</b>	0.631 GHz
<b>S11</b>	–42.6128 dB
<b>VSWR</b>	0.12859 dB
<b>Impedancia</b>	72.5 – j1.274 $\Omega$



## CAPÍTULO 5: CONCEPTOS DE REALIDAD AUMENTADA

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son aquellas herramientas y programas utilizados para administrar y compartir la información mediante el uso de soportes tecnológicos, tales como: computadoras, teléfonos móviles, tablets, etc. [10]. En la actualidad, el uso de las TIC resulta ser necesaria para el desarrollo del aprendizaje dentro de las aulas de los diferentes niveles académicos, permitiendo a los estudiantes acceder de forma sencilla, entretenida y formativa a los contenidos curriculares convirtiendo así la manera tradicional de los hábitos de estudio [11].

### Definición de Realidad aumentada

Una de las tecnologías que puede ayudar a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y que se encuentra presente en muchas aulas debido a su integración tanto con el mundo físico y el virtual es la Realidad Aumentada (AR). AR trabaja con la superposición de imágenes, objetos en 3D, animaciones o cualquier tipo de información sobre una imagen real previamente cargada en un celular o colocada sobre algún objeto o material del cual se desea obtener sus características o información [12].

### Ventajas y desventajas del uso de realidad aumentada

Entre las ventajas del uso de la Realidad Aumentada en la educación tenemos:

1. Posee varios campos de aplicación: Ingeniería, Arquitectura, Telecomunicaciones, etc.
2. Desarrollo de habilidades cognitivas y espaciales.
3. Permite que los estudiantes puedan combinar las aplicaciones de los celulares con recursos escritos, logrando así mejorar la experiencia educativa.

4. Ofrece una alternativa para visualizar fenómenos físicos que son difíciles de imaginar, sobre todo cuando se trata de figuras o superficies en 3D.
5. Aumenta la comprensión de ciertos temas que resultan ser abstractos.

De la misma manera como existen ventajas, también deben ser consideradas las desventajas del uso de esta tecnología:

6. El diseño del software de realidad aumentada puede resultar un reto para las personas que no están familiarizadas al respecto.
7. Dependiendo las funcionalidades que deba tener la aplicación, los costos pueden resultar elevados y de esta manera se limita su accesibilidad.
8. Requiere necesariamente el uso de dispositivos electrónicos de gama media-alta, lo cual también representa un costo adicional y una limitación para quienes desean acceder a esta tecnología.

#### Historia de la realidad aumentada

El primer contacto que la sociedad tiene con la realidad aumentada se da con la aparición de la aplicación “Pokemon Go”. En julio de 2016, la compañía Niantic lanza un videojuego de realidad aumentada disponible para los sistemas operativos iOS y Android basada en geolocalización. “Pokemon Go” consiste en buscar y atrapar “monstruos de bolsillo” superpuestos en localizaciones reales, permitiendo a jugadores salir a las calles y recorrer largas distancias hasta encontrarlos [13].

El concepto de realidad aumentada no trata de una tecnología nueva. En 1950, Morton Heilig buscaba integrar al espectador con la actividad de la pantalla. Por esta razón, en 1962 construyó el Sensorama, prototipo que permitía incrementar la experiencia del espectador a través de sus sentidos utilizando imágenes panorámicas, sonido envolvente, viento y vibración [13] [14].

En 1973, Ivan Sutherland, evoluciona el prototipo de Heiling, inventando el head-mounted display. Este aparato sería el origen de lo que hoy se conoce como gafas de realidad virtual. En 1985, Myron Krueger lanza un producto que permite por primera vez al usuario interactuar con objetos virtuales, a esto se le llamó Videoplance [13].

Ya en el año de 1990, Jaron Lanier, crea la primera actividad comercial introducida en el mundo virtual. Posteriormente, dos años más tarde, Tom Caudell acuña el término de Realidad Aumentada. En su cargo como investigador en la compañía aeronáutica “Boeing” logra la superposición de textos, diagramas y gráficos en un visor utilizado por operarios con el cual se revisaba las diferentes partes del avión. Caudell define a la Realidad Aumentada como la inclusión dentro del universo físico de elementos virtuales en tiempo real [13].

En el año 2008 surge AR Wikitude, la cual se trata de una guía de realidad aumentada implementada en el turismo. Esta aplicación estaba disponible para smartphones con sistema operativo Android. En 2009, la realidad aumentada llega hasta el navegador web a través de AR Toolkit. A partir de ese momento se produce el desarrollo de hardware y software aplicado en dispositivos electrónicos, donde el usuario a través de la cámara puede observar el objeto virtual en un entorno físico, es decir, realidad aumentada [13].

En la actualidad, existen muchos campos de aplicación de la realidad aumentada, entre los cuales se tiene: información turística, publicidad, educación y entretenimiento. Si nos enfocamos en la educación, el uso de dispositivos móviles y la accesibilidad a ellos permite a los estudiantes tomar contacto con objetos virtuales en un entorno físico con lo cual se facilita el aprendizaje.

La creación de la realidad aumentada se implementa debido a que el usuario requiere de visualizaciones más complejas, es decir, objetos en 3D con ambientes más reales; por lo que, partiendo de la realidad virtual con objetos en 2D, efectúa la inserción de ambientes, donde el usuario pueda interactuar, con elementos simulados.

#### Arquitectura de la realidad aumentada

La arquitectura referencia a dos características principales, tales como la visualización y seguimiento [15], que a su vez parten de la estructura de los sistemas de AR los siguientes componentes [16]:

1. **Aplicación:** Se referencia a la parte lógica y contenidos del sistema.
2. **Tracking:** Comprueba la posición de usuarios y objetos.
3. **Control:** Analiza las entradas que el usuario puede tener.
4. **Presentación:** Es la representación gráfica.
5. **Contexto:** Diferentes elementos que complementan el contexto.
6. **Modelo del Mundo:** Visualización de los datos e información de los objetos del entorno virtual y/o real.

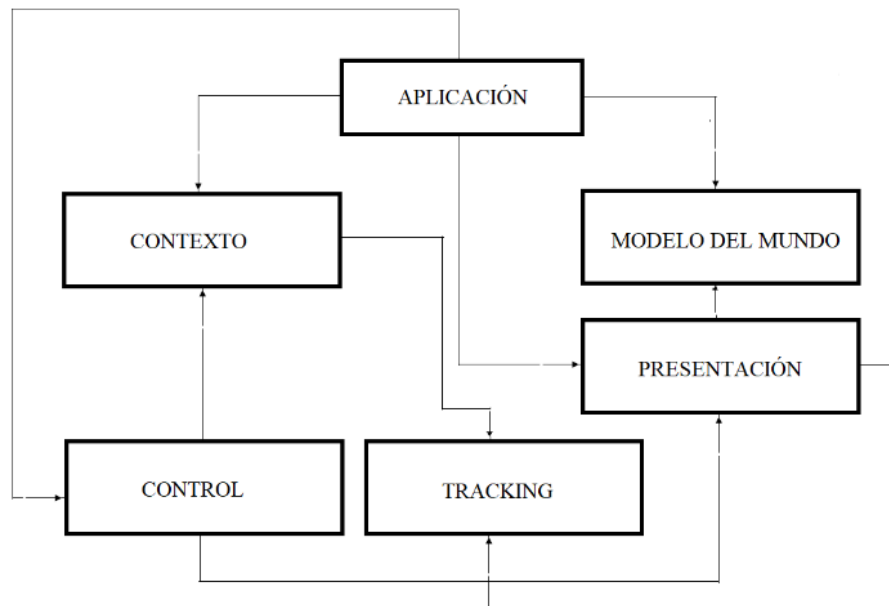


Figura 5.35 *Arquitectura de sistemas AR*

**Fuente:** *Obtenido en [16]*

En sí, la estructura de estos sistemas suele variar debido a que algunos de los componentes anteriores pueden ser omitido o combinarse entre sí, pero siempre manteniendo la similitud entre el ambiente virtual y real. Por lo que, las nuevas arquitecturas han ido complementando a las anteriores porque analizan mayor datos e información, y mejoran la visualización para el usuario y permitiendo una alta resolución de objetos 3D.

#### Niveles de realidad aumentada

AR cuenta con 4 niveles, siendo el nivel 0 el menos complejo y el nivel 3 el más completo implementando mayor número de componentes en la visualización de elementos [13] [17]

1. Nivel 0: Enlaza el mundo físico mediante patrones en 2D conocidos como códigos de barras y QR, manteniendo enlace con sitios web u otros directorios, pero sin visualización de objetos en 3D.
2. Nivel 1: Es basado en marcadores o patrones de referencia, tales como figuras geométricas en escala de grises, donde el dispositivo lector, lo reconoce para cumplir con diferentes acciones configuradas.
3. Nivel 2: Este nivel no cuenta con marcadores, pero se relaciona con localizaciones GPS del dispositivo lector, obteniendo con la ubicación y posición del equipo. para que el usuario pueda relacionarse en tiempo real.

4. Nivel 3: Al ser el último nivel, se ha implementado la visualización aumentada a través de dispositivos con alta tecnología que permita al usuario interactuar con su entorno.

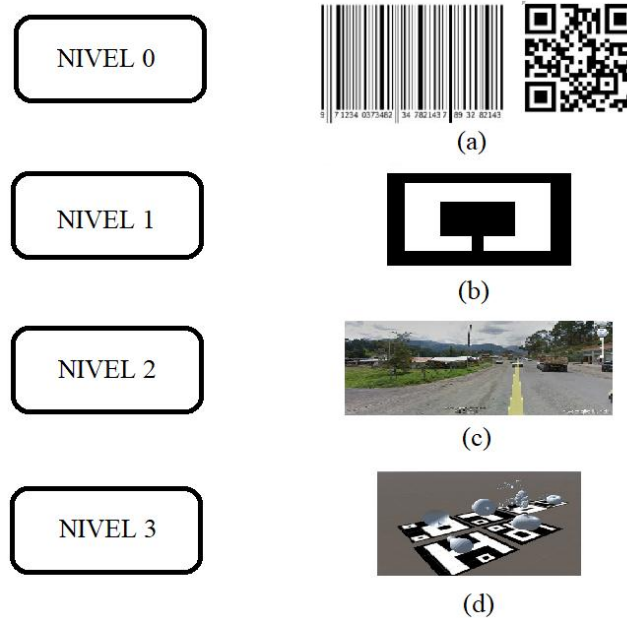


Figura 5.36 (a) Nivel 0: Código de barras y QR [13], (b) Nivel 1: Patrón en escala de grises, fuente autor, (c) Nivel 2: Sistema de GPS [16], (d) Nivel 3: Visualización de patrones en Unity

**Fuente:** Autores

Aplicaciones de la realidad aumentada en la vida real

AR en educación

A partir de las necesidades de maestros para realizar un aprendizaje interactivo con sus alumnos, AR ha conseguido servir como un recurso significativo en el ámbito de educación, pero no se debe confundir como una solución total, es decir, considerarla solo como un aporte para los alumnos y docentes [17] [18].

Algunos estudios requieren de AR debido a que son análisis o visualizaciones demasiado complejas, entonces ha sido implementado en laboratorios virtuales, los cuales facilitan a los alumnos en diferentes ramas [12] [13]. Los laboratorios virtuales permiten la simulación de entornos virtuales de aprendizaje (EVA) porque los alumnos visualizan equipos, materiales e infraestructura que presencialmente no se tiene [13] [19].

En Nueva Zelanda permitió que los alumnos puedan leer información virtual pero visualizados en libros reales denominados *Magic Book*. Los alumnos mediante un dispositivo de mano enfocan a cierto patrón establecido para que el software muestre el contenido previamente configurado [20] [21].



Figura 5.37 Usuario visualizando Magic Book

Fuente: Obtenido en [20]

Harvard y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) han desarrollado aplicaciones con AR en formato de juegos y laboratorios, implementando grupos o programas con los cuales los estudiantes combinen su entorno real con lo virtual.

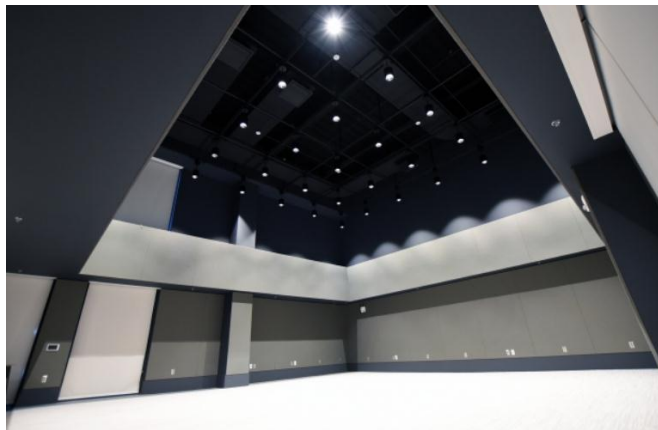


Figura 5.38 MIT immersion lab

Fuente: <https://mitnano.mit.edu/research-capabilities/immersion-lab>

Telefónica ha creado laboratorios capaces de permitir la interacción entre niños y jóvenes denominado *Talentum School* brindando el desarrollo de capacidades en los diferentes campos como programación, robótica o creación de aplicaciones móviles [17] [22].



Figura 5.39 Laboratorio de Talentum School

Fuente: Obtenido en [22]

## AR en ingeniería

AR se ha implementado en diferentes campos de educación superior, tales como, ingeniería, arquitectura, medicina, entre otros; permitiendo al usuario la facilidad de una nueva herramienta para complementar la parte teórica con modelos virtuales y ambientes de simulación, en ramas de ingeniería Civil, Industrial, de Sistemas, Electrónica, etc. [19] [23].

Para ingeniería Civil ha complementado con estudios y construcción de edificaciones, puentes, entre otros, brindando una ayuda al usuario en el ámbito visual aplicado en situaciones reales. El Instituto Politécnico de la Universidad de New York cuenta con cursos basados en técnicas de modelado 3D en construcción, permitiendo que, desde el primer semestre de los estudiantes, sean capaces de llegar a la programación y visualización de aplicaciones que cuenten con AR. Esto ha facilitado a la ingeniería civil, ya que se puede contar con cálculos y simulaciones en tiempo real, permitiendo que los estudiantes visualicen todo su trabajo [24].



Figura 5.40 AR para estructuras de construcción

Fuente: Obtenido en [25]

En la ingeniería Eléctrica se ha empleado de manera que se pueden calcular y visualizar torres de alta tensión, proporcionando al alumno facilidades y evitando el traslado a ciertos lugares que pueden ser de riesgo.



Figura 5.41 Torre de alta tensión mediante AR

Fuente: Obtenido en [26]

Para la electrónica, la simulación y visualización de placas de circuitos permite a los alumnos la representación una vez implementada, concediendo alguna modificación antes de la fabricación de esta. Por otra parte, puede brindar información de cada componente, es decir, encontrar los valores de resistencias, polaridad, rangos de trabajo o saturación, etc., evitando el daño de la placa [26].

En la Universidad Internacional de La Rioja cuenta con una aplicación capaz de realizar circuitos simulados, detectando los valores de cada elemento y la conexión dependiendo de la polaridad de cada elementos, para proseguir con la animación de cargas eléctricas, es decir, permite al usuario observar la propagación de carga mediante animaciones, y proporcionando corriente, voltaje y resistencia [27].



Figura 5.42 Placa de circuito de microcontrolador mediante AR

**Fuente:** *Obtenido en [26]*

A partir de la vinculación de la realidad aumentada y la educación, los ambientes y laboratorios virtuales forman parte esencial para la visualización de modelados en 3D, permitiendo que los usuarios, tanto alumnos como docentes, obtengan una herramienta que aporte en el refuerzo académico.



## CAPÍTULO 6: VISUALIZACIÓN DE PATRONES DE RADIACIÓN Y PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

En este capítulo se detalla el procedimiento para obtener los patrones de radiación de las diferentes antenas propuestas mediante visualización con realidad aumentada. Además, se presenta el desarrollo de una aplicación móvil compatible con los sistemas operativos tanto de Android como iOS, en la cual, mediante el uso de códigos QR asignados

a cada una de las antenas, se puede observar el modelo 3D del patrón de radiación junto con sus parámetros característicos tales como: S11, impedancia, VSWR y directividad.

Previamente se recomienda al lector la instalación de los siguientes softwares: Ansys HFSS, Unity 3D Game Engine y Blender. Para la generación de aplicaciones compatibles con el sistema operativo Android, es necesario la instalación del software Android Studio. Y, para generar aplicaciones compatibles con el sistema operativo iOS, lo recomendable es utilizar una computadora MAC con los softwares previamente descritos, excepto Android Studio, en su lugar se deberá descargar e instalar el software Xcode.

### Unity 3D Game Engine

Unity es un software utilizado para la creación de aplicaciones, juegos y experiencias en 2D y 3D. Dispone de versiones para Windows y Mac y además trabaja con plataformas como iOS y Android para el desarrollo de aplicaciones móviles. Este software es libre, es decir, puede ser descargado de manera gratuita para estudiantes, usuarios individuales, pequeñas empresas o aficionados.

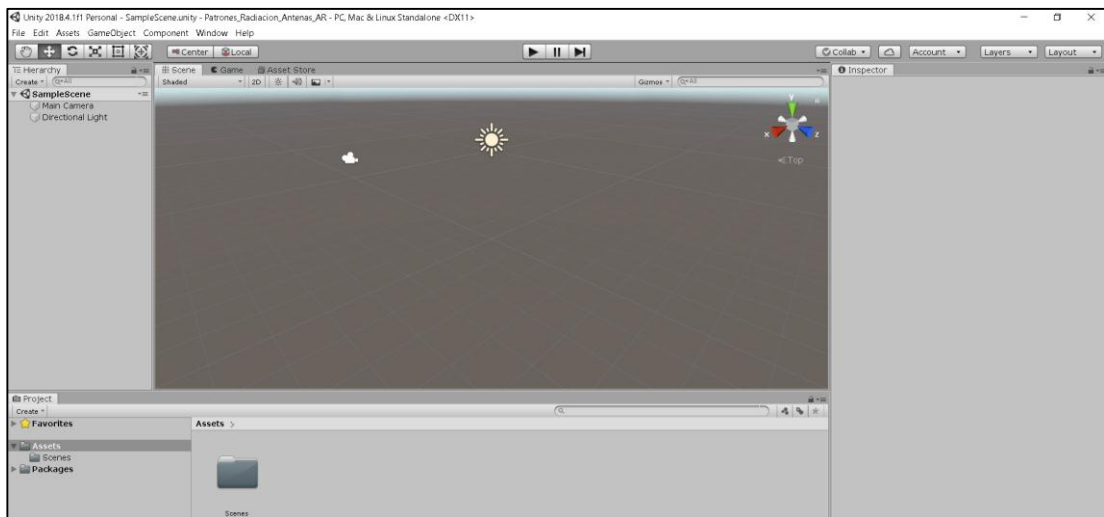


Figura 6.43 Entorno de desarrollo de Unity

Fuente: Unity

### Creación de un proyecto en Unity

Al ejecutar el software Unity en el computador, se abrirá una ventana la cual solicita la creación de un nuevo proyecto. En esta ventana se debe colocar el nombre del proyecto, la ubicación en el disco y además se debe escoger el formato (2D o 3D), en este caso se escoge 3D. Finalmente, dar clic en el botón Create project. Este procedimiento se detalla en la Figura 6.2.

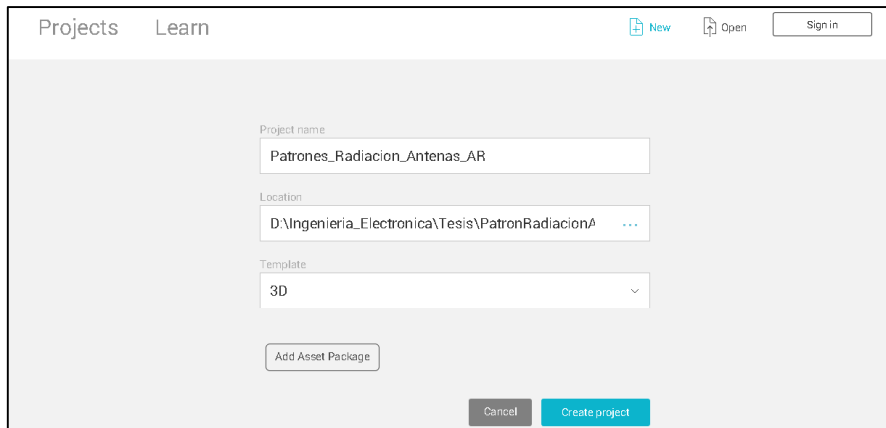


Figura 6.44 Procedimiento para la creación de un proyecto en Unity

Fuente: Unity

### Configuración de la plataforma

Al momento en que el proyecto ha sido creado, se mostrará en pantalla el entorno de desarrollo de Unity, similar al presentado en la Figura 6.1. El siguiente procedimiento a desarrollar es la configuración de la plataforma, para ello, en la barra de menú ingresar a File / Build Settings, se desplegará una ventana donde se tiene que seleccionar la plataforma en la cual se quiere trabajar. Entre las opciones más importantes se tiene: iOS, Android, PC, Mac, entre otros. Para este caso seleccionar Android. Posteriormente, dar clic en el botón Switch Platform con lo cual se cargará en el software Unity las configuraciones necesarias para trabajar en este sistema operativo.

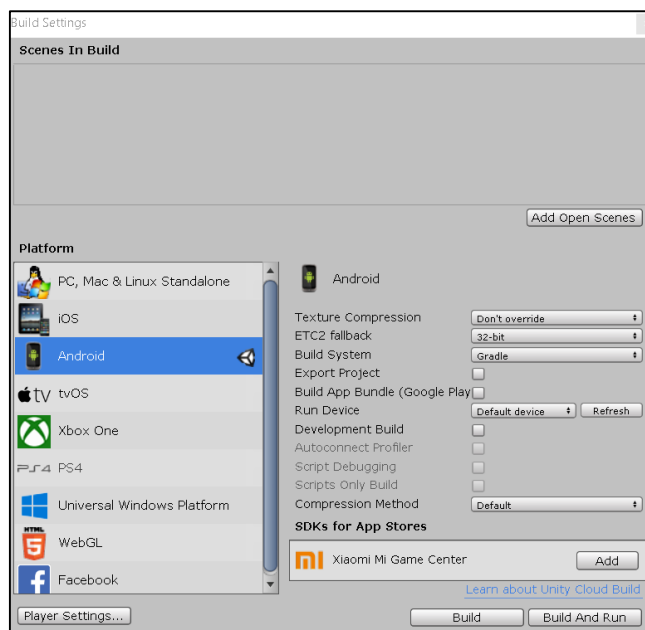


Figura 6.45 Ventana para la selección de plataforma del proyecto

Fuente: Unity

Una vez seleccionada la plataforma, dar clic en el botón Player Settings. Se abrirá una ventana denominada Inspector, en la cual se debe configurar el nombre de la compañía, el nombre del producto y la versión, tal como se muestra en la Figura 6.5.

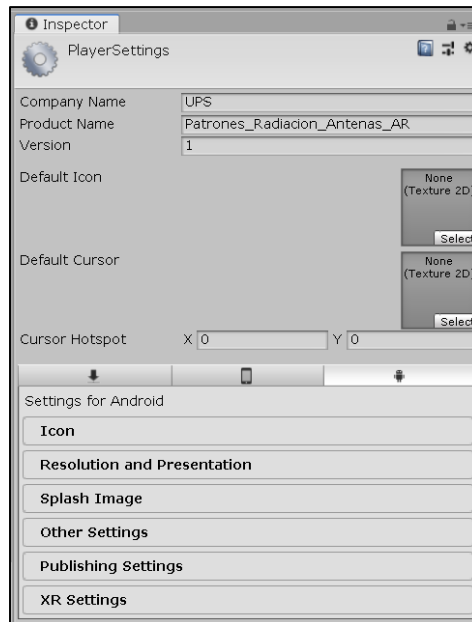


Figura 6.46 Ventana de configuración Inspector

Fuente: Unity

Al registrar los nombres, tanto de compañía, producto y la versión, el siguiente paso es configurar los ajustes de la plataforma Android. En la misma ventana Inspector, en la parte inferior ubicar Settings for Android y a continuación seleccionar Other Settings. De esta manera se desplegarán diferentes opciones. Seleccionar Identification y a continuación Package Name.

Por defecto se presentará el siguiente texto: “com.Company.ProducName” el cual debe ser reemplazado por el nombre del producto y compañía, establecidos como “Patrones\_Radiacion\_Antenas\_AR” y “UPS” respectivamente. Este proceso se detalla en la Figura 6.5.

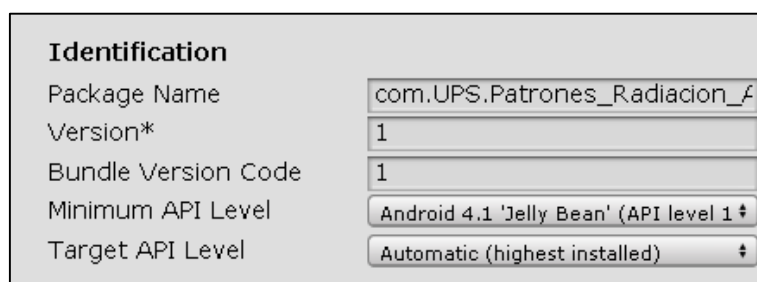


Figura 6.47 Configuración del nombre del paquete de la aplicación para Android

Fuente: Unity

En la misma sección Settings for Android, seleccionar XR Settings. Se desplegarán diferentes opciones. Debido a que se desea visualizar objetos con realidad aumentada, marcar la opción Vuforia Augmented Reality, tal como se muestra en la Figura 6.6.

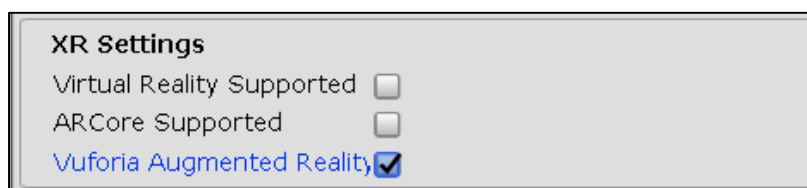


Figura 6.48 Configuración de la plataforma Unity para realidad aumentada

Fuente: *Unity*

## Instalación del SDK de Android

Para generar y ejecutar aplicaciones compatibles con la plataforma Android es necesario generar un paquete del tipo apk (.apk). Este paquete se encuentra incluido en el software Android Studio, el cual debe ser descargado e instalado en el ordenador.

Unity ofrece una herramienta de ayuda para enlazarse con Android Studio. En la barra de menú ubicar la opción Edit / Preferences, se abrirá una nueva ventana denominada Preferences. Seleccionar External Tools y a continuación ubicarse en la sección Android. En este apartado aparecerá la opción SDK junto con dos botones tanto de Browse como Download. Al dar clic sobre el botón Download se enviará a una página web para la descarga de Android Studio. Descargarlo e instalarlo en el computador.

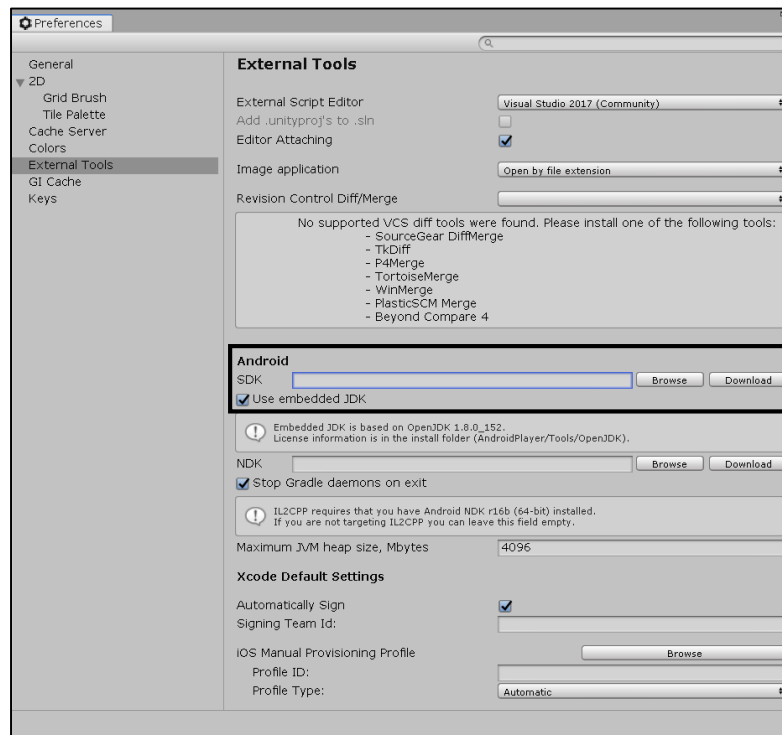


Figura 6.49 Configuración del SDK de Android en el software Unity

Fuente: *Unity*

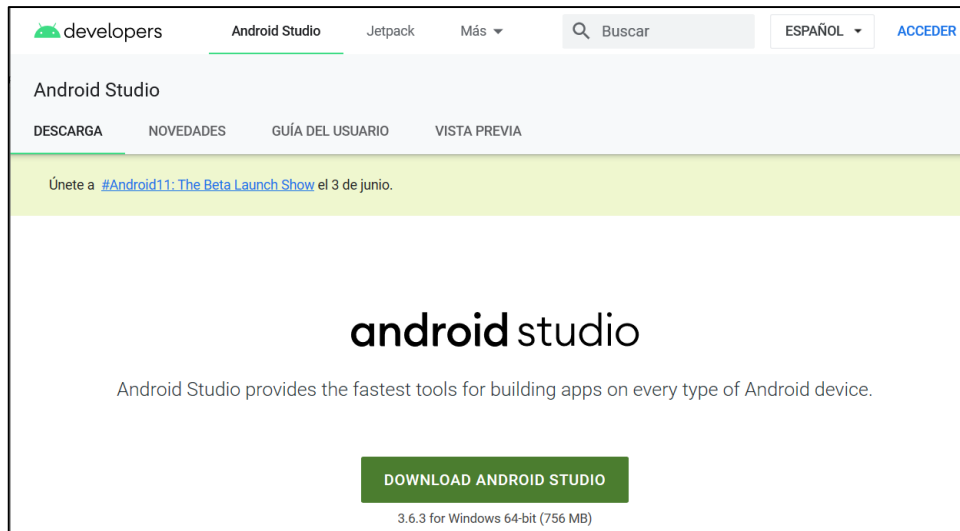


Figura 6.50 Página web generada para la descarga de Android Studio

Fuente: Autores

Posterior a la instalación de la plataforma Android Studio, ejecutar el software para ubicar la dirección de instalación del SDK en el ordenador. Esta ruta debe ser establecida en el software Unity para generar las aplicaciones compatibles con dispositivos Android.

Para realizar este proceso, seleccionar la opción Configure / SDK Manager. Se abrirá una nueva ventana en la cual aparecerá la ruta de localización del SDK de Android en el computador. Copiar esta dirección y pegarla en el SDK en el software Unity. Este procedimiento se presenta en las Figuras 9 y 10.

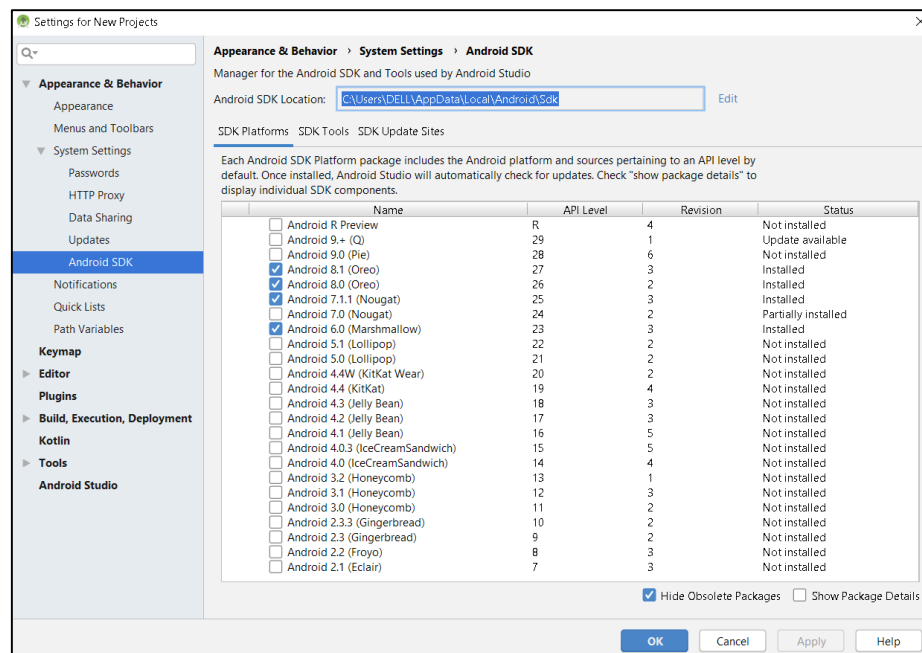


Figura 6.51 Ruta de localización del SDK de Android en el ordenador

Fuente: Android Studio

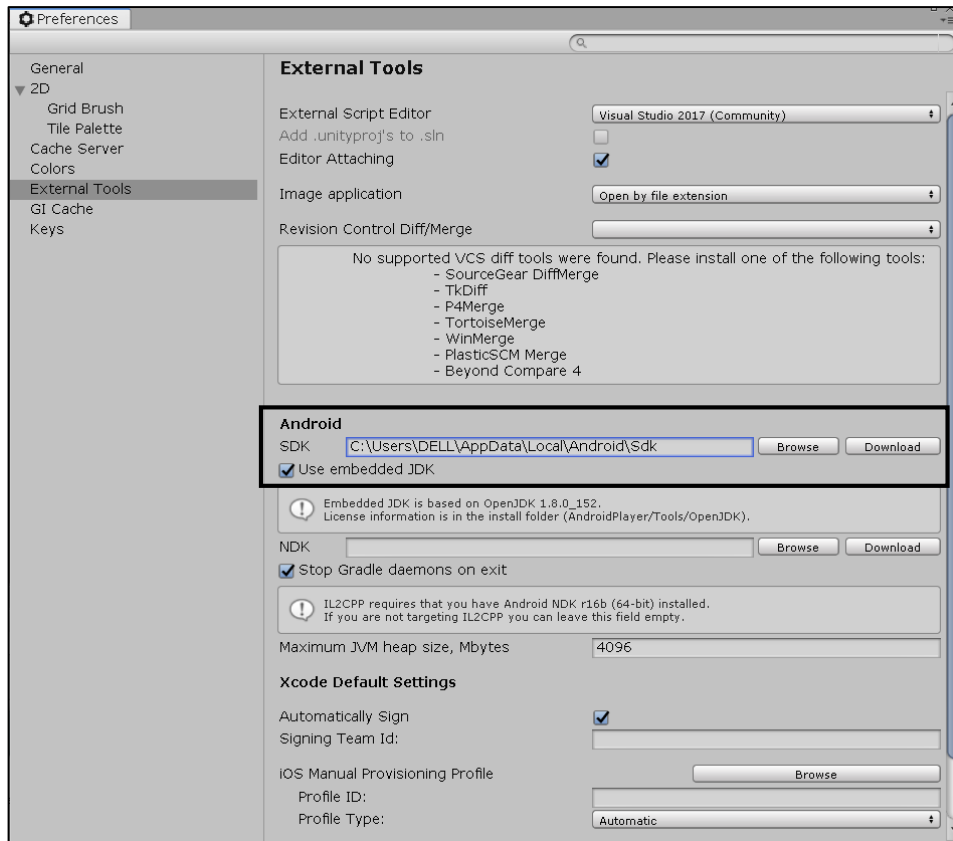


Figura 6.52 Asignación de la ruta del SDK de Android en la plataforma Unity

Fuente: Unity

### Vuforia Engine Developer Portal

Vuforia es una plataforma de software que permite la creación de aplicaciones con realidad aumentada mediante el reconocimiento de objetos o imágenes para la interacción con el mundo real.

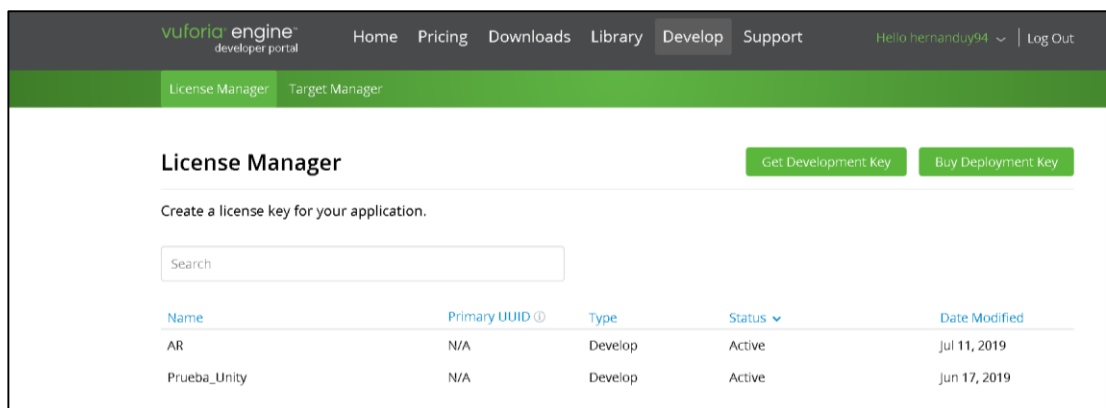


Figura 6.53 Entorno de desarrollo Vuforia

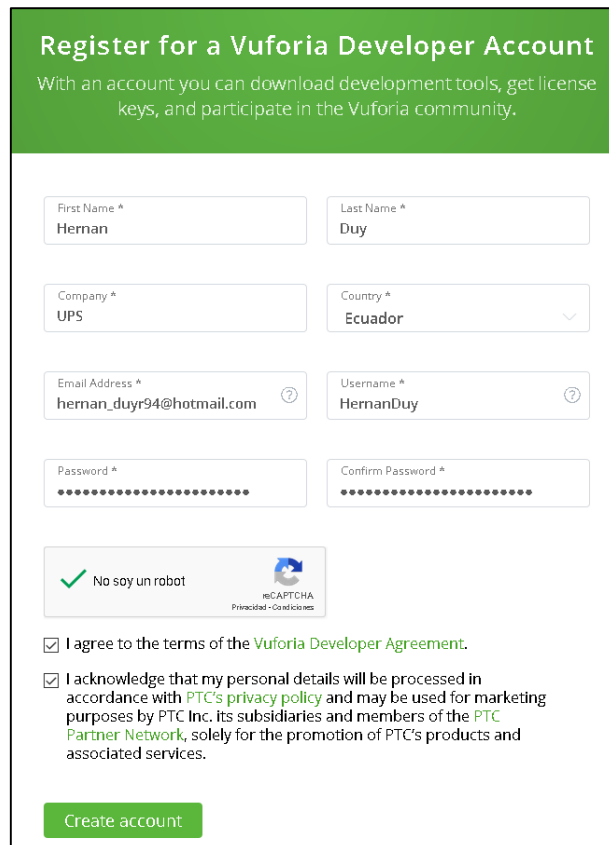
Fuente: Vuforia

### Creación de una cuenta en Vuforia Engine Developer Portal

La plataforma Vuforia se utilizará para el almacenamiento de imágenes (targets) tipo códigos QR, las cuales serán utilizadas para el reconocimiento de los modelos del patrón de radiación de las antenas propuestas. Además, Vuforia otorgará una licencia

gratuita que permitirá enlazarse con el software Unity para generar el proceso de realidad aumentada.

El primer paso es la creación de una cuenta, por lo que es necesario un correo electrónico personal del usuario. A continuación, acceder al siguiente enlace: <https://developer.vuforia.com/>, el cual presentará la página web del entorno de desarrollo Vuforia. Seleccionar la opción Register, ubicada en la parte superior derecha e ingresar la información solicitada y dar clic en el botón Create account. Este proceso se presenta en la Figura 6.12.



The image shows a registration form titled "Register for a Vuforia Developer Account". The form includes the following fields and elements:

- First Name \***: Hernan
- Last Name \***: Duy
- Company \***: UPS
- Country \***: Ecuador (dropdown menu)
- Email Address \***: herman\_duyr94@hotmail.com
- Username \***: HernanDuy
- Password \***: [Redacted]
- Confirm Password \***: [Redacted]
- reCAPTCHA**: "No soy un robot" with a green checkmark and the reCAPTCHA logo.
- Agreements**:
  - I agree to the terms of the [Vuforia Developer Agreement](#).
  - I acknowledge that my personal details will be processed in accordance with [PTC's privacy policy](#) and may be used for marketing purposes by PTC Inc. its subsidiaries and members of the [PTC Partner Network](#), solely for the promotion of PTC's products and associated services.
- Create account** button

Figura 6.54 Registro y creación de cuenta en la plataforma Vuforia

Fuente: Vuforia

Para finalizar con el registro en la plataforma Vuforia, un correo electrónico será enviado a la cuenta personal del usuario. Dar clic en el link generado para que de esta manera el registro sea completado con éxito.



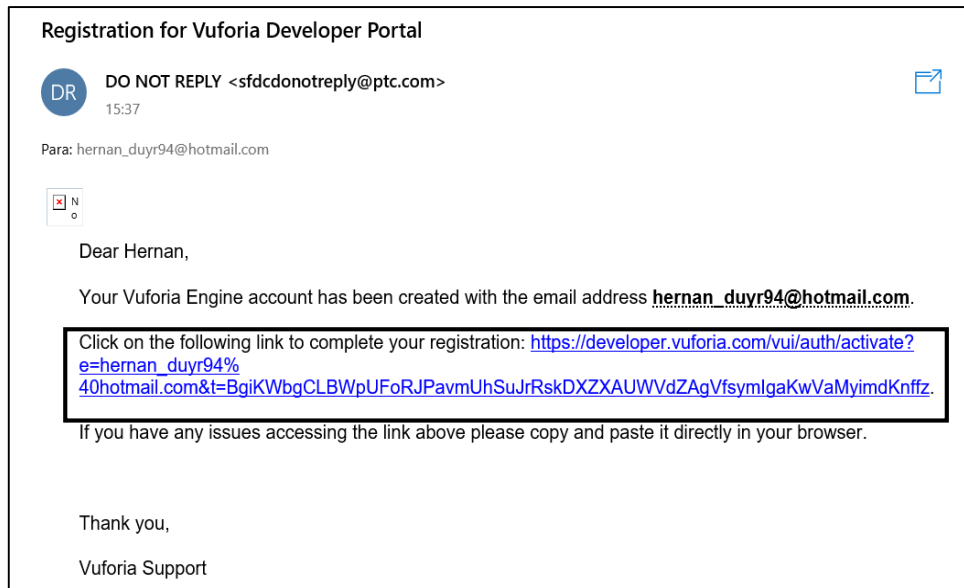


Figura 6.55 Correo electrónico de confirmación de registro en la plataforma Vuforia

Fuente: Outlook

Una vez que se ha cumplido con el registro, iniciar sesión en la plataforma Vuforia con el correo electrónico y la contraseña del usuario.

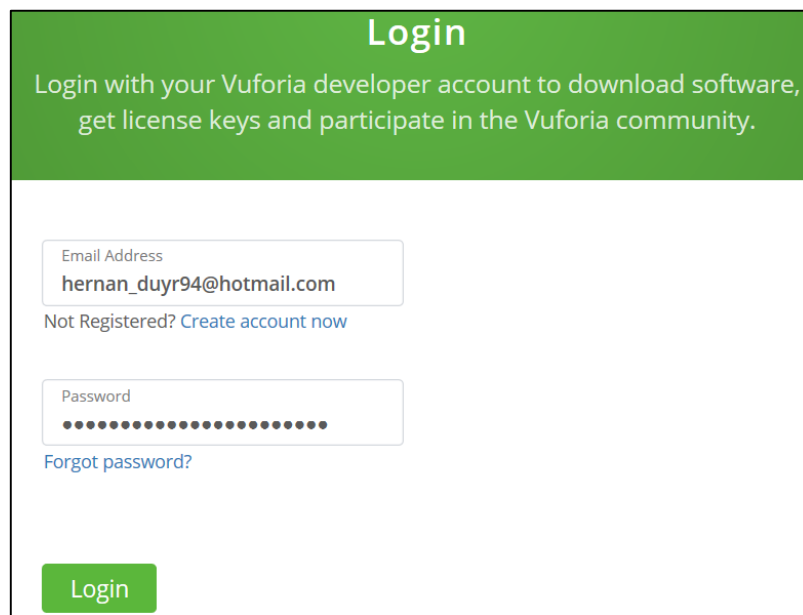


Figura 6.56 Inicio de sesión en la plataforma Vuforia

Fuente: Vuforia

Al iniciar sesión, es necesario solicitar una licencia para su uso en el software Unity, permitiendo la creación y desarrollo de objetos con realidad aumentada. Cabe destacar que la obtención de esta licencia se realiza de manera gratuita.

En la sección Develop, seleccionar Get Development Key, colocar un nombre a dicha licencia y seleccionar el casillero aceptando los términos y condiciones de uso de la plataforma. Dar clic en Confirm.

The screenshot shows the 'Add a free Development License Key' page in the Vuforia Developer Portal. At the top, there is a navigation bar with 'vuforia engine developer portal' on the left and 'Home', 'Pricing', and 'Downloads' on the right. Below this is a green header with 'License Manager' and 'Target Manager' tabs. The main content area includes a link 'Back To License Manager', a heading 'Add a free Development License Key', and a form with a 'License Name \*' field containing 'Patrones\_Radiacion\_Antenas\_AR'. Below the field is the text 'You can change this later'. The 'License Key' section lists details: 'Develop', 'Price: No Charge', 'Reco Usage: 1,000 per month', 'Cloud Targets: 1,000', 'VuMark Templates: 1 Active', and 'VuMarks: 100'. A checkbox is checked, with the text 'By checking this box, I acknowledge that this license key is subject to the terms and conditions of the Vuforia Developer Agreement.' At the bottom are 'Cancel' and 'Confirm' buttons.

Figura 6.57 Procedimiento para la obtención de una licencia en la plataforma Vuforia

Fuente: Vuforia

The screenshot shows the 'License Manager' interface. At the top right, there are two buttons: 'Get Development Key' and 'Buy Deployment Key'. Below the buttons is the text 'Create a license key for your application.' and a search input field. A table displays the following data:

Name	Primary UUID ⓘ	Type	Status ▾	Date Modified
Patrones_Radiacion_Antenas_AR	N/A	Develop	Active	May 25, 2020

Figura 6.58 Licencia generada

Fuente: Vuforia

Para acceder a la licencia, seleccionar el nombre con el que ésta ha sido creada en el paso anterior, copiarla y posteriormente pegarla en el software Unity.

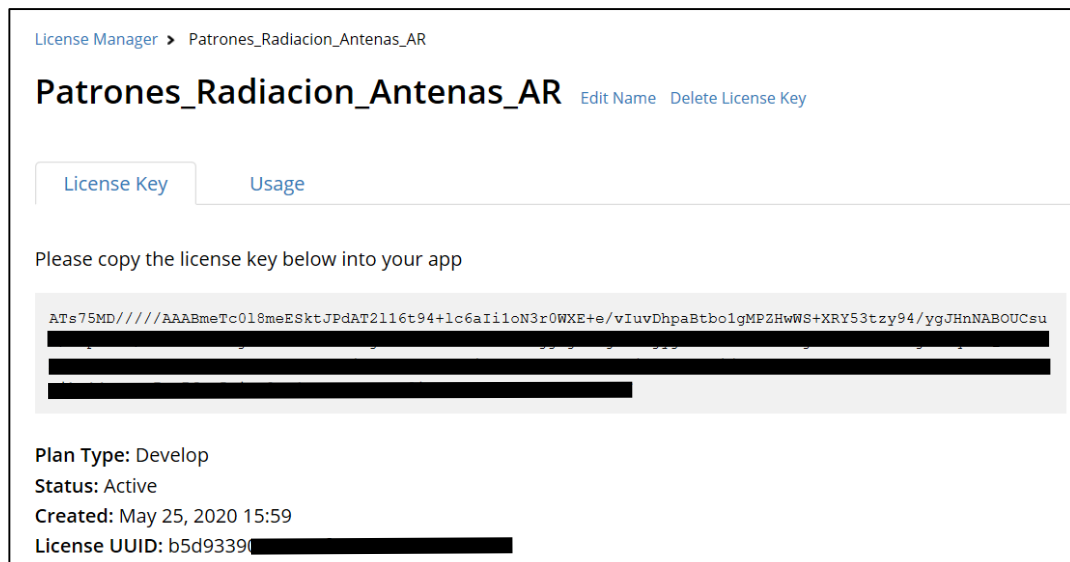


Figura 6.59 Clave de licencia generada

Fuente: Vuforia

Al copiar la clave de licencia, abrir el software Unity, ubicar en la barra de menú la opción GameObject / Vuforia Engine / AR Camera, lo cual abrirá un cuadro de diálogo en el que se solicita la importación de ciertas herramientas. Seleccionar Import y esperar un tiempo hasta que estas herramientas sean cargadas en el software Unity. A continuación, en el panel Hierarchy, seleccionar AR Camera y en la ventana Inspector, seleccionar Open Vuforia Engine Configuration. Este proceso se detalla en la Figura 6.18.

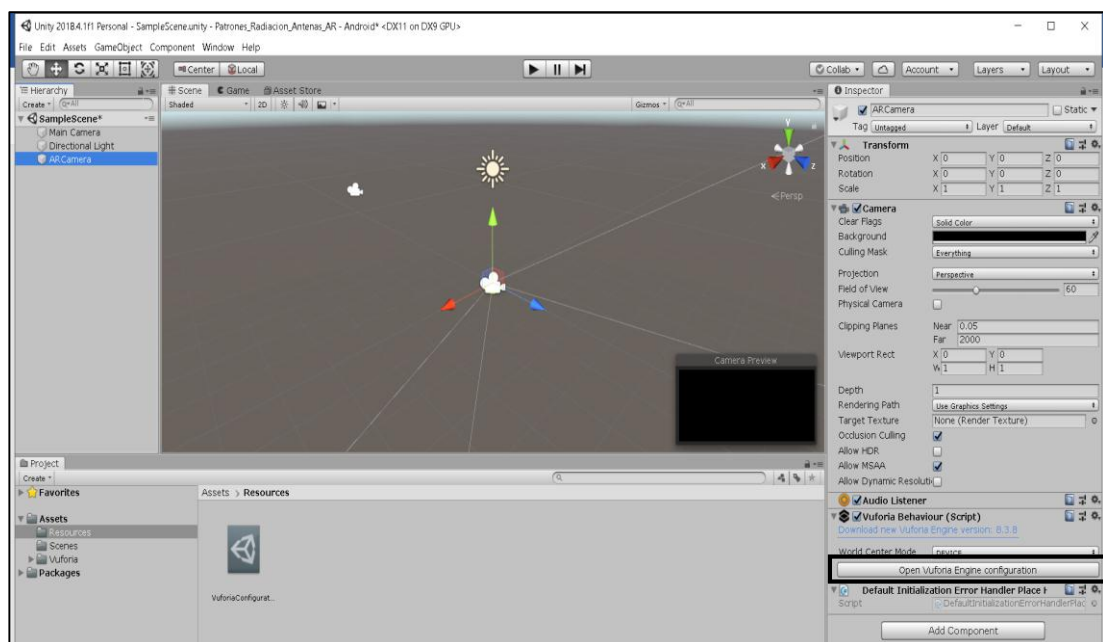


Figura 6.60 Configuración de Vuforia Engine en el software Unity

Fuente: Unity

Al dar clic en el botón Open Vuforia Engine configuration, se abrirá una nueva ventana denominada VuforiaConfiguration. Ubicar la opción App License Key y en este apartado, pegar la licencia generada en la plataforma Vuforia e inmediatamente dar clic en el botón Add License. De esta manera se realiza el enlace entre la plataforma Vuforia y el software Unity.

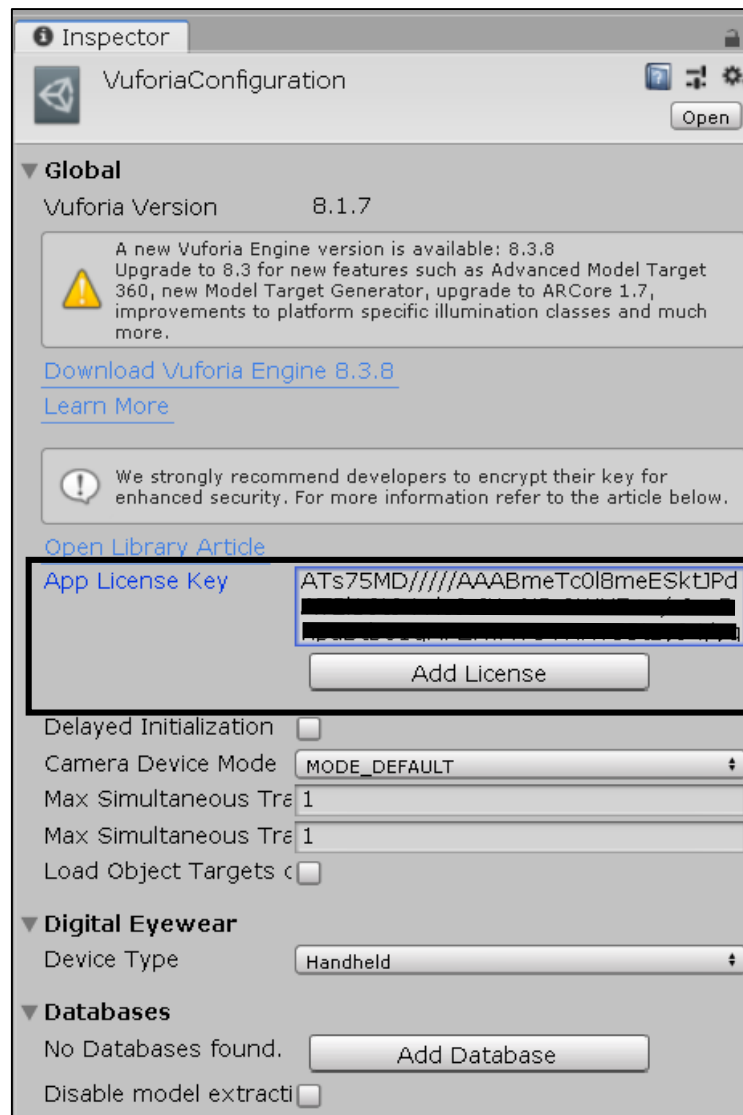


Figura 6.61 Licencia añadida en el software Unity

Fuente: Unity

### Creación de targets

Los targets son imágenes que, al ser enfocadas con una cámara de algún dispositivo móvil, presentan sobre ellas objetos en 3D con realidad aumentada. Para el presente proyecto, es necesario asignar un target diferente a cada una de las ocho antenas propuestas. Estos targets tienen la forma de códigos QR que fueron desarrollados mediante el uso de aplicaciones web. A continuación, se presentan los códigos QR desarrollados para cada antena.



Figura 6.62: Código QR asignado a una antena tipo dipolo

Fuente: Autores



Figura 6.63 Código QR asignado a una antena tipo log periódica

Fuente: Autores



Figura 6.64 Código QR asignado a una antena tipo parabólica

Fuente: Autores



Figura 6.65 Código QR asignado a una antena tipo discónica

Fuente: Autores



Figura 6.66 Código QR asignado a una antena tipo monopolo

Fuente: Autores



Figura 6.67 Código QR asignado a una antena tipo patch rectangular

Fuente: Autores



Figura 6.68 Código QR asignado a una antena tipo Yagi-Uda

Fuente: Autores



Figura 6.69 Código QR asignado a una antena tipo sectorial

Fuente: Autores

#### Creación de una base de datos en Vuforia Engine

Crear una base de datos en Vuforia es importante para añadir los diferentes targets creados, que posteriormente serán utilizados en el software Unity y asignados a cada uno de los modelos 3D del patrón de radiación de las antenas propuestas. Para ello, acceder a la página de Vuforia <https://developer.vuforia.com/>, en la sección Develop seleccionar la opción Target Manager / Add Database.



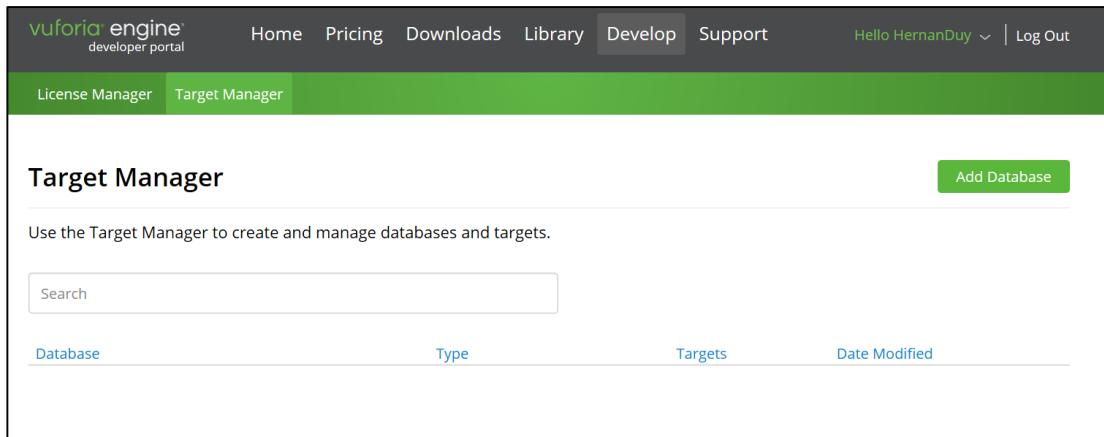


Figura 6.70 Procedimiento para crear una base de datos en la plataforma Vuforia

Fuente: Vuforia

Asignar un nombre a la base de datos y seleccionar el tipo Device. Una vez realizado esto, dar clic en la opción Create.

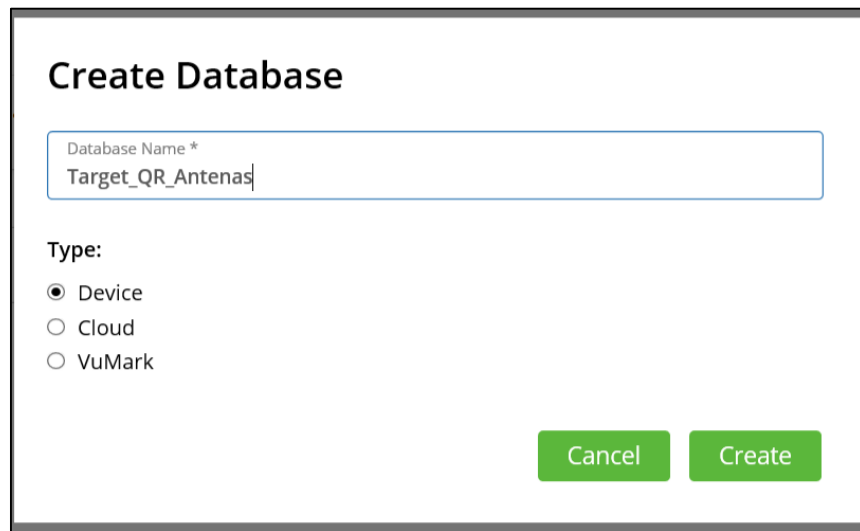


Figura 6.71 Creando una base de datos en Vuforia

Fuente: Vuforia

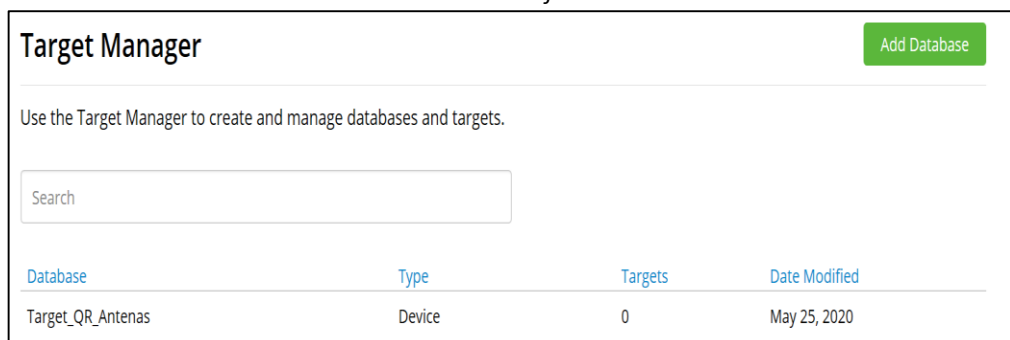



Figura 6.72 Base de datos creada en la plataforma Vuforia


Fuente: Vuforia


Al dar clic sobre la base de datos creada, seleccionar la opción Add Target. De esta manera podrán ser cargados los targets en forma de códigos QR en la plataforma Vuforia. Se abrirá una nueva ventana que solicitará el tipo de imagen, la ruta en el disco del computador del archivo con extensión .jpg o .png, un ancho del target y un nombre. Este proceso se presenta para la imagen tipo código QR de la antena dipolo, en la Figura 6.31.


### Add Target

**Type:**

  
Single Image

  
Cuboid

  
Cylinder

  
3D Object

**File:**

Dipolo.jpg Browse...

.jpg or .png (max file 2mb)

**Width:**

200 x

Enter the width of your target in scene units. The size of the target should be on the same scale as your augmented virtual content. Vuforia uses meters as the default unit scale. The target's height will be calculated when you upload your image.

**Name:**

Dipolo

Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.

Cancel Add









Figura 6.73 Procedimiento para cargar en la base de datos el código QR de una antena tipo dipolo

Fuente: Vuforia

Al seleccionar el botón Add, el target es cargado a la base de datos. Se realiza el mismo procedimiento para los demás códigos QR de las antenas propuestas.

Targets (8)

Add Target
Download Database (All)

<input type="checkbox"/>	Target Name	Type	Rating <sup>①</sup>	Status <sup>▼</sup>	Date Modified
<input type="checkbox"/>	 Sectorial	Single Image	★★★★★	Active	May 25, 2020 18:25
<input type="checkbox"/>	 QR_YagiUda	Single Image	★★★★☆	Active	May 25, 2020 18:24
<input type="checkbox"/>	 QR_Patch	Single Image	★★★★☆	Active	May 25, 2020 18:24
<input type="checkbox"/>	 QR_Monopolo	Single Image	★★★★☆	Active	May 25, 2020 18:24
<input type="checkbox"/>	 QR_Disconica	Single Image	★★★★★	Active	May 25, 2020 18:24
<input type="checkbox"/>	 Parabolica	Single Image	★★★★★	Active	May 25, 2020 18:23
<input type="checkbox"/>	 LogPeriodica	Single Image	★★★★★	Active	May 25, 2020 18:23
<input type="checkbox"/>	 Dipolo	Single Image	★★★★★	Active	May 25, 2020 18:23

Last updated: Today 06:26 PM Refresh

Figura 6.74 Códigos QR de las ocho antenas propuestas cargados en la base de datos en la plataforma Vuforia

Fuente: *Vuforia*

El siguiente paso es llevar esta base de datos hacia el software Unity, el cual debe estar ejecutándose en el computador. Seleccionar el botón Download Database (All). Aparecerá una nueva ventana, escoger la opción Unity Editor y dar clic en el botón Download.

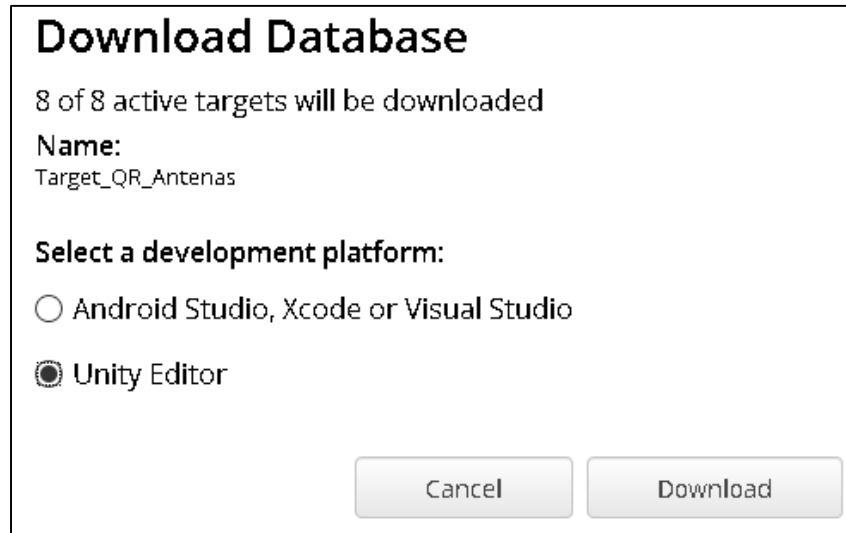


Figura 6.75 Procedimiento para realizar la descarga de la base de datos desde la plataforma *Vuforia*

Fuente: *Vuforia*

Se generará un cuadro de diálogo consultando si se desea abrir o guardar la base de datos. Seleccionar la opción Abrir con.

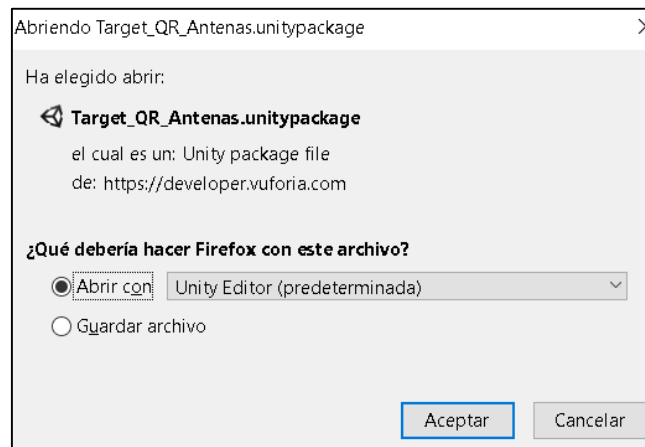


Figura 6.76 Opciones para abrir o guardar la base de datos generada en la plataforma *Vuforia*.

Fuente: *Vuforia*

Al seleccionar el botón Aceptar, nos enviará hasta el software Unity en el cual, aparecerá un cuadro de diálogo que solicita la importación de la base de datos. Seleccionar la opción Import e inmediatamente se cargarán los targets para realizar en ellos el proceso de realidad aumentada.

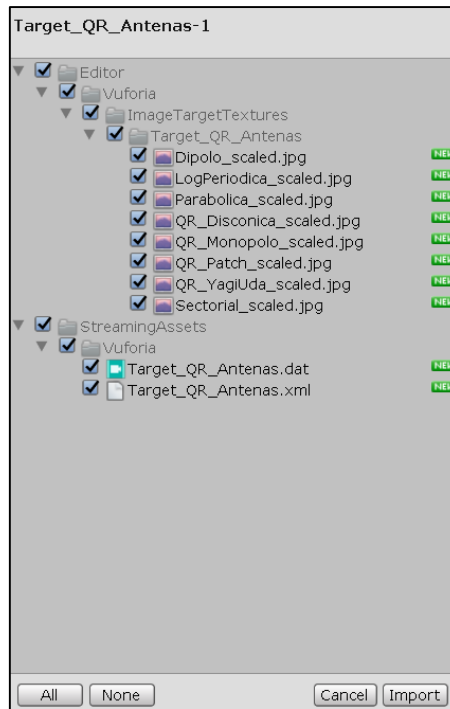


Figura 6.77 Importación de la base de datos en el software Unity

Fuente: Unity

Generación de objetos con realidad aumentada

A continuación, la Ilustración 1 describe el proceso para llevar un objeto con modelamiento 3D desde el software Ansys HFSS hasta el programa Unity, utilizado para generar la realidad aumentada:

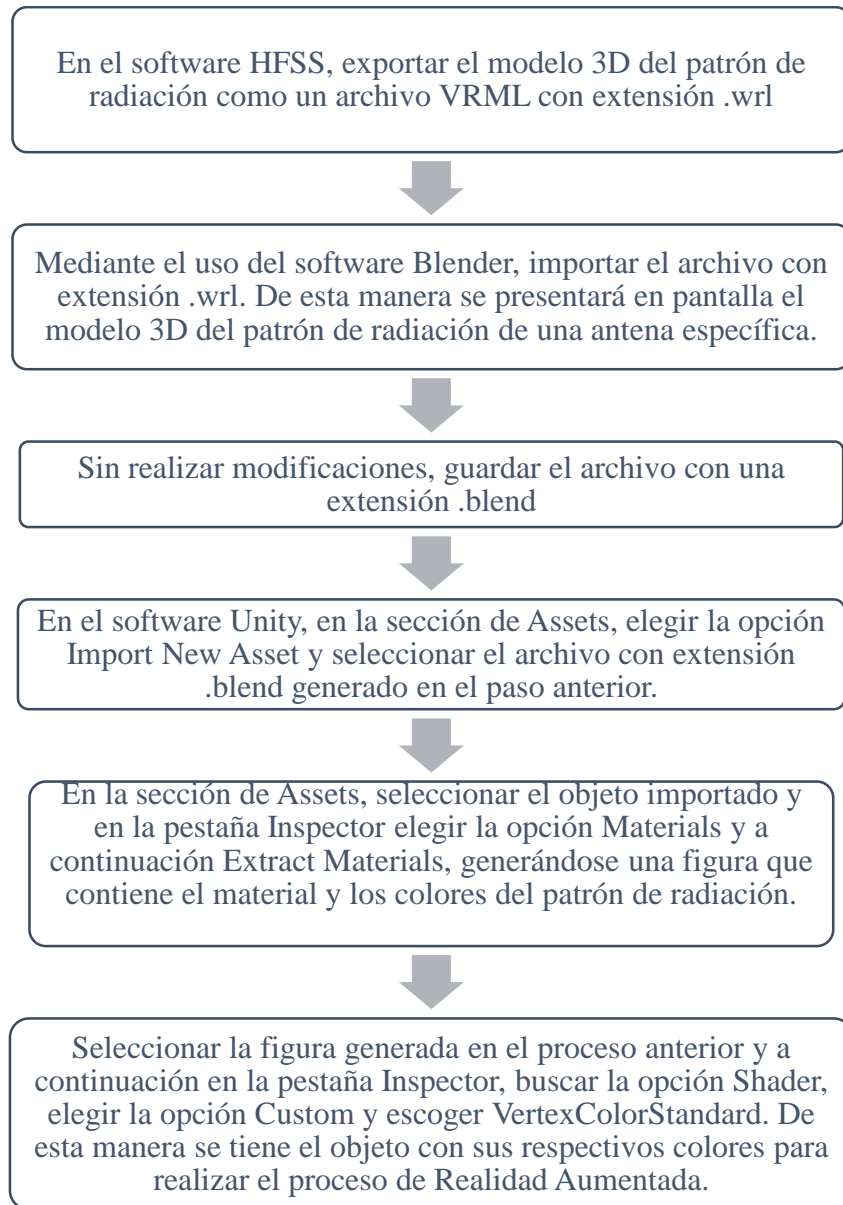


Figura 6.78 Procedimiento para generar objetos con realidad aumentada

Fuente: Autores

Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo dipolo

En el software Ansys HFSS, en la sección Results, seleccionar el patrón de radiación con modelamiento 3D de la antena tipo dipolo. Dar clic derecho sobre el objeto, desactivar la opción Colorkey Visibility y seleccionar Export.

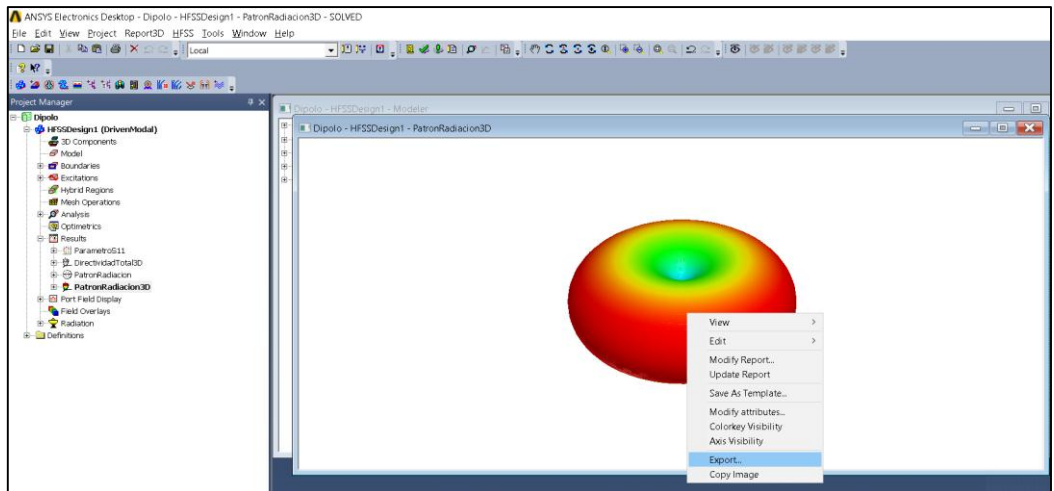


Figura 6.79 Exportación del modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo

**Fuente:** Ansys HFSS

Se abrirá una nueva ventana para seleccionar la carpeta y la ruta en la que se almacenarán los patrones de radiación exportados. Asignar un nombre al archivo y en el tipo, seleccionar la opción VRML Files (\*.wrl). Dar clic en Guardar.

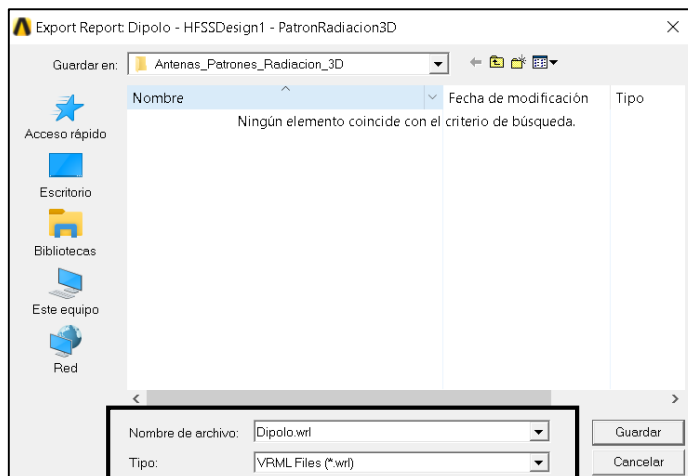


Figura 6.80 Generación del archivo VRML del patrón de radiación de la antena dipolo

**Fuente:** Ansys HFSS

Ejecutar el software Blender y en la barra de menú, seleccionar File / Import / X3D Extensible 3D (.x3d/.wrl) e inmediatamente buscar el archivo Dipolo.wrl generado en el paso anterior.

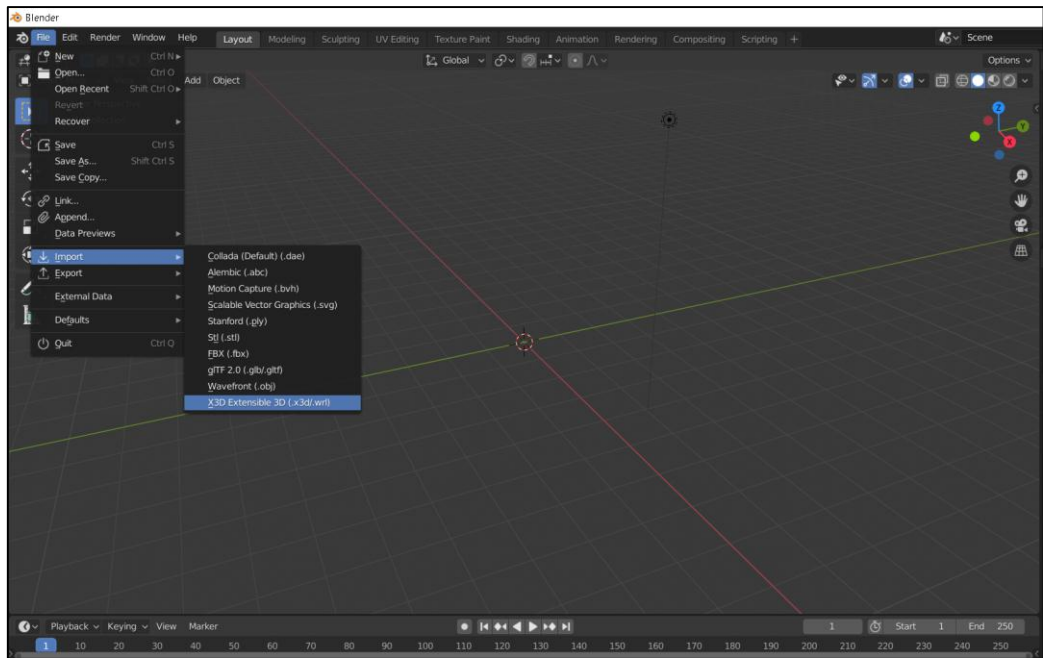


Figura 6.81 Importación del modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo

Fuente: Blender

Al importar el archivo con extensión .wrl aparecerá en pantalla el modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo, el cual se presenta en la Figura 6.40.

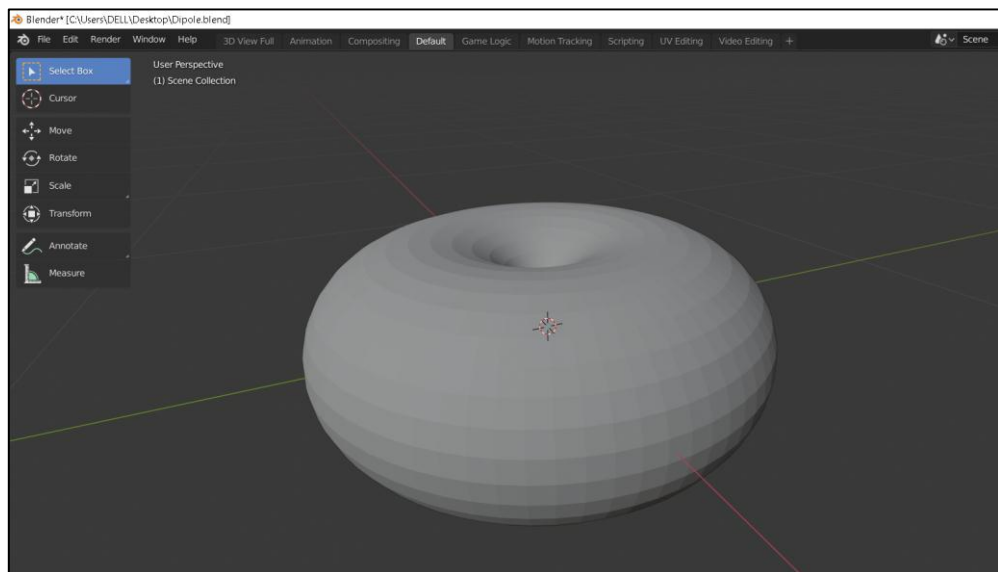


Figura 6.82 Modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo en el software Blender

Fuente: Blender

Sin realizar modificaciones, en la barra de menú seleccionar File / Save As. Se abrirá una ventana en la cual seleccionaremos la ruta en la cual se guardará el archivo. Se recomienda utilizar la misma ruta en la cual se generó el archivo con extensión .wrl. Asignar un nombre al archivo manteniendo ahora la extensión .blend y seleccionar el botón Save As.

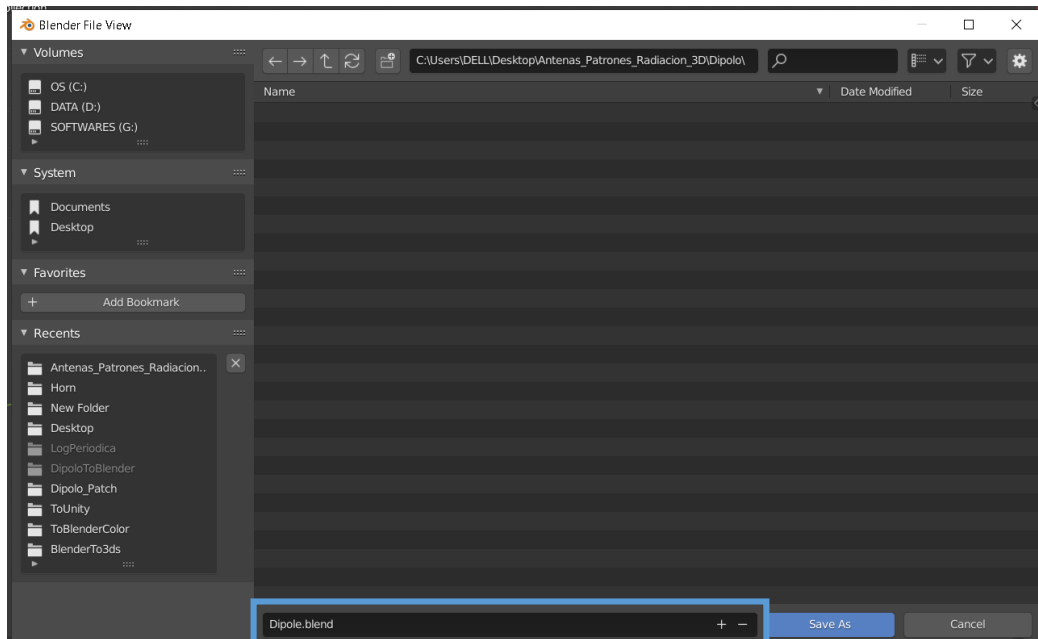


Figura 6.83 Generación del archivo .blend del patrón de radiación de la antena dipolo

Fuente: Blender

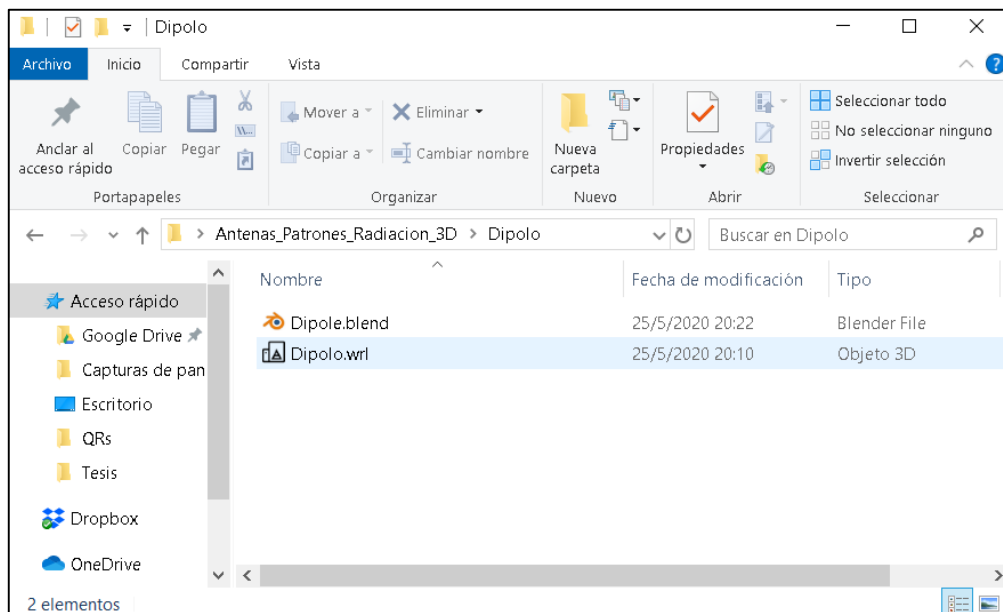


Figura 6.84 Archivos con extensión .blend y .wrl dentro de una misma carpeta

Fuente: Blender

El siguiente paso es llevar el archivo con extensión .blend hasta el software Unity. En la sección Project seleccionar la carpeta Assets y dentro de ella crear una nueva carpeta en donde se almacenarán los objetos 3D de los patrones de radiación de las antenas propuestas. Dar clic derecho en la sección Assets, seleccionar Create / Folder.



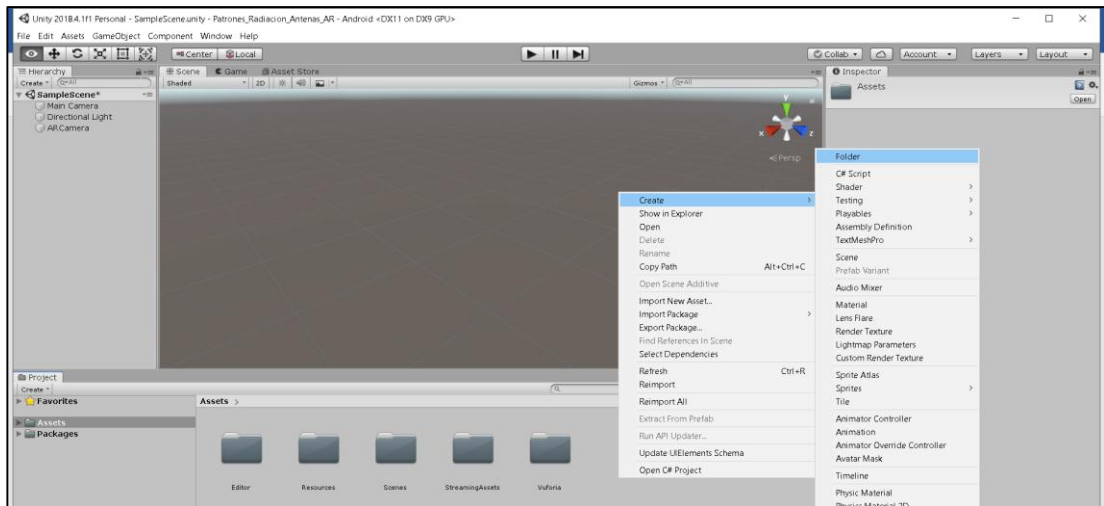


Figura 6.85 Creación de la carpeta para almacenar los objetos 3D de los patrones de radiación de las antenas propuestas

Fuente: Unity

Dentro de esta carpeta, a la cual se asignó el nombre Modelos 3D, se crea una nueva carpeta con el nombre de la antena en la cual se está trabajando. Para este caso, la nueva carpeta lleva el nombre de Dipolo. Ingresar dentro de esta carpeta, dar clic derecho, elegir la opción Import New Asset e inmediatamente seleccionar el archivo con extensión .blend generado con el software Blender. De esta manera obtenemos el modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo en el software Unity.

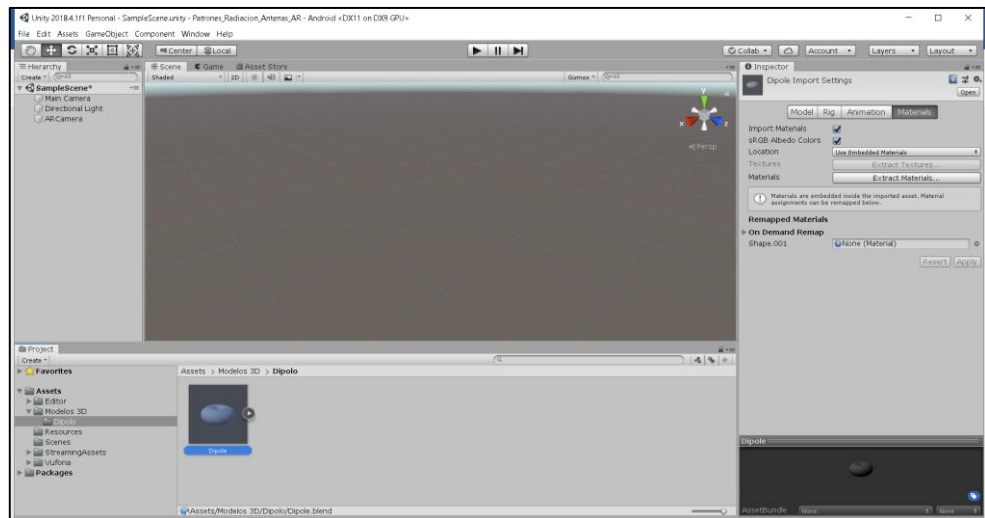


Figura 6.86 Modelo 3D del patrón de radiación de la antena dipolo en el software Unity

Fuente: Unity

En la ventana Inspector, seleccionar la opción Extract Materials, se abrirá una nueva ventana solicitando la ruta en la cual se guardará el material del objeto, seleccionar la ruta que aparece por defecto y dar clic en el botón Seleccionar carpeta.

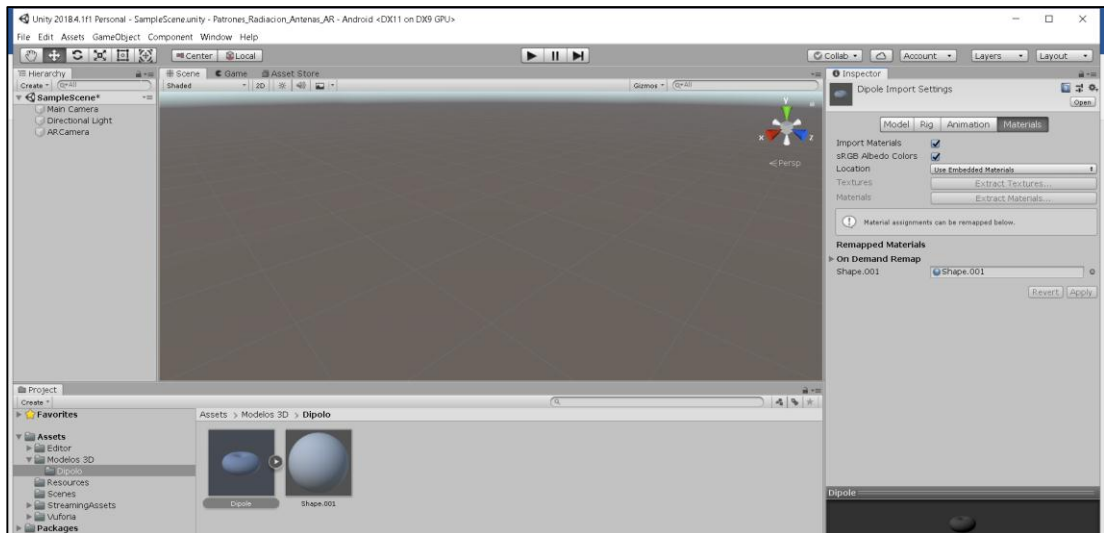


Figura 6.87 Extracción del material del objeto 3D del patrón de radiación de la antena dipolo  
Fuente: Unity

Para asignar los colores al modelo del patrón de radiación de la antena dipolo, es necesario la creación de un archivo que permita realizar este proceso, ya que como puede observarse, el modelo se encuentra en color gris. Para ello, dentro de la carpeta Dipolo, dar clic derecho y seleccionar la opción Create / Shader / Standard Surface Shader. A continuación, colocar el siguiente nombre “VertexColorsStandard” para posteriormente asignarlo al material generado.

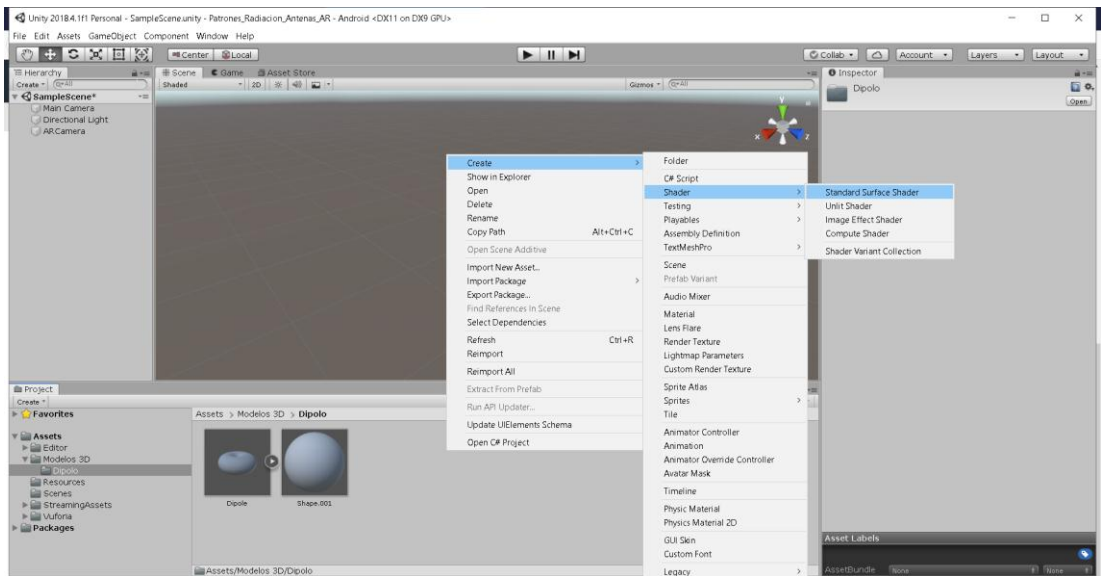


Figura 6.88 Generación de un archivo tipo shader para asignar los colores al patrón de radiación de la antena dipolo

Fuente: Unity

Una vez que se ha colocado el nombre al archivo .shader, ejecutarlo dando doble clic sobre él. Al abrirlo, aparecerá en pantalla un código de programación, el cual se recomienda borrarlo y reemplazarlo por el que aparece en la Figura 6.47. A continuación dar clic en Guardar todo y cerrar el archivo.

```

1 Shader "Custom/VertexColorsStandard"{
2   Properties{
3     _Color("Color", Color)=(1,1,1,1)
4     _MainText("Albedo (RGB)", 2D) = "white"{}
5     _Glossiness("Smoothness", Range(0,1)) = 0.0
6   }
7   SubShader{
8     Tags {"RenderType" = "Opaque"}
9     LOD 200
10    CGPROGRAM
11    #pragma surface surf Standard fullforwardshadows
12    #pragma target 3.0
13    sampler2D _MainText;
14    struct Input {
15      float2 uv_MainText;
16      float4 color: COLOR;
17    };
18    };
19    half _Glossiness;
20    half _Metallic;
21  }
22  void surf(Input IN, inout SurfaceOutputStandard o) {
23    o.Albedo = IN.color.rgb;
24    o.Metallic = _Metallic;
25    o.Smoothness = _Glossiness;
26  }
27  ENDCG
28  }
29  Fallback "Diffuse"
30 }

```

Figura 6.89 Código de programación utilizado para asignar los colores originales al objeto 3D del patrón de radiación de la antena tipo dipolo

Fuente: <https://answers.unity.com/questions/923726/unity-5-standard-shader-support-for-vertex-colors.html>

Realizado este proceso, dentro de la carpeta Dipolo seleccionar el material y en la ventana Inspector, ubicar la sección Shader, desplegar la lista y elegir Custom / VertexColorsStandard y de esta manera los colores del patrón de radiación de la antena dipolo son asignados al material.

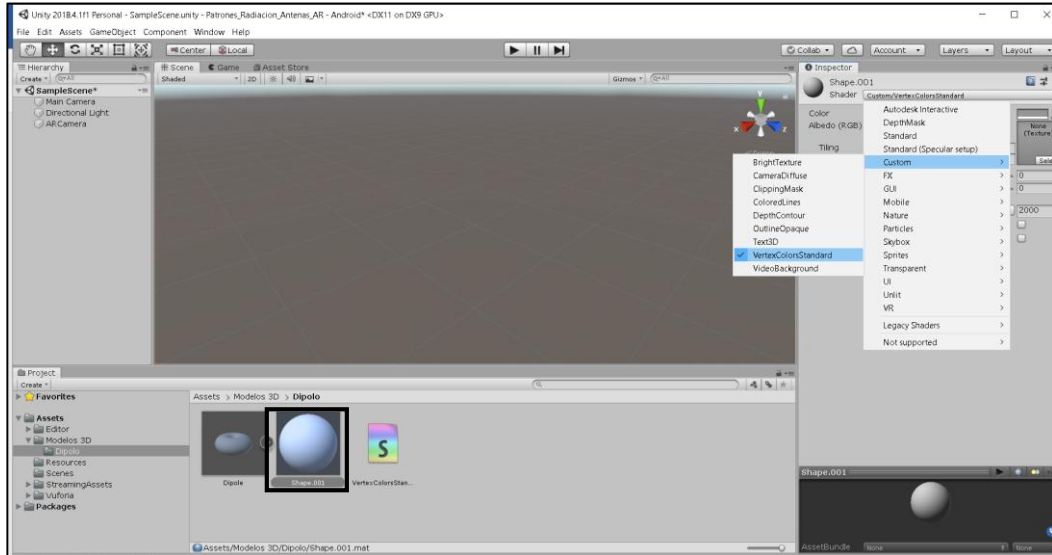


Figura 6.90 Asignación del shader VertexColorsStandard al modelo del patrón de radiación de la antena dipolo

Fuente:Unity

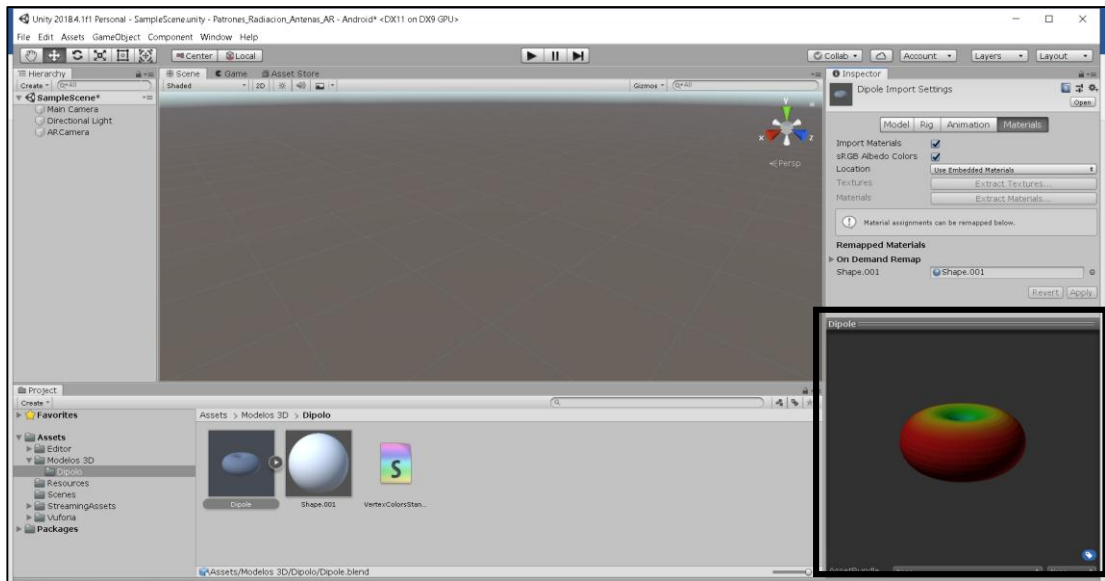


Figura 6.91 Patrón de radiación de la antena dipolo con sus colores originales

Fuente: Unity

En el instante que los colores son asignados al objeto, se procede a realizar el proceso de realidad aumentada. Colocar el target que corresponde a la antena dipolo dando clic derecho sobre AR Camera en el panel Hierarchy, seleccionar Vuforia Engine / Image. Se generará un target de manera aleatoria. Este proceso se detalla en la Figura 6.50.

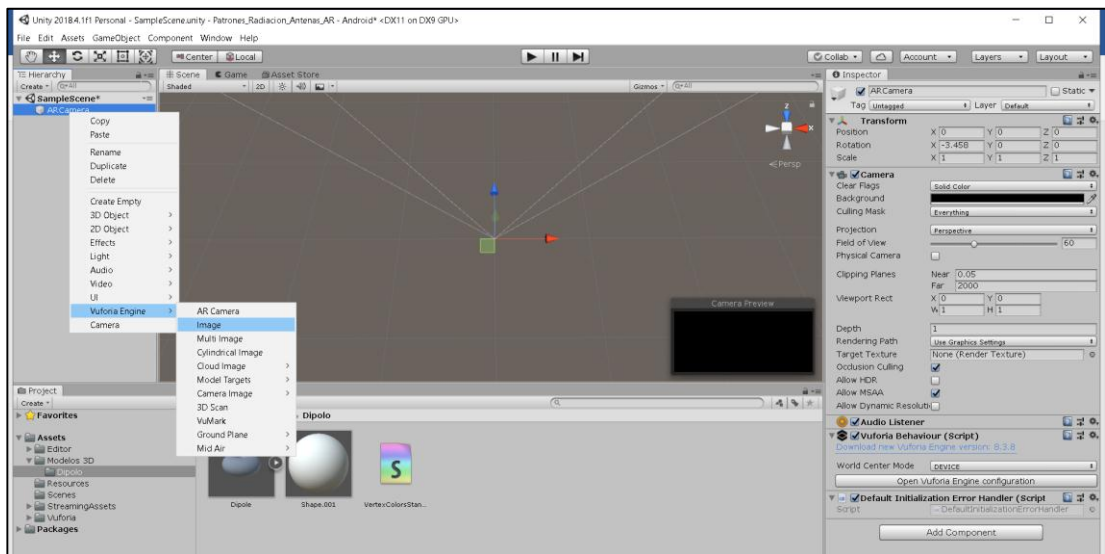


Figura 6.92 Procedimiento de generación del target para el reconocimiento del objeto

Fuente: Unity



Figura 6.93 Target generado de manera aleatoria

Fuente: Unity

Para realizar el cambio por el target correspondiente a la antena dipolo, en la ventana Inspector, ubicar la sección Image Target Behaviour (Script). Allí se puede observar que en la opción Database se encuentra cargada la base de datos que fue creada en Vuforia. A continuación, en la sección Image Target, desplegar la lista y seleccionar la opción Dipolo. Inmediatamente se generará el cambio en la ventana Scene.

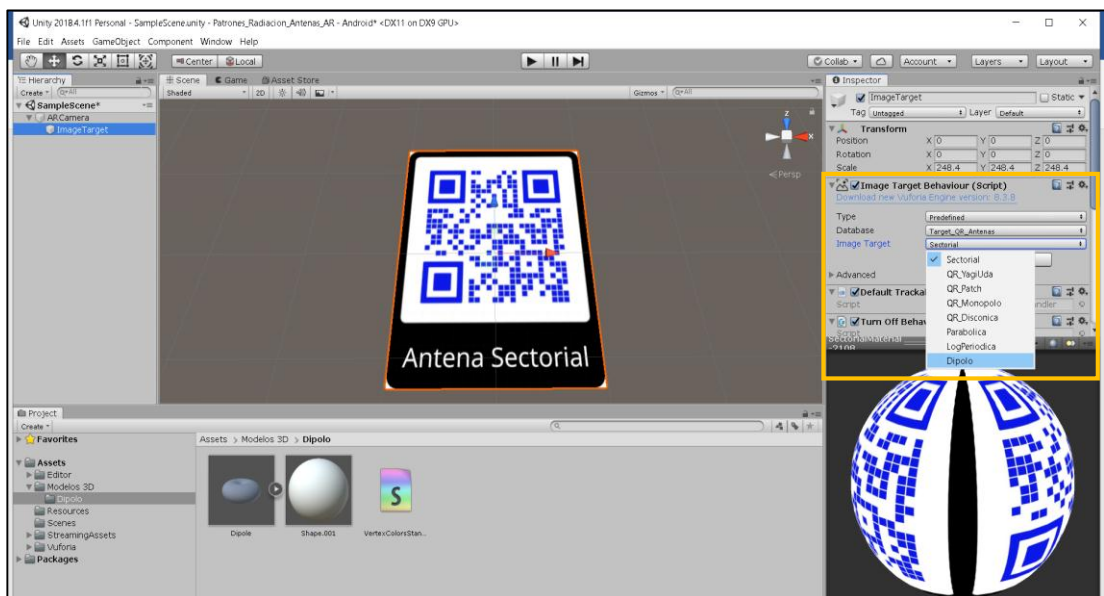


Figura 6.94 Procedimiento para realizar el cambio del target

Fuente: Unity

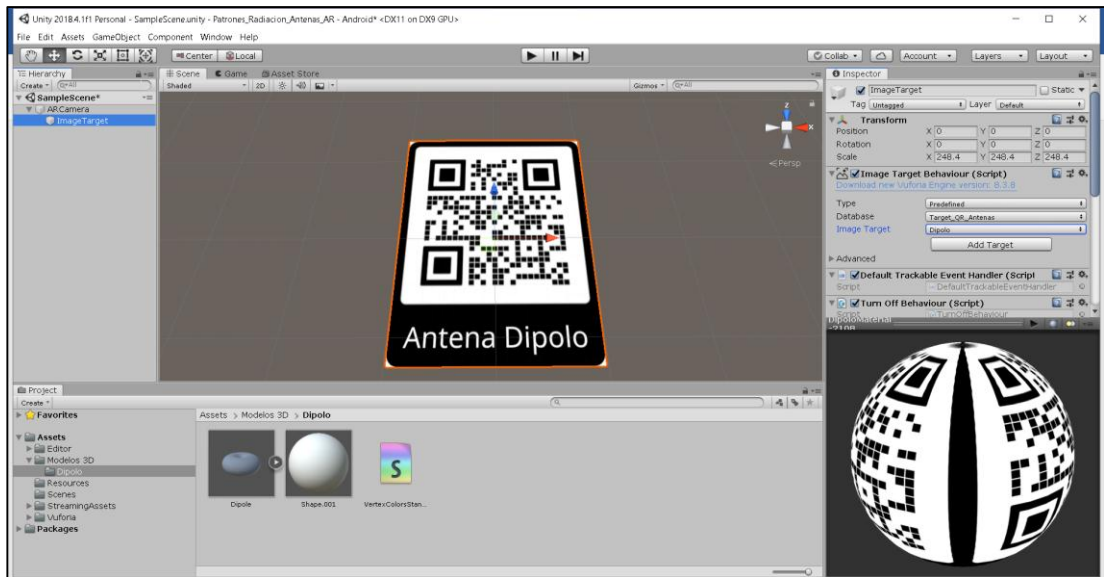


Figura 6.95 Target correspondiente a la antena dipolo

Fuente: Unity

Se debe colocar el objeto sobre el target, para ello, seleccionar el modelo del patrón de radiación de la antena dipolo, arrastrarlo hasta la ventana Hierarchy y colocarlo dentro de Image Target. Al realizar este proceso, se presentará el objeto en la ventana Scene ubicado sobre el target correspondiente.

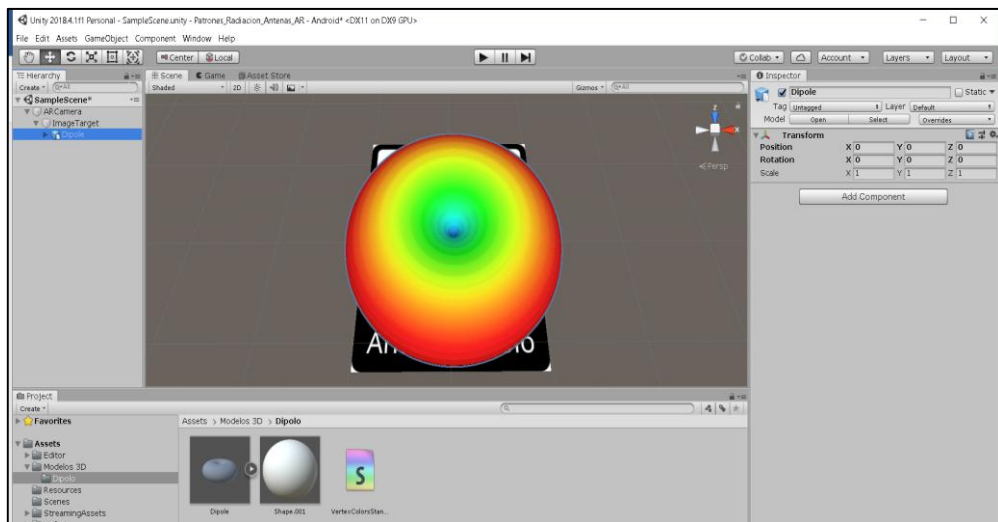


Figura 6.96 Modelo del patrón de radiación de la antena dipolo colocado sobre el target correspondiente

Fuente: Unity

Se recomienda cambiar el nombre del Image Target por el correspondiente a la antena en la cual se está trabajando, en este caso se asigna el nombre de Target-Dipolo. De esta manera se evitará confusiones con el resto de patrones de radiación de las diferentes antenas propuestas.

Para verificar el proceso de realidad aumentada, en la barra de herramientas de Unity, dar clic sobre el botón Play, lo cual activará la cámara del computador y, con un dispositivo móvil, colocar la imagen del código QR correspondiente a la antena dipolo frente a la cámara y se observará el modelo del patrón de radiación con realidad aumentada.

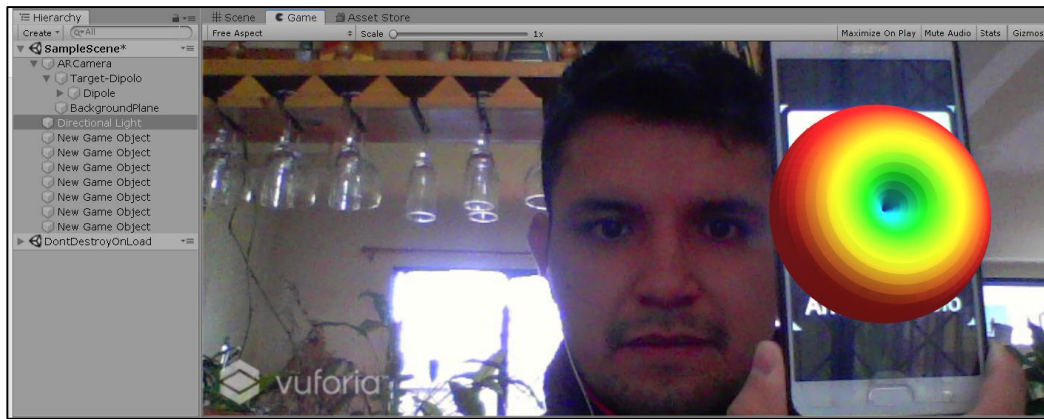


Figura 6.97 Modelo del patrón de radiación de la antena dipolo con realidad aumentada

Fuente: Unity

El procedimiento detallado hasta aquí es repetitivo para las demás antenas propuestas. Por esta razón, en adelante no se detallará el procedimiento de generación de realidad aumentada de cada modelo de patrón de radiación de las antenas propuestas, únicamente serán presentadas capturas de los resultados obtenidos.

Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo Yagi-Uda

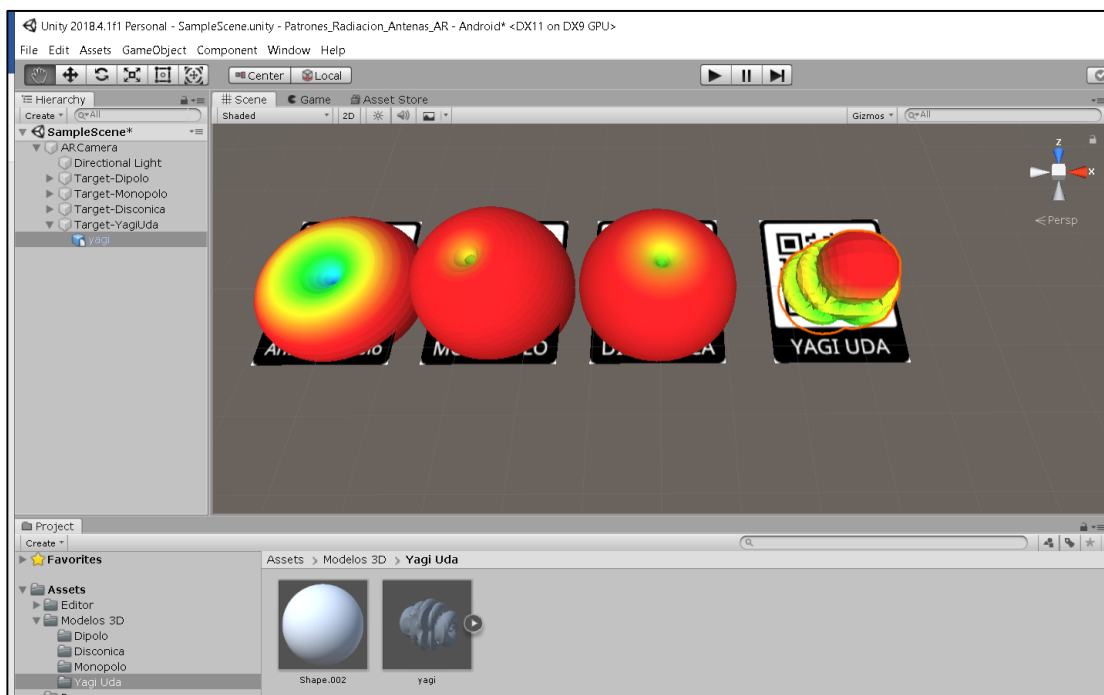


Figura 6.98 Colocación del modelo del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda en su respectivo target

Fuente: Unity



Figura 6.99 Modelo del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda con realidad aumentada

Fuente: Unity

Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo parabólica

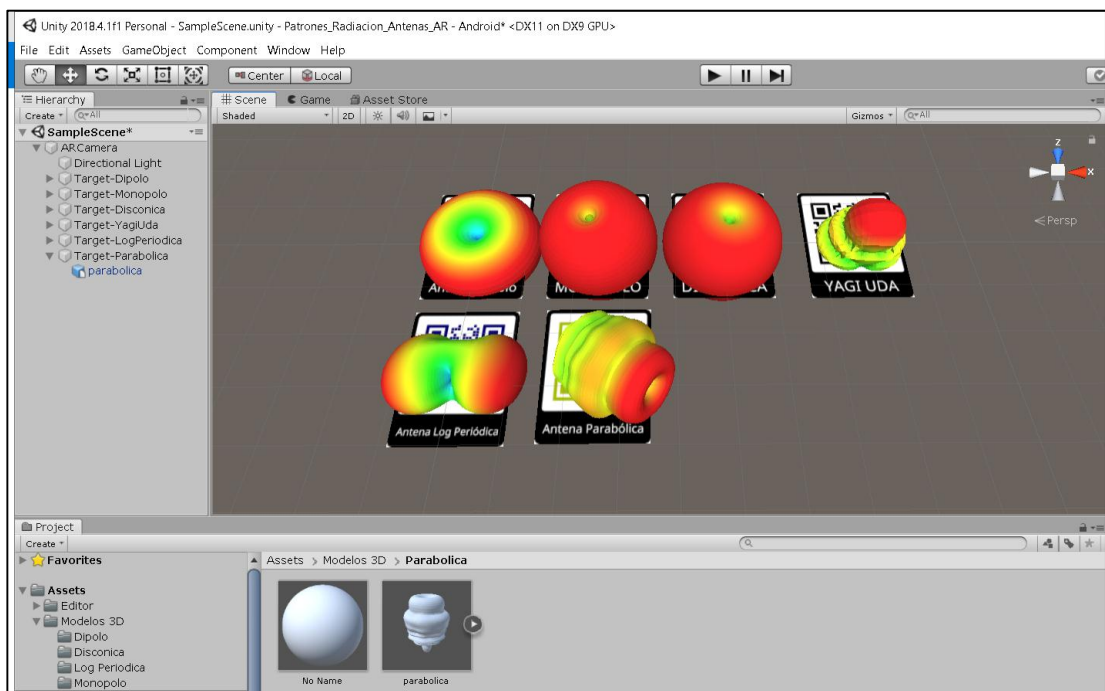


Figura 6.100 Colocación del modelo del patrón de radiación de la antena parabólica en su respectivo target

Fuente: Unity



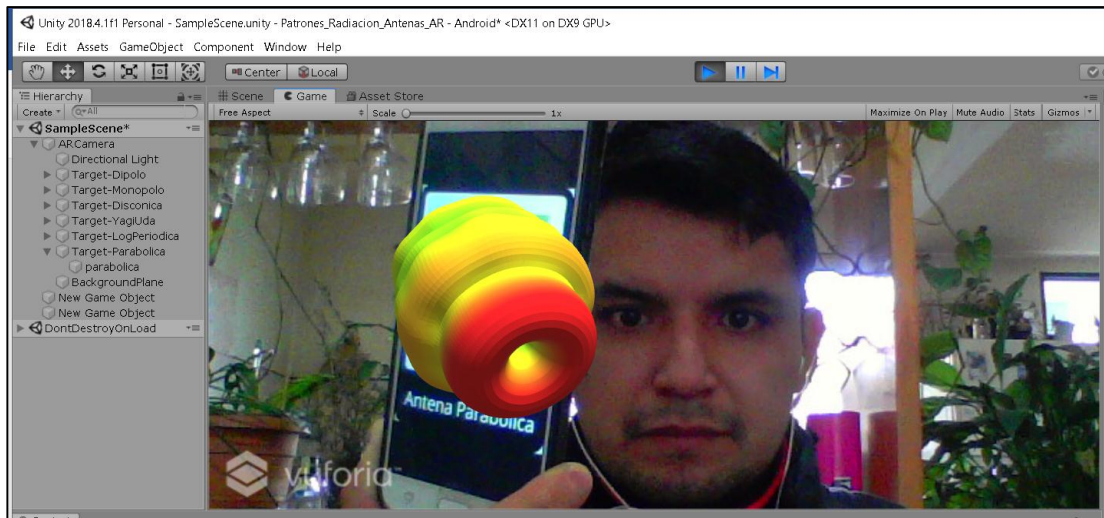


Figura 6.101 Modelo del patrón de radiación de la antena parabólica con realidad aumentada

Fuente: Unity

Patrón de radiación con realidad aumentada de una antena tipo patch rectangular

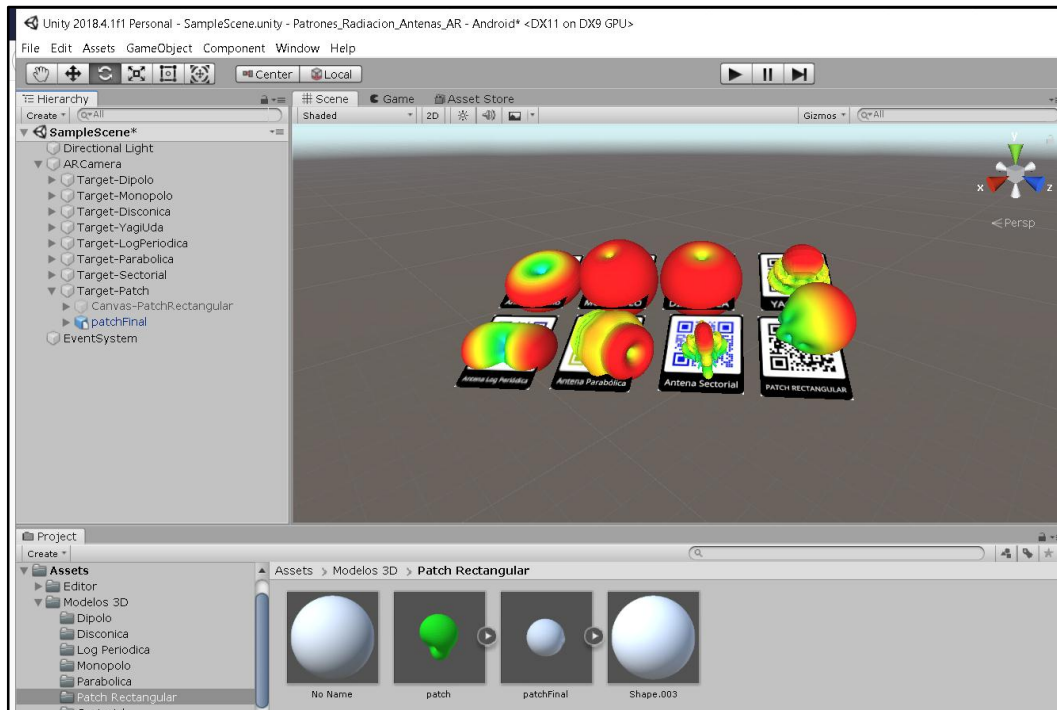


Figura 6.102 Colocación del modelo del patrón de radiación de la antena patch rectangular en su respectivo target

Fuente: Unity

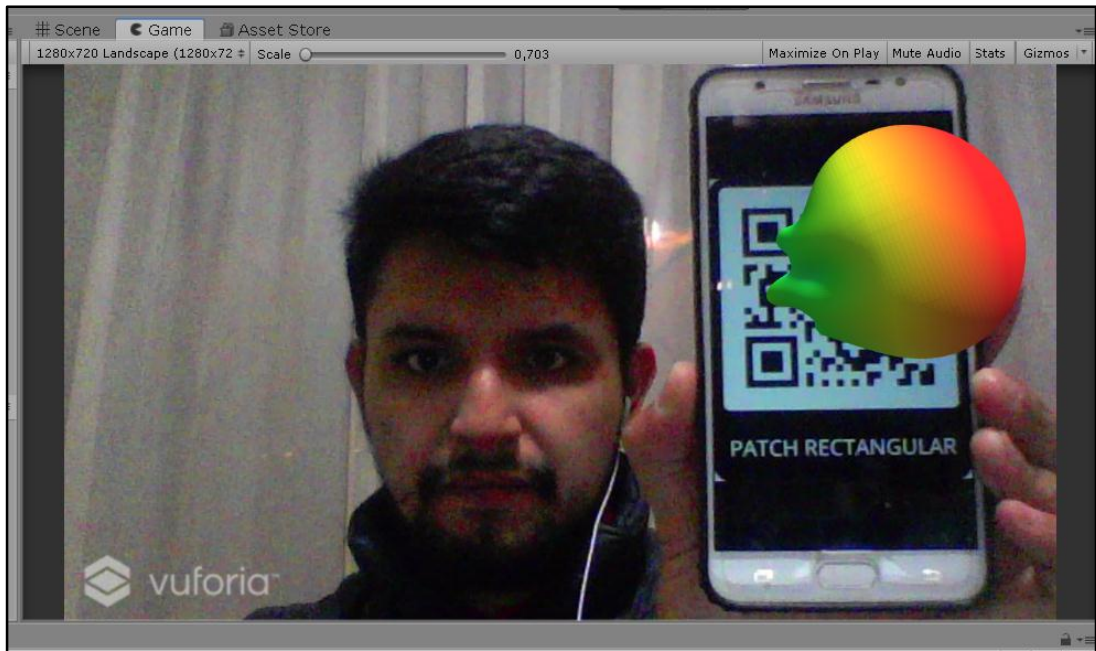


Figura 6.103 Modelo del patrón de radiación de la antena patch rectangular con realidad aumentada

Fuente: Unity

Desarrollo de la aplicación móvil para la plataforma android

Una vez que los modelos de los patrones de radiación han sido generados y comprobado su funcionamiento con realidad aumentada, se procede a desarrollar una aplicación compatible con la plataforma Android, la cual, tendrá como finalidad realizar el reconocimiento de cada uno de los targets de las antenas propuestas, presentar el respectivo patrón de radiación con realidad aumentada y además, constará de botones que permitirán acceder a visualizar sus parámetros característicos como lo son: S11, VSWR, impedancia y directividad.

Interfaz gráfica para la antena tipo dipolo

El primer paso a realizar es la configuración del panel Scene, el cual debe ser cambiado a un modo de visualización 2D, para ello, dar clic sobre la opción 2D.

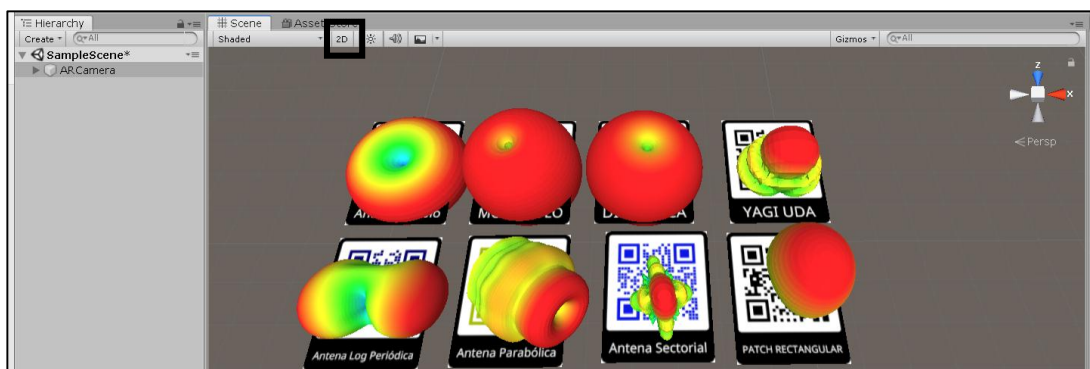


Figura 6.104 Procedimiento para cambiar la escena a una visualización 2D

Fuente: Unity

En el panel Hierarchy, dar clic derecho sobre Target-Dipolo y seleccionar la opción UI / Canvas. El elemento Canvas permite insertar un área de trabajo en la cual constarán todos los elementos necesarios para el desarrollo de la aplicación, entre ellos se

encontrarán botones, paneles y etiquetas para texto. Se recomienda sustituir el nombre Canvas por Canvas-Dipolo debido a que se debe realizar un canvas diferente para cada uno de los targets.

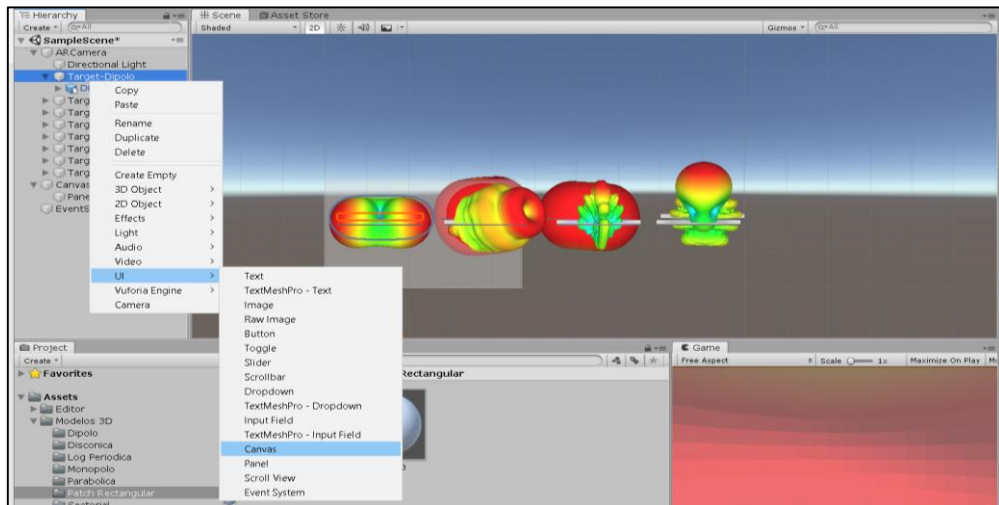


Figura 6.105 Procedimiento para insertar el elemento Canvas

Fuente: Unity

El primer elemento a ser ingresado es un panel, para ello, dar clic derecho sobre la opción Canvas-Dipolo y seleccionar UI / Panel. Se debe asignar un nombre a este panel, al cual se lo llamará Panel\_Dipolo.

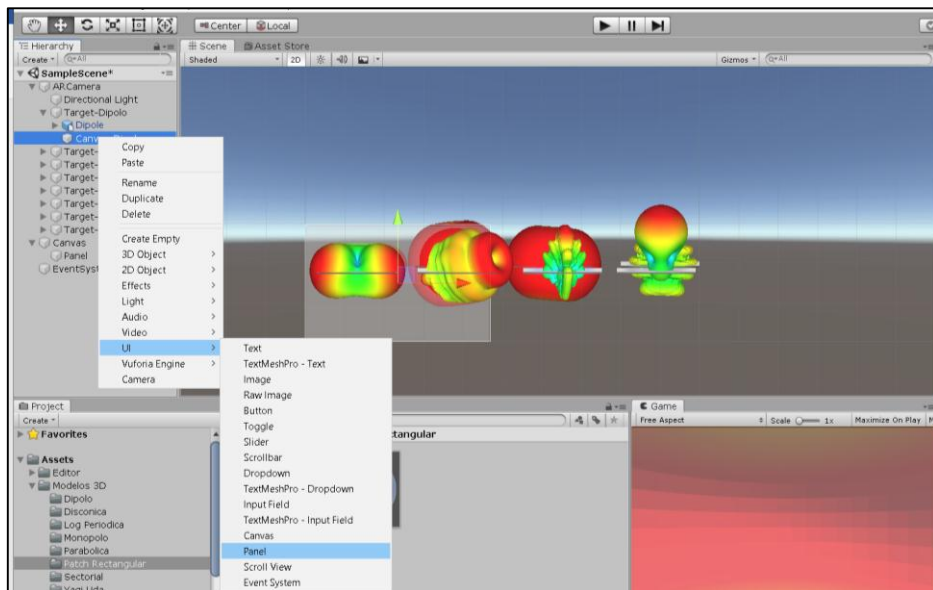


Figura 6.106 Procedimiento para insertar un panel dentro del elemento canvas

Fuente: Unity

Cuando el panel es ingresado, se puede modificar su color, para ello se debe ubicar la ventana Inspector, en la sección Color dar clic sobre el mismo y modificar su opacidad, tal como se muestra en la Figura 6.65.

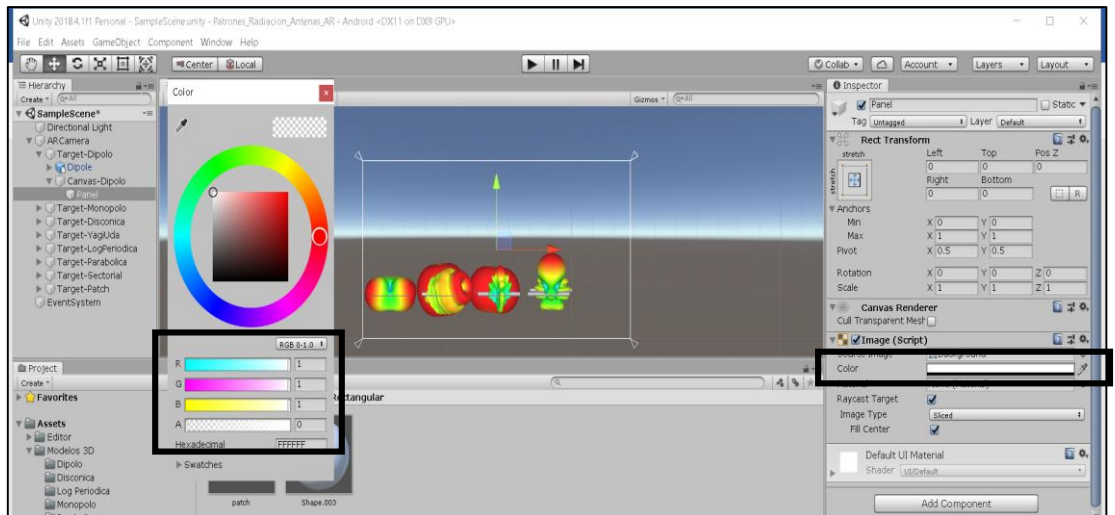


Figura 6.107 Configuración del color del panel

Fuente: Unity

Para la visualización de los parámetros característicos de cada una de las antenas, es necesario utilizar botones, los cuales permitirán acceder a cada parámetro como S11, VSWR, impedancia y directividad. Para agregar botones al panel, dar clic derecho sobre la opción Panel\_Dipolo y a continuación seleccionar UI / Button.

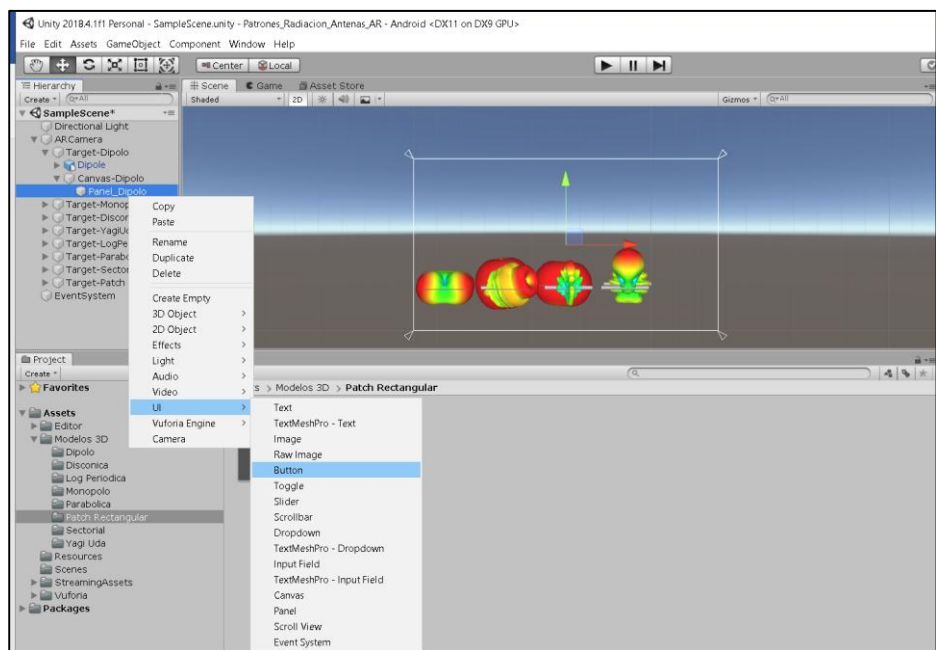


Figura 6.108 Procedimiento para insertar botones al panel

Fuente: Unity

Se debe ingresar una cantidad de cinco botones en el panel, a cada uno se le asignará un nombre correspondiente al parámetro característico, un tamaño y un color. Se ubicarán los botones sobre el panel como se muestra en la Figura 6.67.

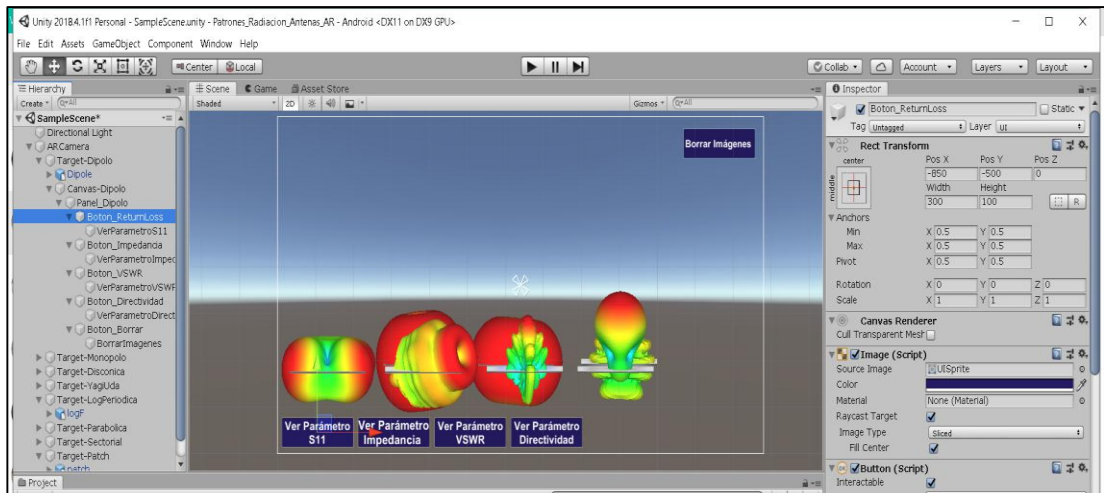


Figura 6.109 Configuración de los botones en el Canvas

Fuente: Unity

Además, se coloca un elemento etiqueta para el nombre de la antena a la cual pertenecen los parámetros característicos. Dar clic derecho sobre Canvas-Dipolo, seleccionar UI / Text. A continuación, en la ventana Inspector, en la sección Text (Script), colocar el nombre correspondiente a la antena en la cual se está trabajando.

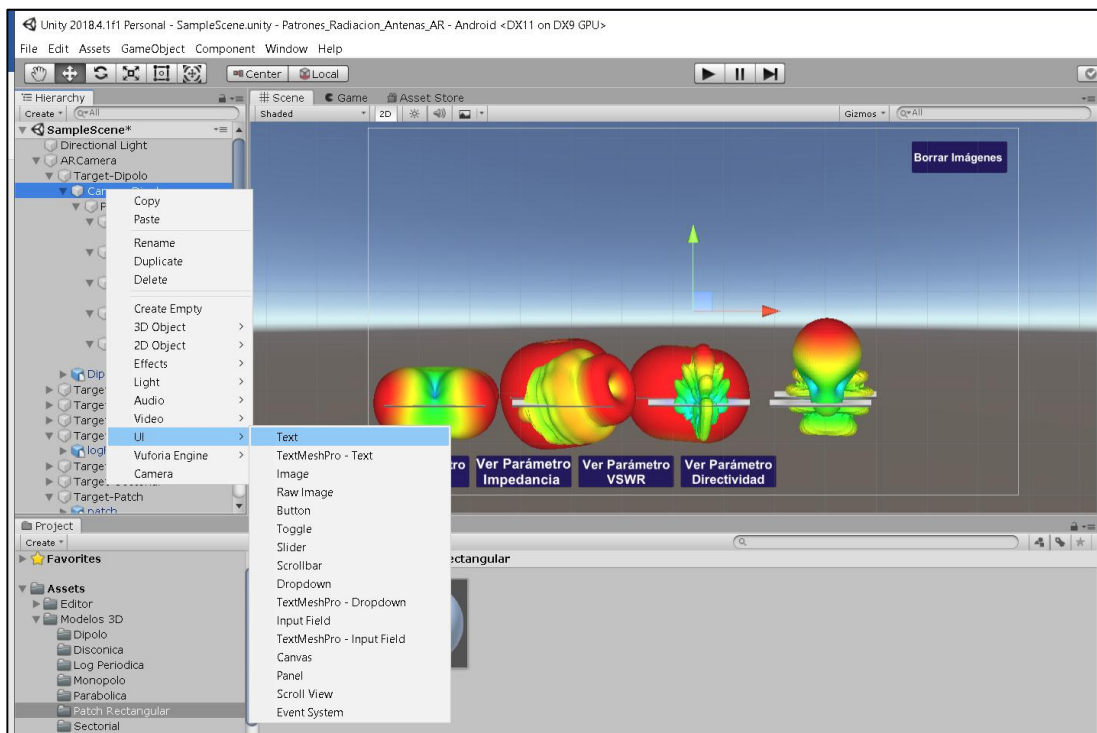


Figura 6.110 Procedimiento para asignar la etiqueta de la antena correspondiente

Fuente: Unity

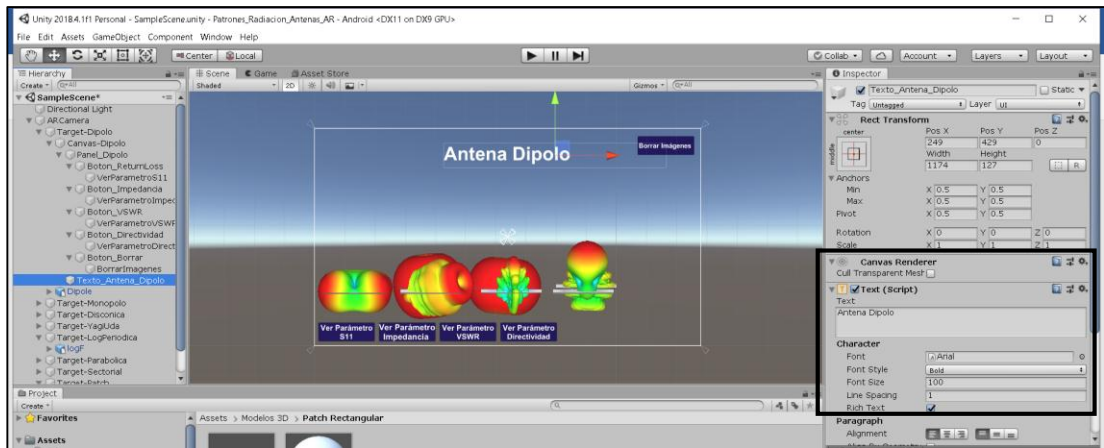


Figura 6.111 Configuración de la etiqueta para la antena dipolo

Fuente: Unity

También se debe asignar a cada botón la imagen correspondiente al parámetro característico. Para ello, en la sección Project crear una nueva carpeta en la cual se cargarán las imágenes pertenecientes a los parámetros de la antena dipolo.

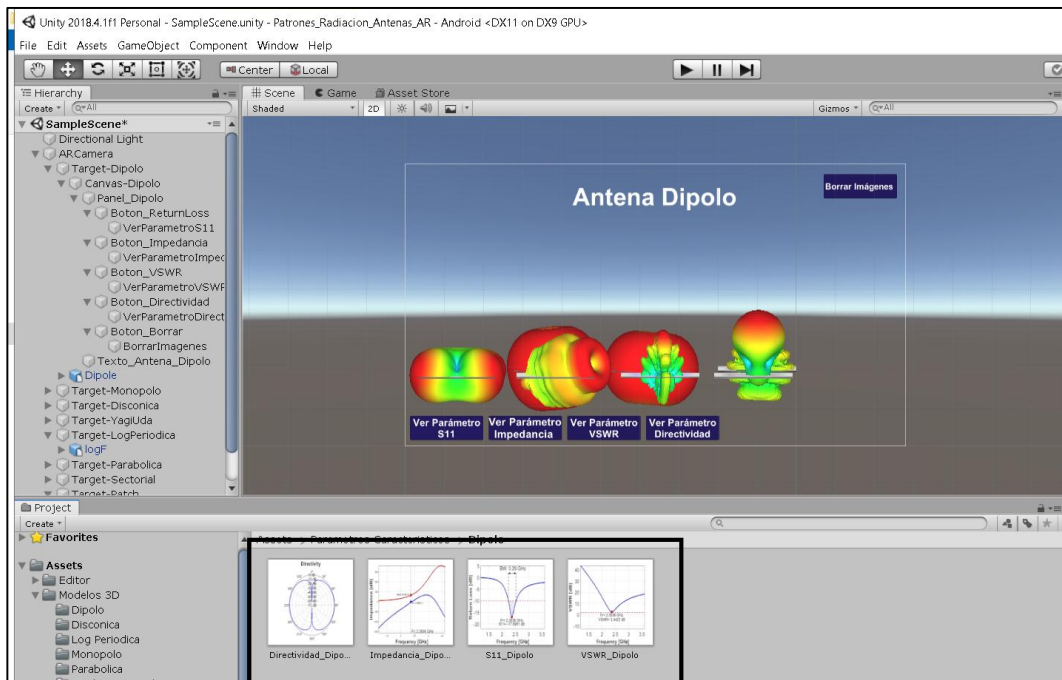


Figura 6.112 Importación de los parámetros característicos de la antena dipolo

Fuente: Unity

A cada una de las imágenes importadas se debe asignar un tipo de textura denominada Sprite, de esta manera podrán ser visualizadas al momento de seleccionar el botón respectivo. Para asignar esta textura, seleccionar la imagen y en la ventana Inspector, en la sección Texture Type, desplegar la lista y seleccionar Sprite (2D and UI) y posteriormente dar clic en Apply. Repetir este procedimiento para todas las imágenes de los parámetros característicos.

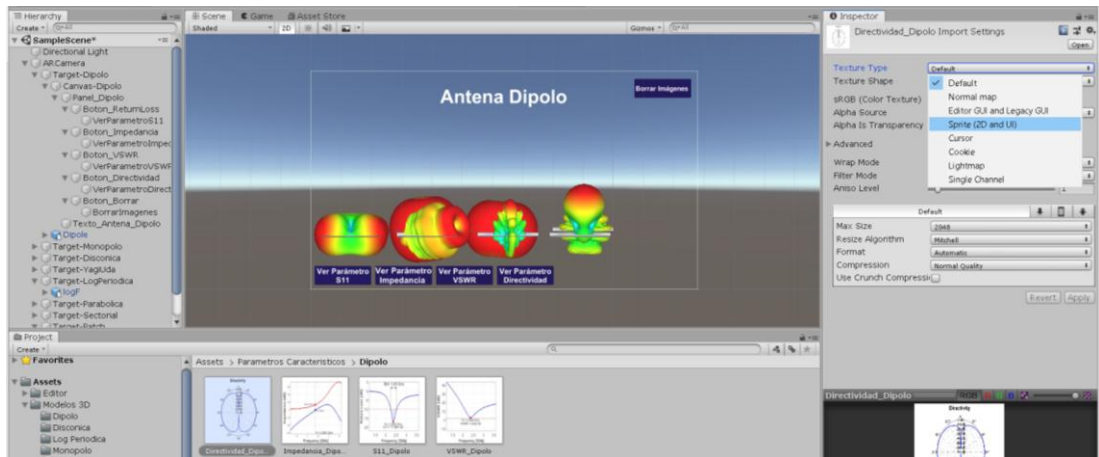


Figura 6.113 Procedimiento para asignar la textura tipo Sprite a las imágenes importadas

Fuente: Unity

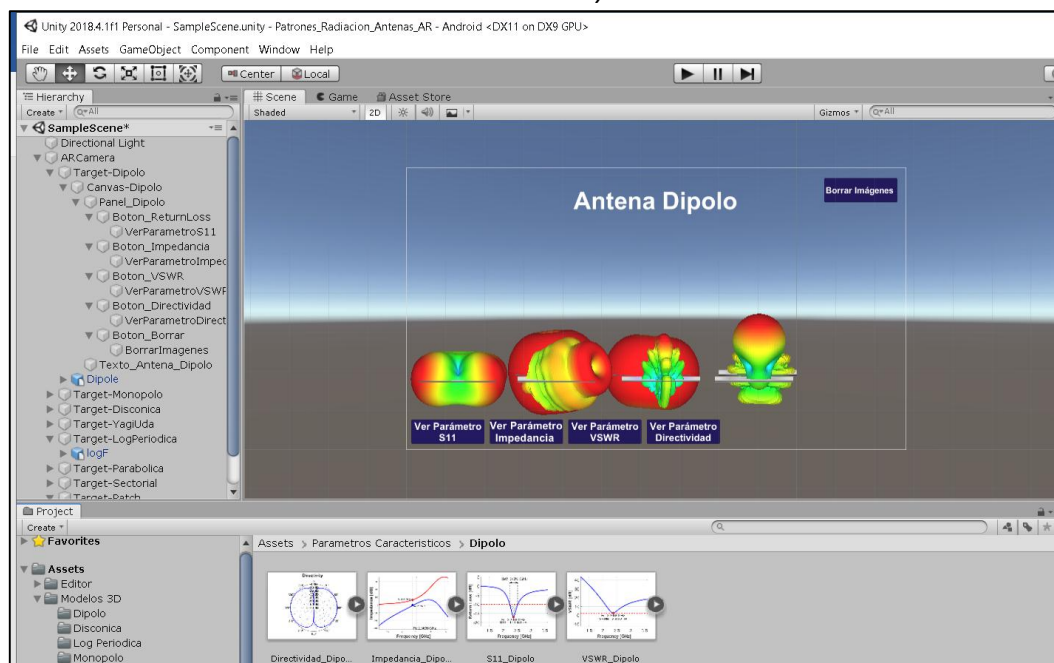


Figura 6.114 Textura Sprite asignada a las imágenes importadas

Fuente: Unity

En la ventana Hierarchy, dar clic derecho sobre cada uno de los botones creados y seleccionar la opción UI / Image. Asignar un nombre a las imágenes de acuerdo al parámetro característico que le corresponde. Este proceso se presenta en la Figura 6.73.

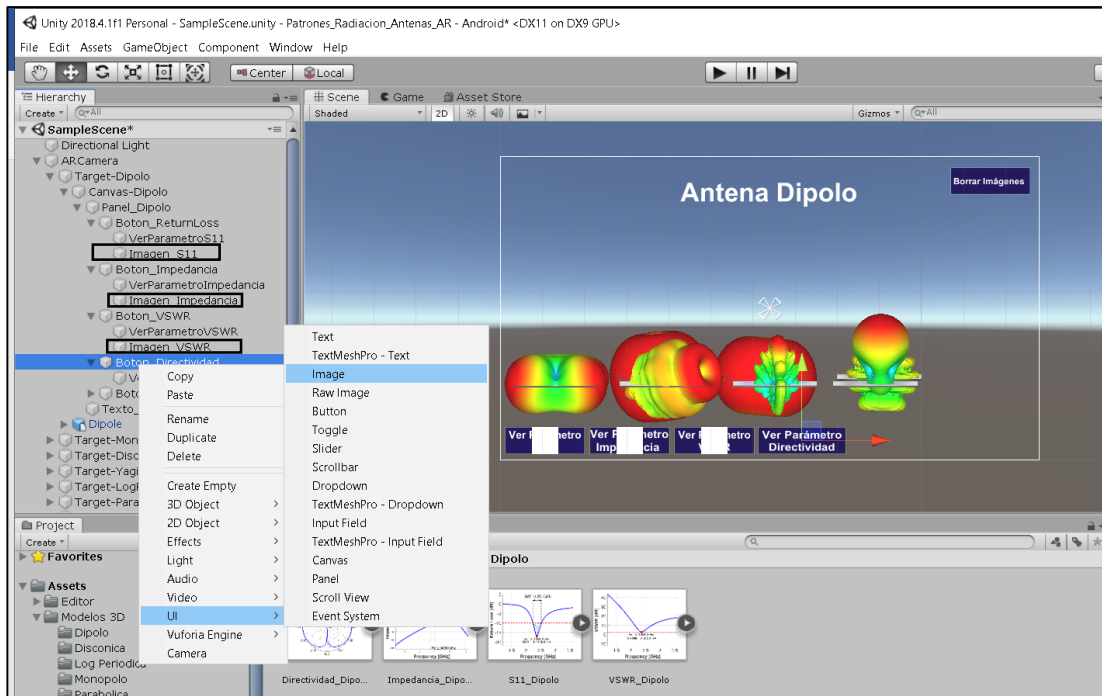


Figura 6.115 Procedimiento para la asignación de imágenes a cada uno de los botones

Fuente: Unity

A cada una de las imágenes que se han creado hay que asignarles la imagen del parámetro característico correspondiente a directividad, S11, VSWR e impedancia. Para realizar este proceso, seleccionar en el panel Hierarchy la imagen creada y a continuación, en la ventana Inspector ubicar la opción Image (Script) y en la sección Source Image colocar cada una de las imágenes con textura Sprite de los parámetros característicos. Repetir este procedimiento en cada uno de los botones.

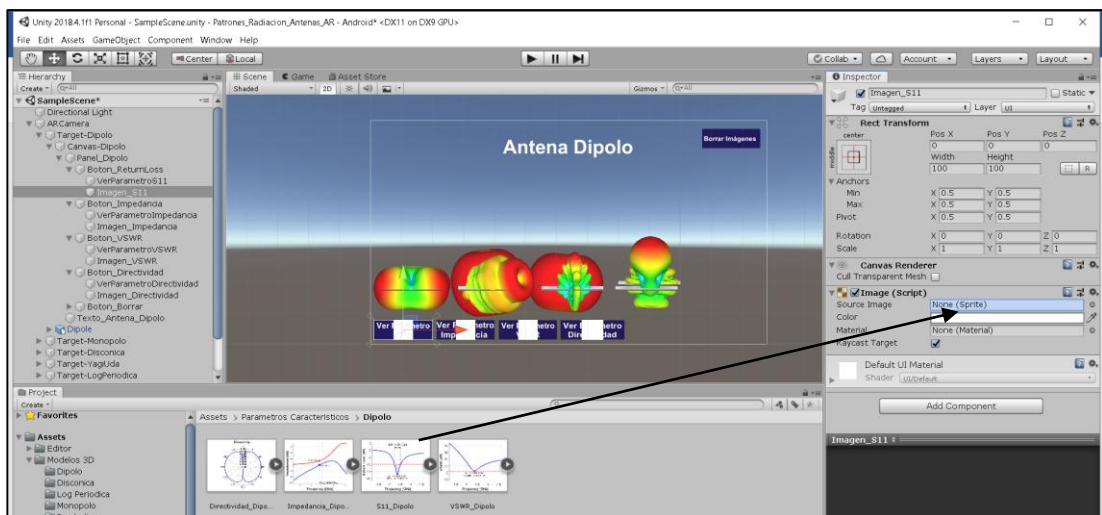


Figura 6.116 Procedimiento para asignar las imágenes con textura Sprite en su correspondiente botón

Fuente: Unity



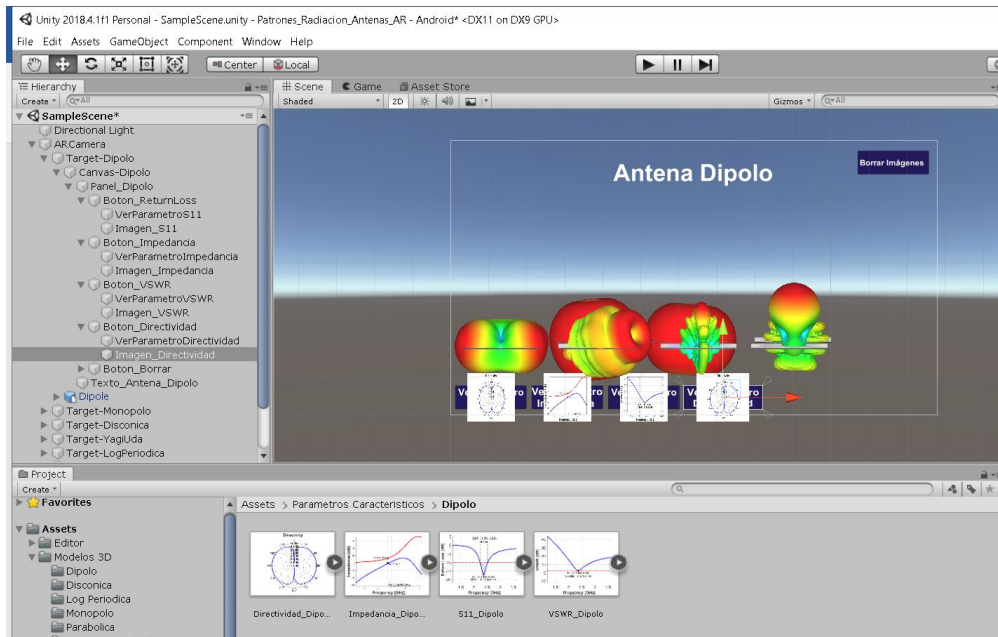


Figura 6.117 Imágenes de los parámetros característicos asignados a cada botón

Fuente: Unity

Una vez que las imágenes han sido asignadas a su correspondiente botón, se puede modificar su tamaño de acuerdo a como se requiera observarla en la aplicación. Para ello, seleccionar la imagen en el panel Hierarchy y a continuación en la ventana Inspector en la sección Rect Transform modificar el largo y ancho de cada imagen en Width y Height.

Posterior a la configuración de las dimensiones de cada una de las imágenes se recomienda ocultarlas para que al momento de ejecutar la aplicación no aparezcan en pantalla, para ello, en la misma ventana de Inspector desactivar la casilla Tag para cada imagen.

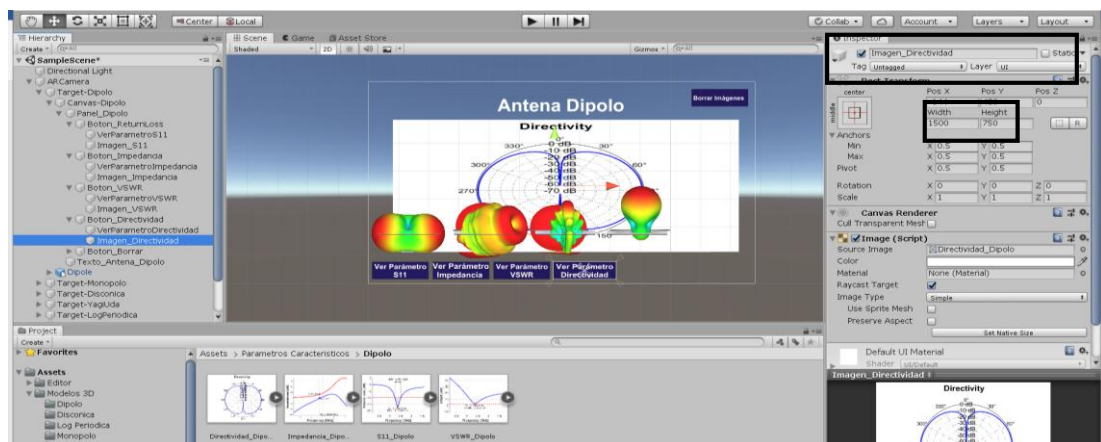


Figura 6.118 Configuración de las dimensiones de las imágenes

Fuente: Unity

El siguiente paso es asignar las funciones a cada uno de los botones, es decir que, al momento de pulsar sobre un botón en la aplicación, aparezca la imagen correspondiente al parámetro característico. En el panel Hierarchy seleccionar uno de los botones, en este caso se realiza para el botón Ver Parámetro Directividad. A continuación, en la ventana Inspector ubicar la sección On Clic () y seleccionar el botón + con lo cual se añadirá una lista correspondiente a las funciones que tendrá el botón.

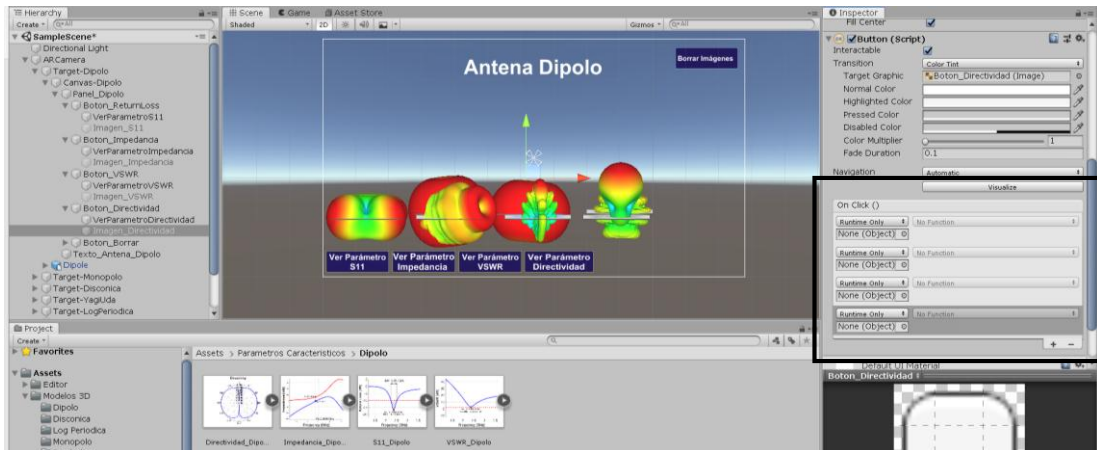


Figura 6.119 Procedimiento para asignar funciones a cada uno de los botones

Fuente: Unity

Posteriormente, en la sección On Clic (), arrastrar cada una de las imágenes que se encuentran en la ventana Hierarchy correspondientes a los parámetros característicos de la antena dipolo. Colocar a cada una de ellas en las secciones None (Object). Desplegar la lista que se encuentra en la parte derecha y seleccionar Game Object / SetActive (bool). Este procedimiento se presenta en la Figura 6.78.

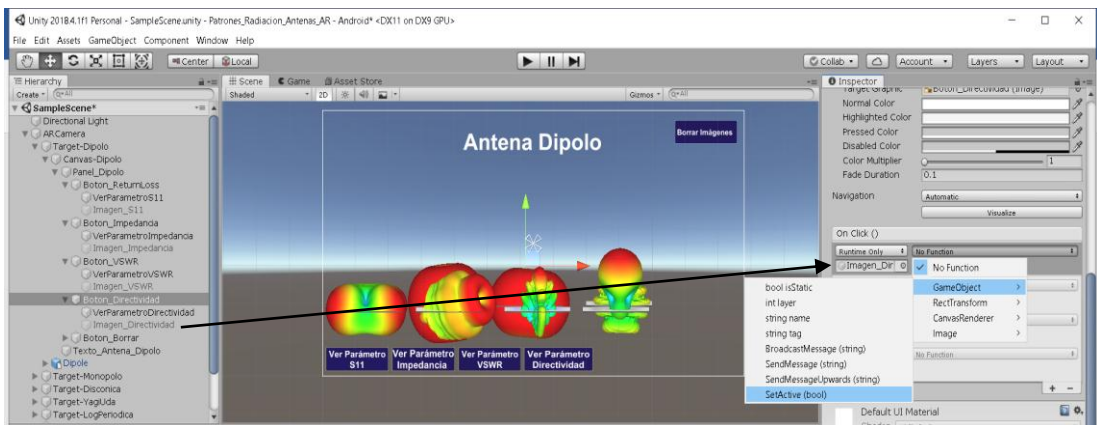


Figura 6.120 Procedimiento para agregar las imágenes de los parámetros característicos a los botones

Fuente: Unity

Una vez que se han agregado las imágenes en la sección On Clic () y debido a que se está trabajando sobre el botón Ver Parámetro Directividad, activar el casillero correspondiente a la imagen Imagen\_Directividad, de esta forma, al seleccionar el botón en

la aplicación, presentará únicamente la imagen correspondiente al parámetro directividad.

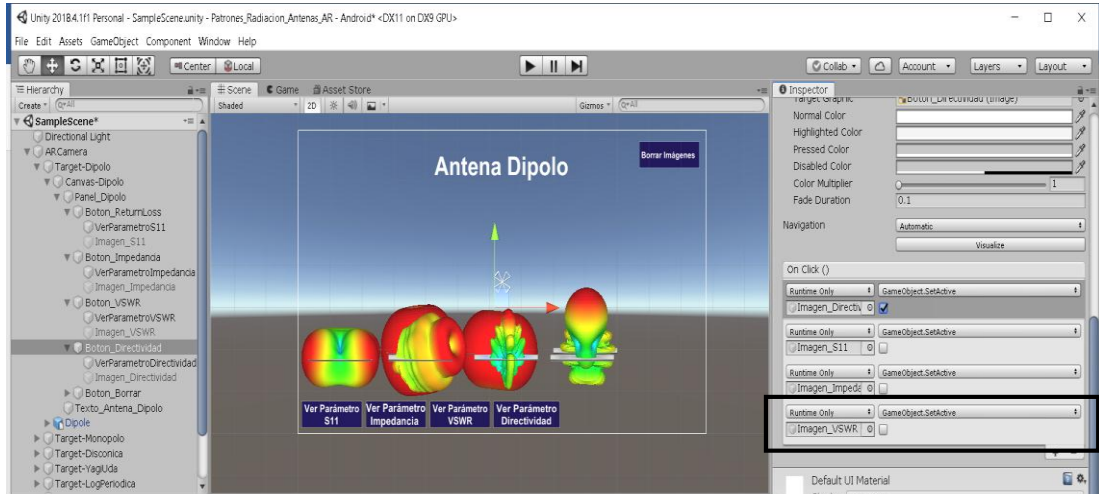


Figura 6.121 Procedimiento para visualizar los parámetros característicos en la aplicación

Fuente: Unity

Antes de generar la aplicación se puede realizar una simulación del funcionamiento. Para ello en la barra de herramientas de Unity seleccionar el botón Play, se activará la cámara del ordenador y se podrá verificar el funcionamiento de la aplicación tal como sería en el celular.

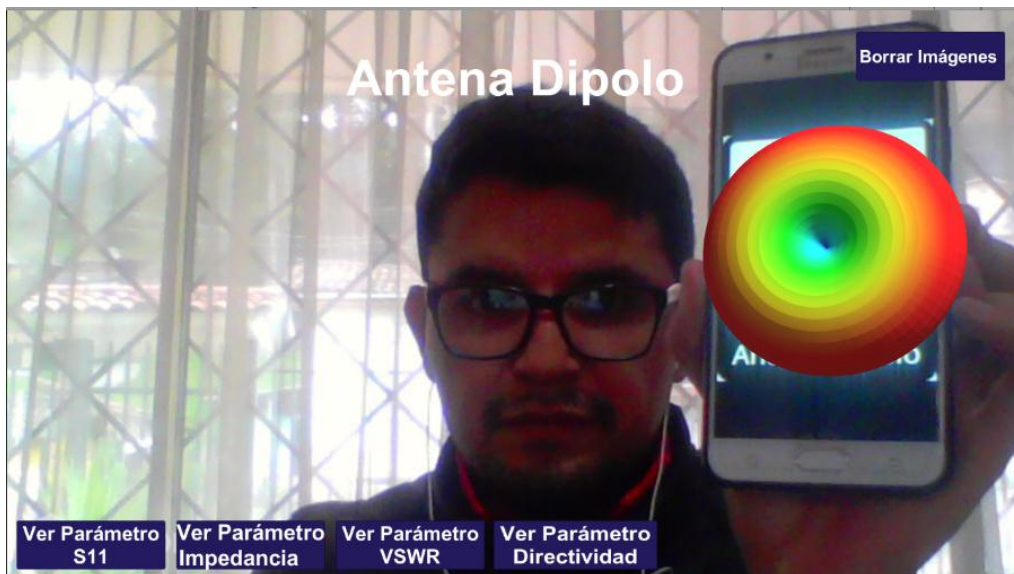


Figura 6.122 Modelo del patrón de radiación de la antena dipolo junto con la interfaz gráfica desarrollada para la aplicación móvil

Fuente: Unity

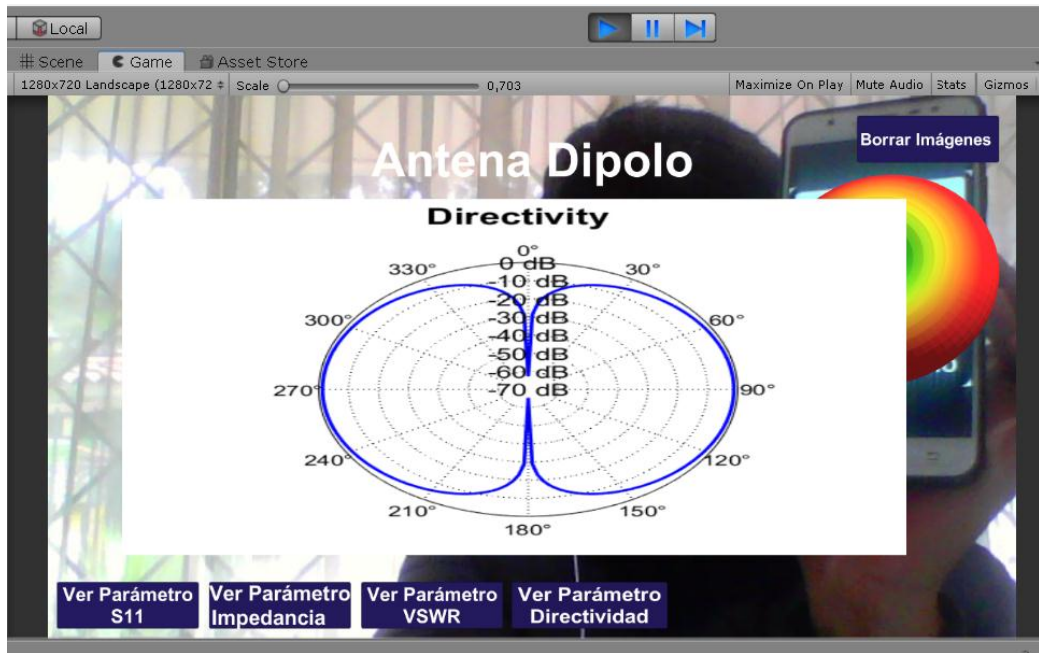


Figura 6.123 Visualización del parámetro directividad luego de seleccionar el botón correspondiente

Fuente: Unity

Repetir el mismo procedimiento para los botones Ver Parámetro S11, Ver Parámetro Impedancia y Ver Parámetro VSWR.

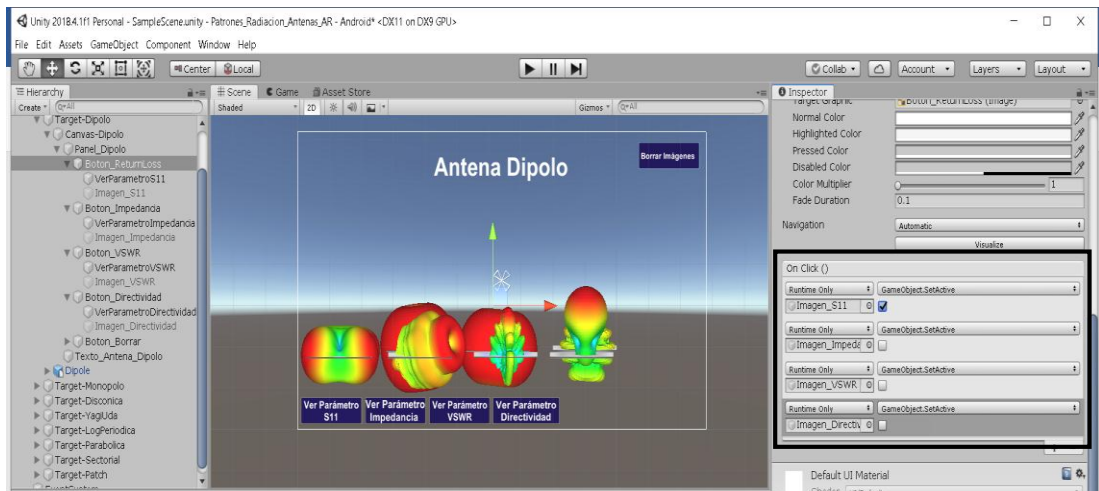


Figura 6.124 Asignación de las funciones al botón Ver Parámetro S11

Fuente: Unity

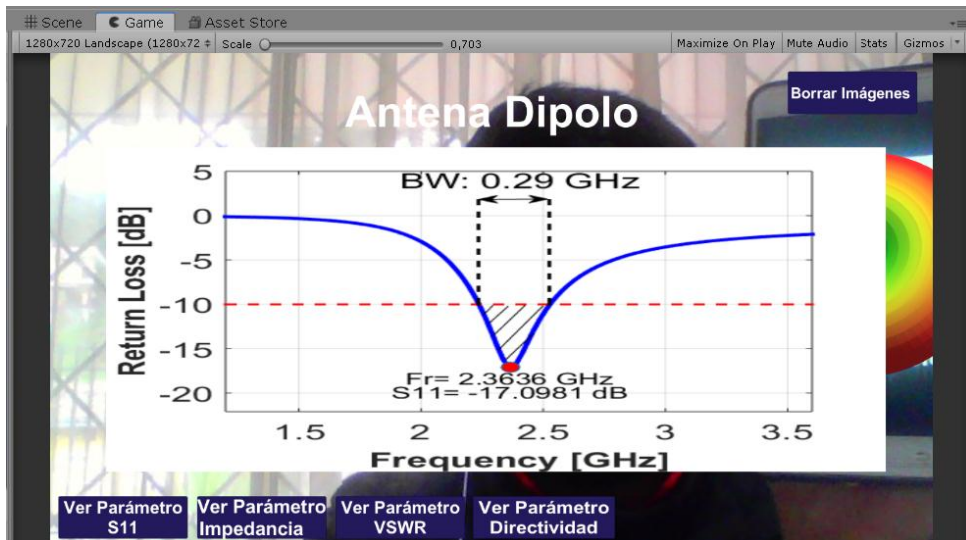


Figura 6.125 Visualización del parámetro S11 luego de seleccionar el botón correspondiente

Fuente: Unity

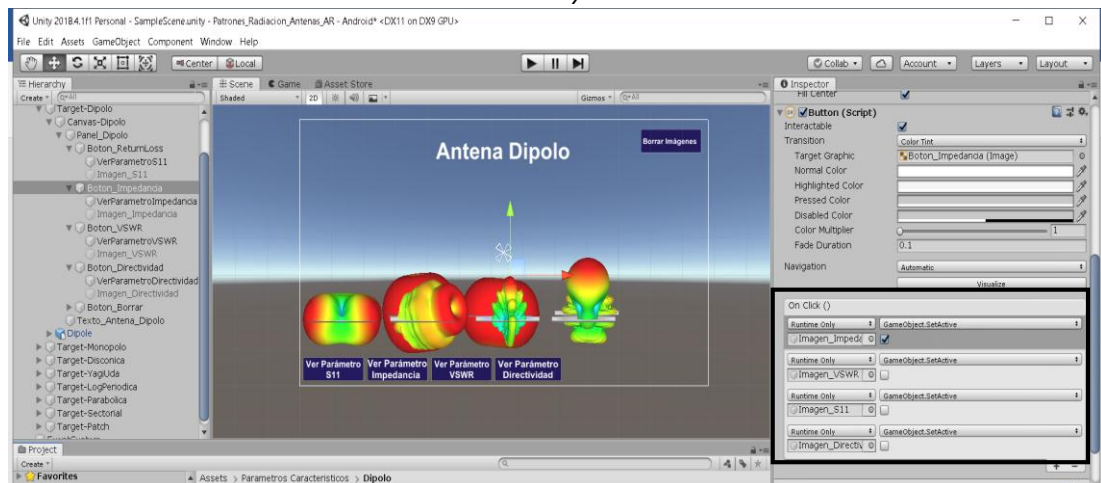


Figura 6.126 Asignación de las funciones al botón Ver Parámetro Impedancia

Fuente: Unity

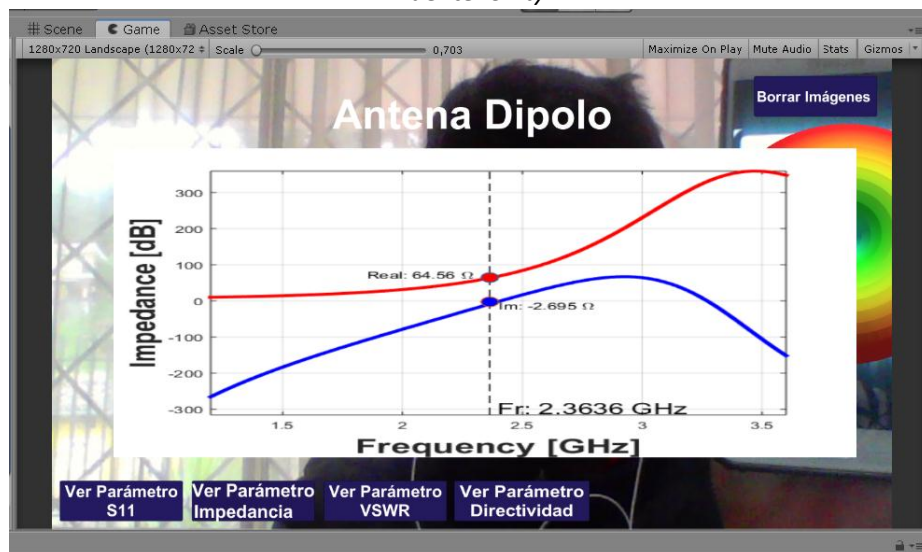


Figura 6.127 Visualización del parámetro impedancia luego de seleccionar el botón correspondiente

Fuente: Unity

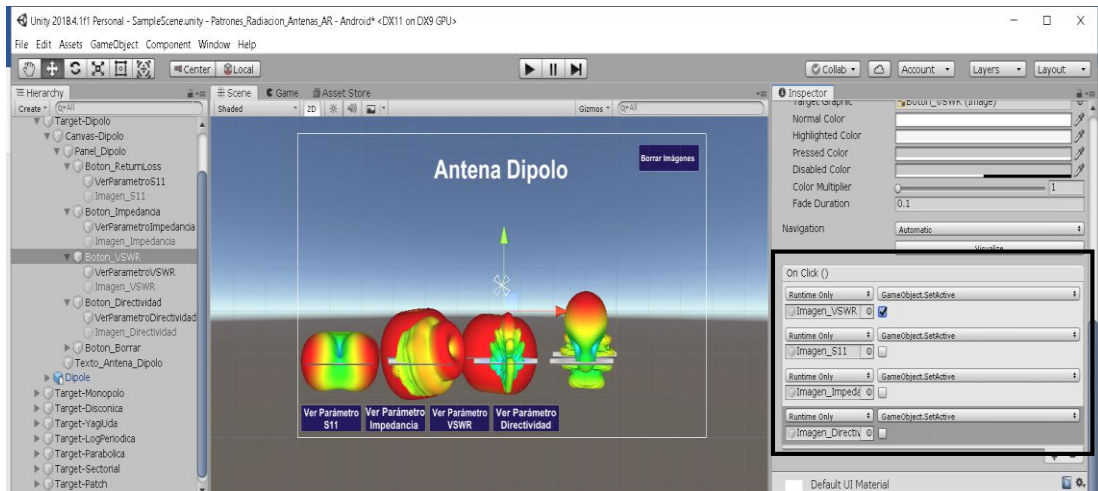


Figura 6.128 Asignación de las funciones al botón Ver Parámetro VSWR

Fuente: Unity

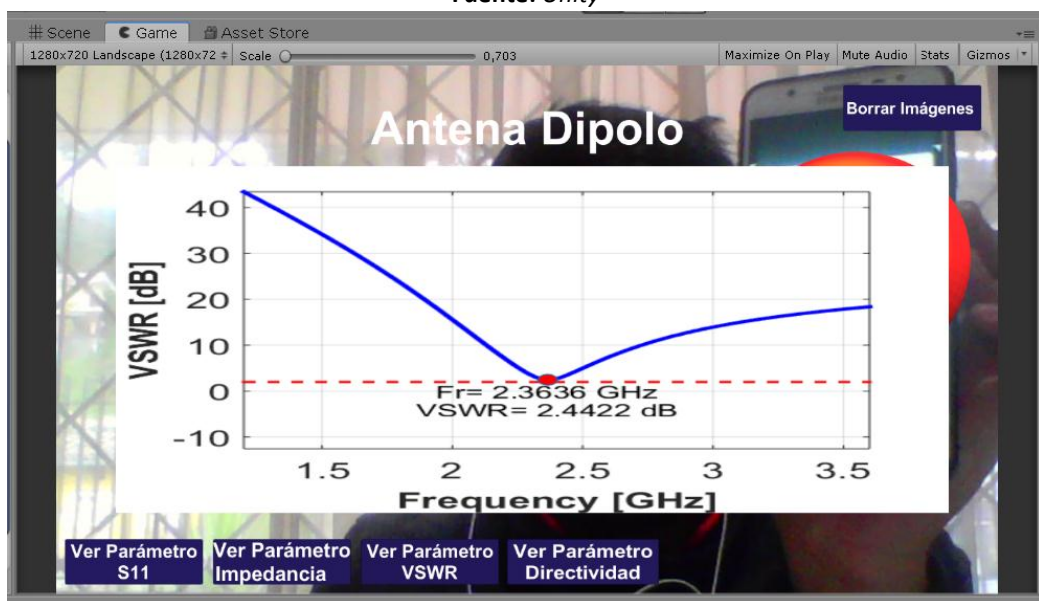


Figura 6.129 Visualización del parámetro VSWR luego de seleccionar el botón correspondiente

Fuente: Unity

El botón Borrar Imágenes se configura de la misma manera que fueron configurados los demás botones de la aplicación, con la diferencia que en la sección On Clic (), al cargar las imágenes correspondientes a los parámetros característicos, no se seleccionará ningún casillero. De esta forma, al pulsar este botón, se eliminarán las imágenes presentes en pantalla. Este proceso se muestra en la Figura 6.88.

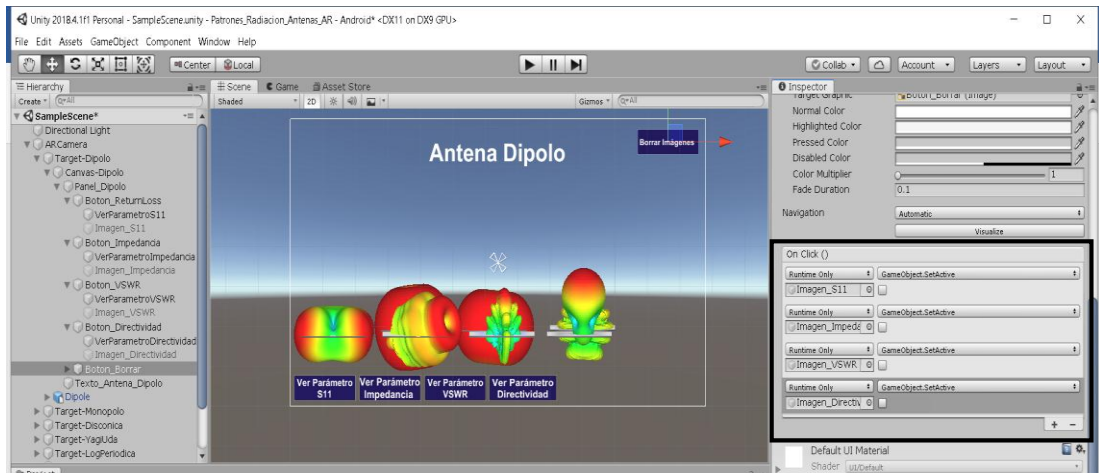


Figura 6.130 Configuración de las funciones del botón Borrar Imágenes

Fuente: Unity

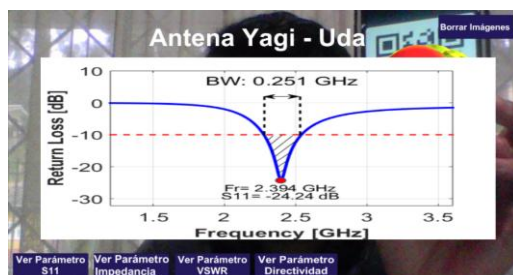
Para las siguientes antenas, no es necesario repetir el procedimiento redactado hasta aquí, lo que se recomienda es duplicar el Canvas de la antena dipolo. Para ello, dar clic derecho sobre Canvas-Dipolo y a continuación seleccionar Duplicate. Lo único que se tendría que modificar son los nombres de los diferentes elementos y los parámetros característicos de acuerdo a la antena correspondiente. Además, tener en cuenta que los elementos canvas deben estar dentro del respectivo target.

Interfaz gráfica para la antena tipo Yagi-Uda

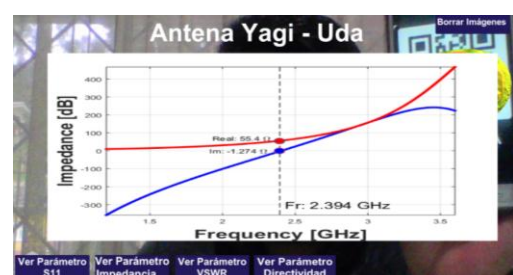


Figura 6.131 Modelo del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda junto con la interfaz desarrollada para la aplicación móvil

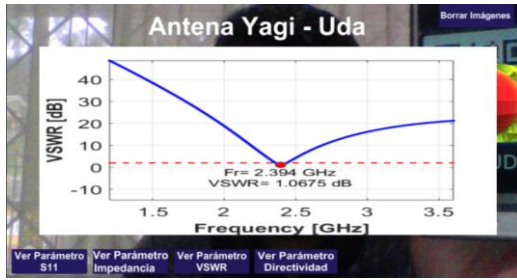
Fuente: Unity



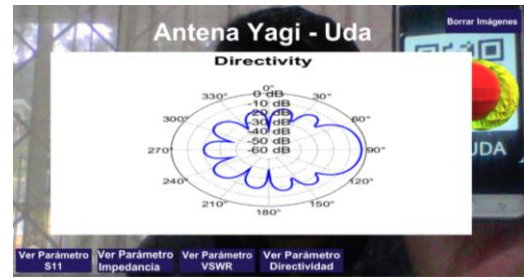
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.132 Visualización de los parámetros característicos de la antena tipo Yagi-Uda: (a) S11, (b) Impedancia, (c) VSWR, (d) Directividad

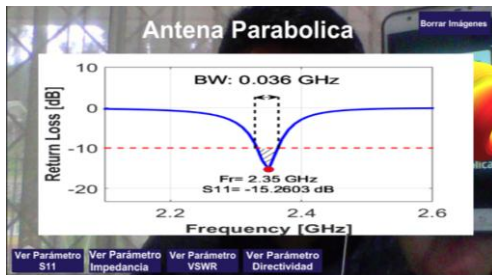
Fuente: Unity

Interfaz gráfica para la antena tipo parabólica

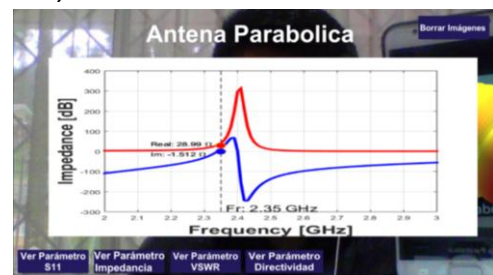


Figura 6.133 Modelo del patrón de radiación de la antena parabólica junto con la interfaz gráfica desarrollada para la aplicación móvil

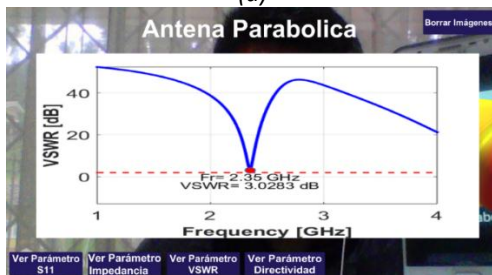
Fuente: Unity



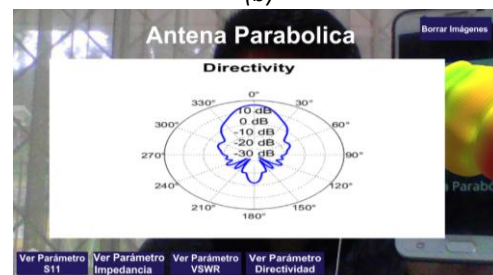
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.134 Visualización de los parámetros característicos de la antena tipo parabólica: (a) S11, (b) Impedancia, (c) VSWR, (d) Directividad

Fuente: Unity

Interfaz gráfica para la antena tipo patch rectangular





Figura 6.135 Modelo del patrón de radiación de la antena patch rectangular junto con la interfaz gráfica desarrollada para la aplicación móvil

Fuente: Unity

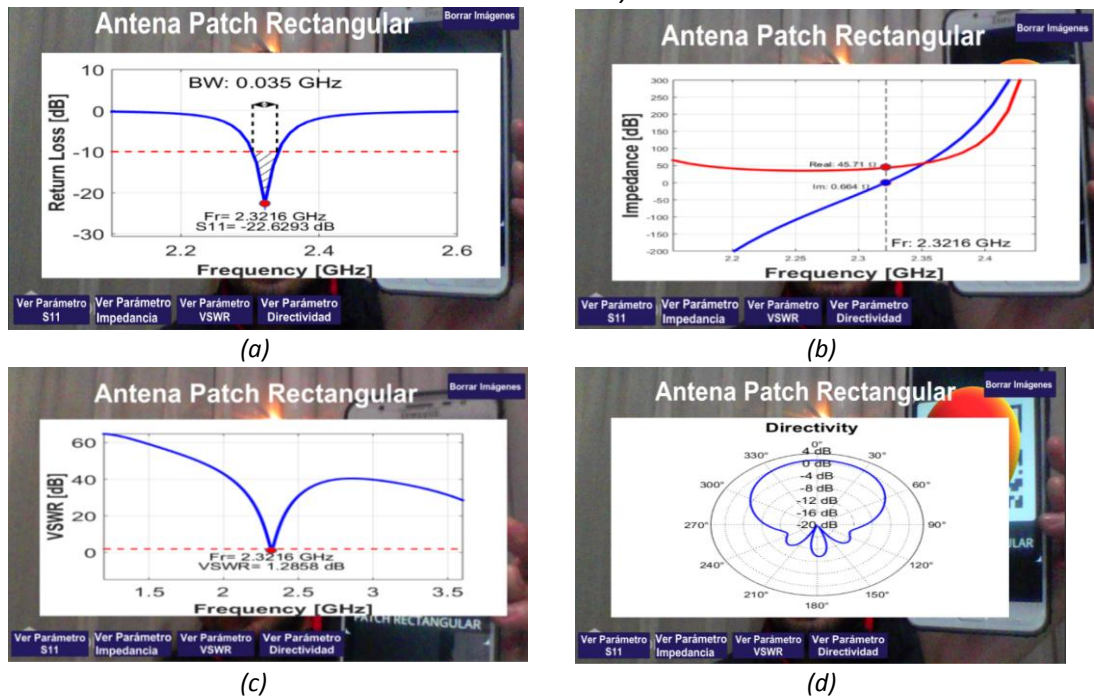


Figura 6.136 Visualización de los parámetros característicos de la antena tipo patch rectangular: (a) S11, (b) Impedancia, (c) VSWR, (d) Directividad

Fuente: Unity

Exportación de la aplicación compatible con el sistema operativo Android

Posterior a la verificación del funcionamiento de la interfaz de la aplicación móvil, se procede a generar el archivo ejecutable que será instalado en el celular. Para ello, en la barra de menú, seleccionar File / Build Settings y a continuación seleccionar Build. Se abrirá una ventana en la cual se escogerá la carpeta en la cual se desea guardar el archivo con extensión apk y además se debe colocar un nombre a la aplicación. Una vez realizado esto, seleccionar la opción Guardar.

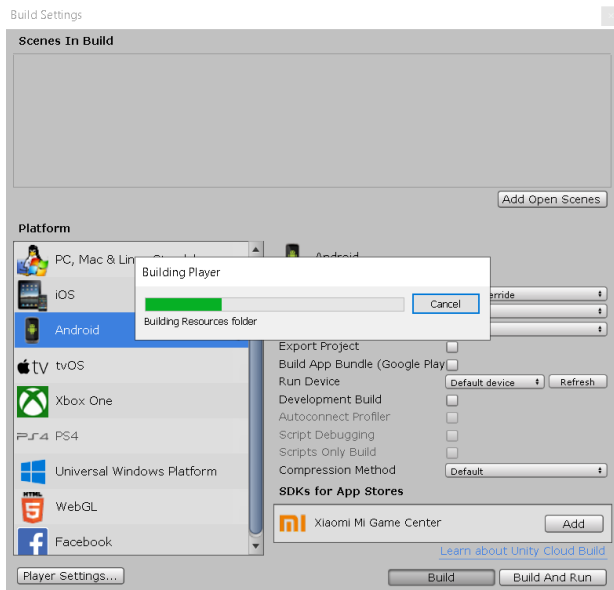


Figura 6.137 Generación del archivo con extensión .apk

Fuente: Unity

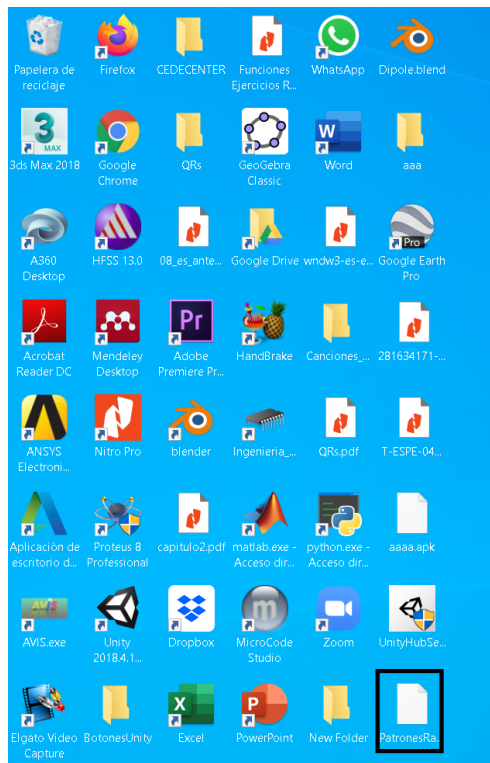


Figura 6.138 Archivo .apk generado para su funcionamiento en Android

Fuente: Windows

Al generar el archivo con extensión apk, el siguiente paso es llevarlo hasta el teléfono celular y una vez que se tiene la aplicación en el dispositivo, se la ejecuta e instala para su uso. Este procedimiento se detalla a continuación.



Figura 6.139 Aplicación en el almacenamiento interno del dispositivo móvil

Fuente: Android

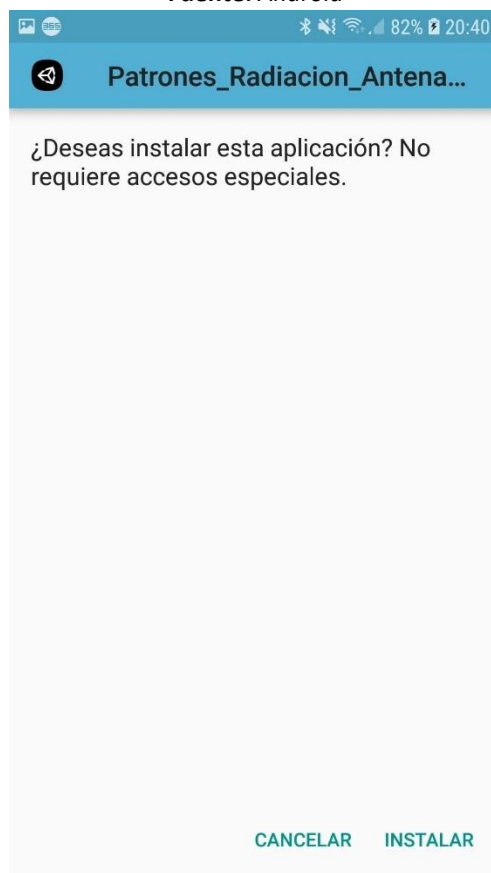


Figura 6.140 Mensaje de confirmación para la instalación de la aplicación en el dispositivo

Fuente: Android

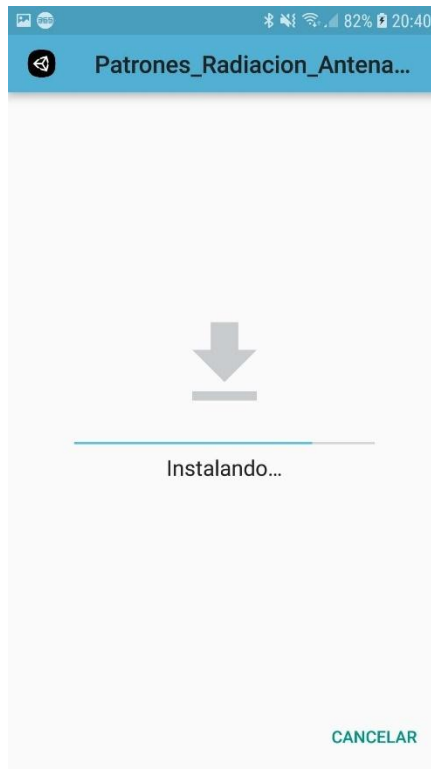


Figura 6.141 Aplicación instalándose en el dispositivo

Fuente: Android

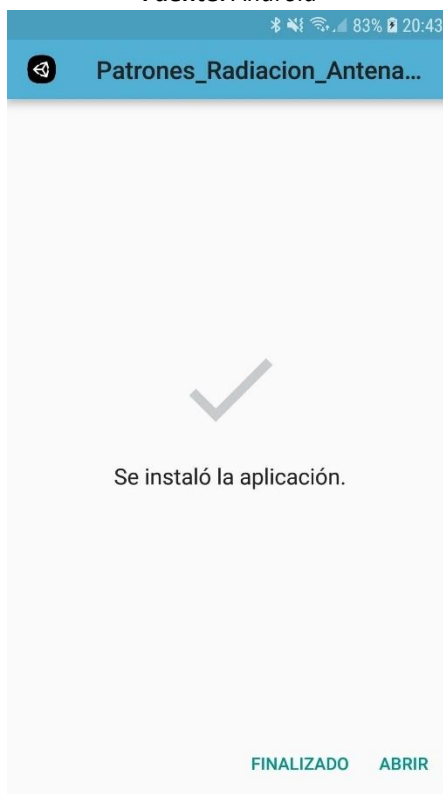


Figura 6.142 Aplicación instalada en el dispositivo

Fuente: Android



Figura 6.143 *Aplicación ejecutada en el dispositivo*

**Fuente:** *Unity en Android*

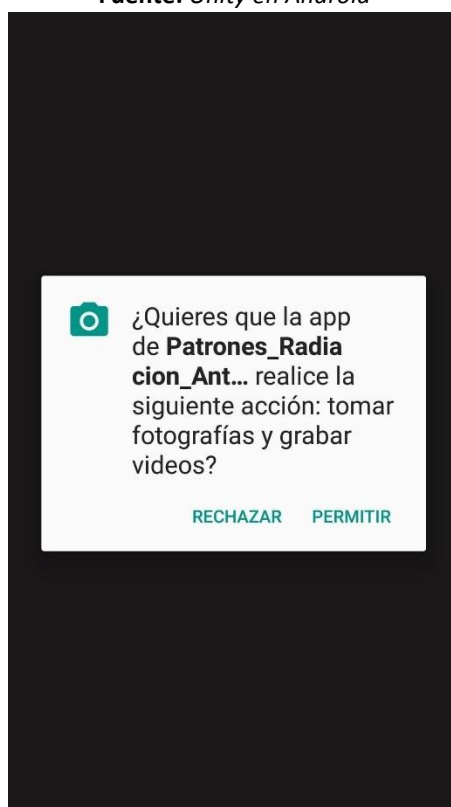


Figura 6.144 *Mensaje de confirmación para el acceso a la cámara del dispositivo*

**Fuente:** *Unity en Android*

Exportación de la aplicación compatible con el sistema operativo iOS

A partir de la sección 6.4 se procede con la configuración de la plataforma iOS, para lo cual se requiere de una computadora MAC con la herramienta Xcode, programa que

permite realizar aplicaciones para dicho sistema operativo; y la cuenta de desarrollador de Apple.

La cuenta de desarrollador cuenta con la versión gratuita que permite probar aplicaciones con el dispositivo conectado y la versión pagada que permite la exportación de la aplicación con diferentes dispositivos y la publicación en el App Store.

Una vez que se obtiene la cuenta de desarrollador de Apple, adquirimos una ID que se ingresará en diferentes programas, por ejemplo, en la ventana de "Project Settings" en Unity, sección de "Identification", introducimos el ID para la exportación del proyecto.

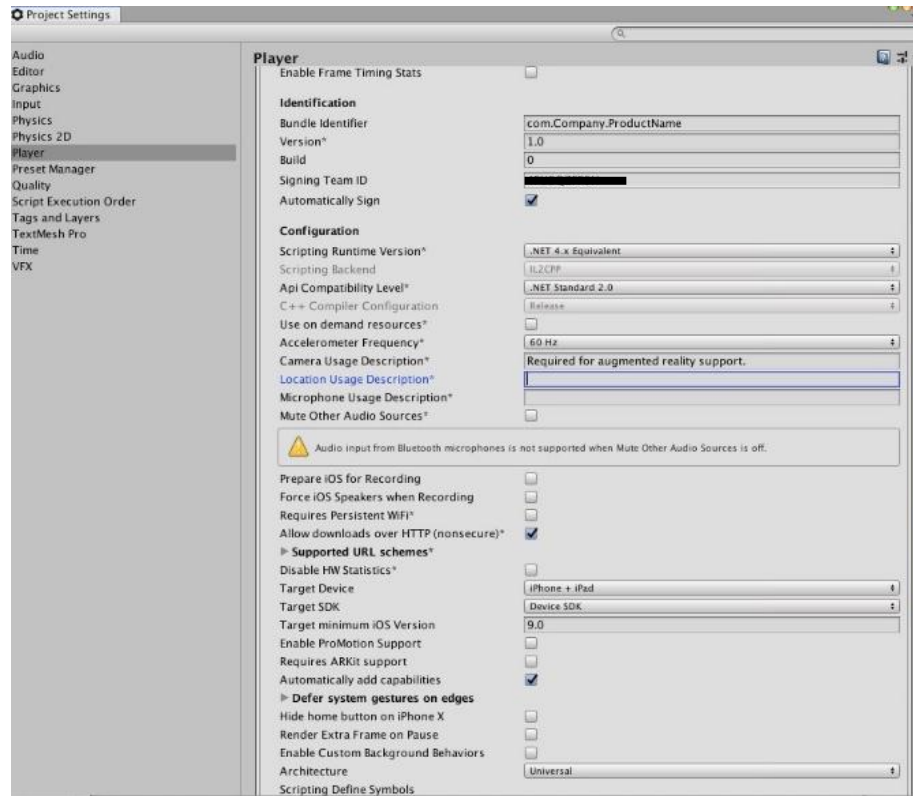


Figura 6.145 Configuración de la cuenta de desarrollador en Unity

Fuente: Unity

Se procede con la elección de la plataforma iOS, para esto se accede en la pestaña de File, Build Settings, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4.**

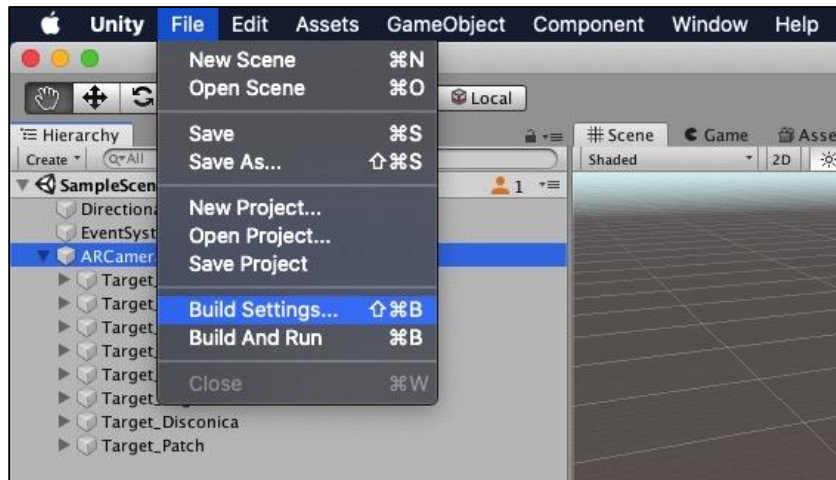


Figura 6.146 Configuración para la exportación del proyecto

Fuente: Unity

En la Figura 6.105, se observa la ventana "Build Settings", en la cual se elige la plataforma iOS y la versión de Xcode y procedemos con la opción "Build and Run" para exportar el proyecto compatible con dicha herramienta.



Figura 6.147 Selección de la plataforma iOS para la exportación del proyecto

Fuente: Unity

Con la exportación se obtiene los archivos que se observa en la Figura 6.106. Se elige el archivo con extensión .xcodeproj, y se abre mediante Xcode.

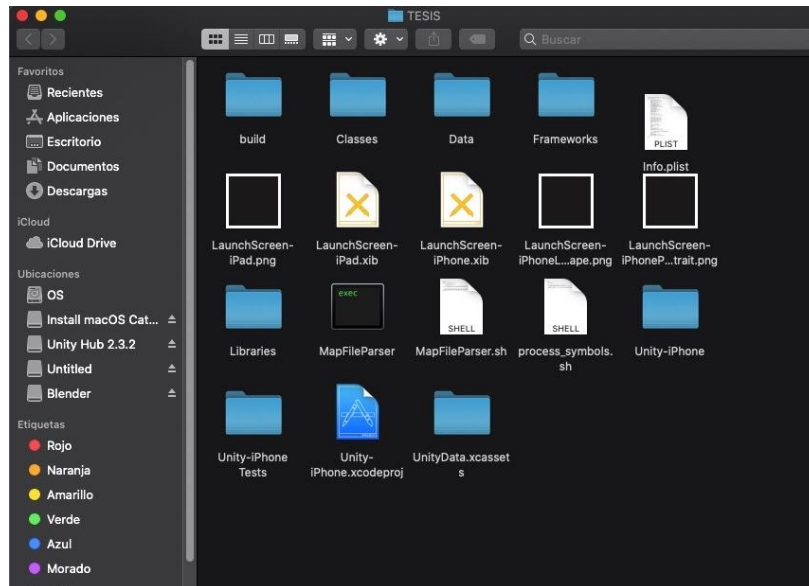


Figura 6.148 Ruta del archivo con extensión *.xcodeproj* en el computador

Fuente: *Dispositivo MAC*

Para las configuraciones básicas en Xcode, se accede a la pestaña de "Signing & Capabilities" como en la Figura 6.107, para ingresar la ID de la cuenta de desarrollador, permitiendo el acceso a los demás datos del usuario.

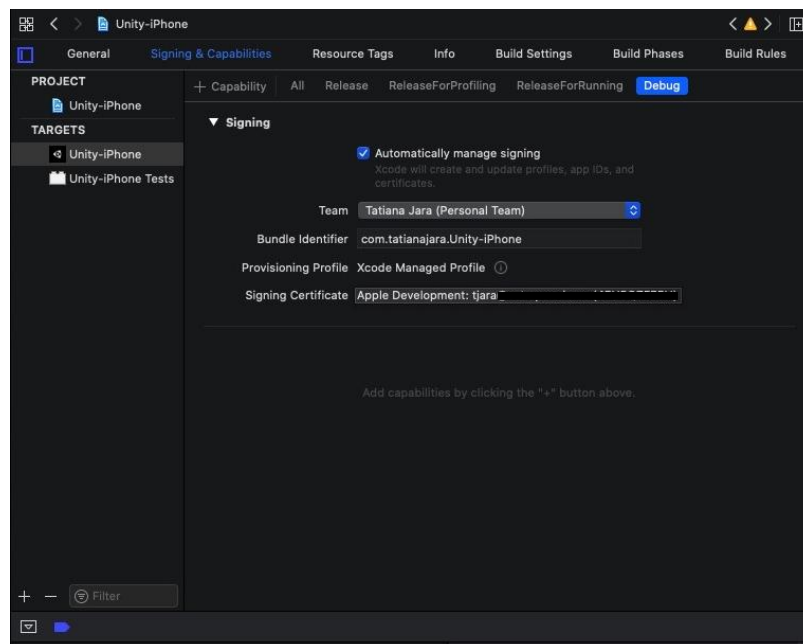


Figura 6.149 Configuración de la cuenta de desarrollador

Fuente: *Xcode*

En la pestaña "General" se configura el nombre de la aplicación, la compañía y la versión de compatibilidad de los dispositivos, a su vez para la comprobación de funcionamiento de la aplicación es necesario un dispositivo iOS con la versión 11 como mínimo por la compatibilidad de la realidad aumentada del paquete Vuforia.



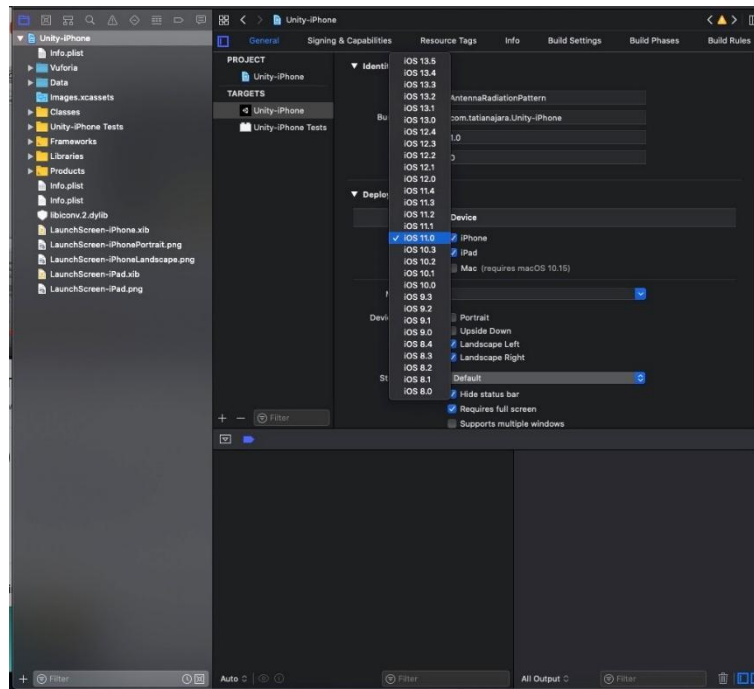


Figura 6.150 Configuración de las versiones compatibles con la aplicación

Fuente: Xcode

Por otro lado, la aplicación necesita el acceso a la cámara del dispositivo móvil, para ello en la carpeta de archivos exportados desde Unity, se accede al archivo "info.plist", "Privacy – Camara Usage Description" en valor colocamos "Camera use" como se muestra en la Figura 6.109. Esto permite que al momento que el usuario instale la aplicación, conceda los permisos para acceder a la cámara.

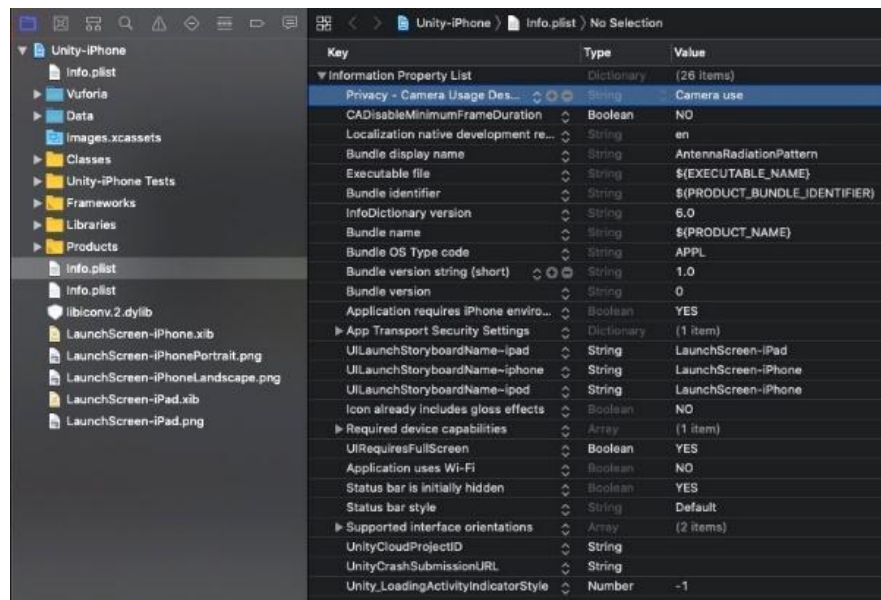


Figura 6.151 Configuración del permiso para el uso de la cámara en el dispositivo móvil

Fuente: Xcode

Con todas las configuraciones mencionadas, se procede a iniciar la comprobación, para ello es necesario que el dispositivo móvil se encuentre conectado con la PC. En la Figura 6.110 muestra la parte superior de Xcode, en el cual, se selecciona el nombre del dispositivo móvil e iniciamos con el botón "Play".

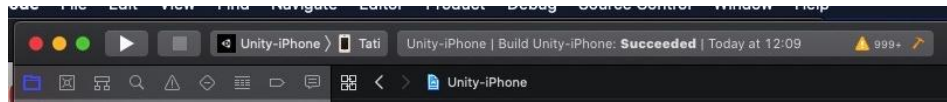


Figura 6.152 *Comprobación del funcionamiento de la aplicación*

En la Figura 6.111 se observa la aplicación exportada con el nombre "AntennaRadiationPattern". Al iniciar la aplicación se debe otorgar los permisos para el acceso a la cámara del dispositivo.

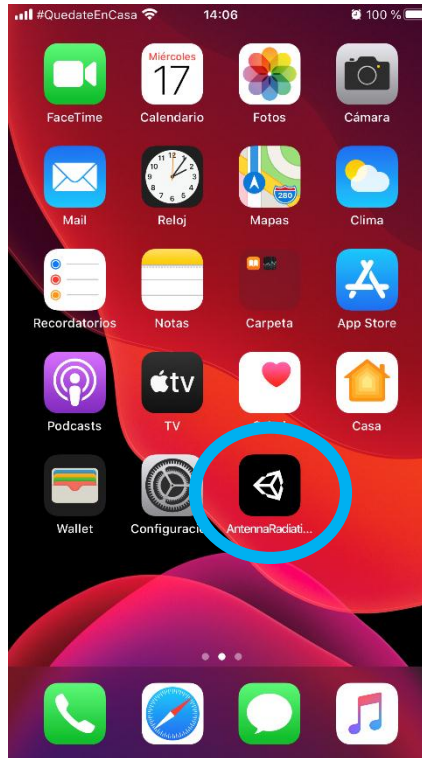


Figura 6.153 *Aplicación disponible para su uso en el dispositivo iOS*

**Fuente:** iOS

#### Resultados obtenidos para la plataforma Android

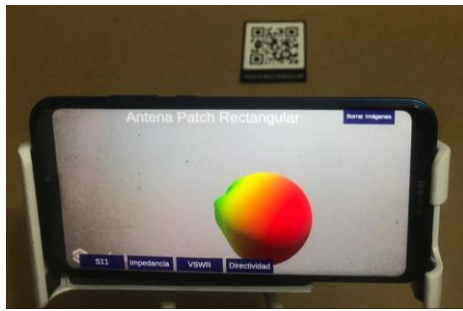
Al momento de ejecutar la aplicación en el celular, se activará automáticamente la cámara para realizar el reconocimiento de los targets y colocar sobre ellos el modelo del patrón de radiación correspondiente con realidad aumentada. A continuación, se observan estos resultados:



Figura 6.154 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo monopolo  
Fuente: Autores



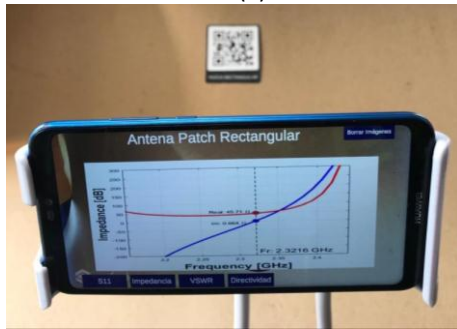
Figura 6.155 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo Log Periódica  
Fuente: Autores



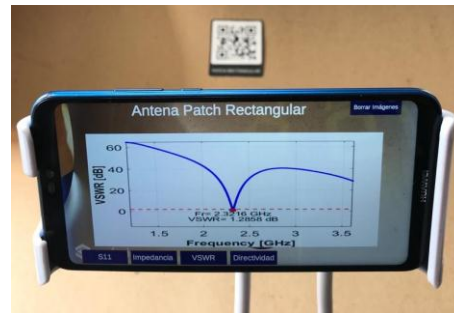
(a)



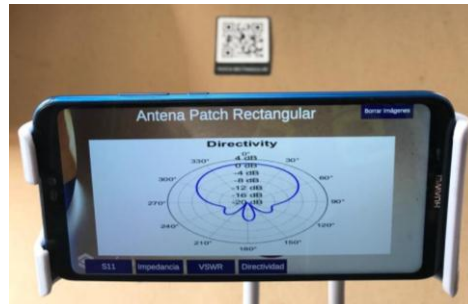
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 6.156 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo microstrip con patch rectangular: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad

Fuente: Autores

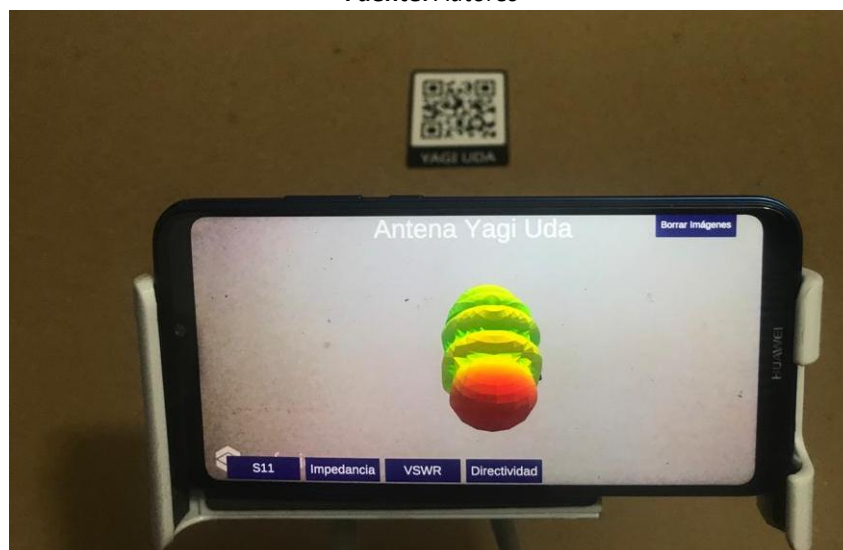


Figura 6.157 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo Yagi-Uda

Fuente: Autores

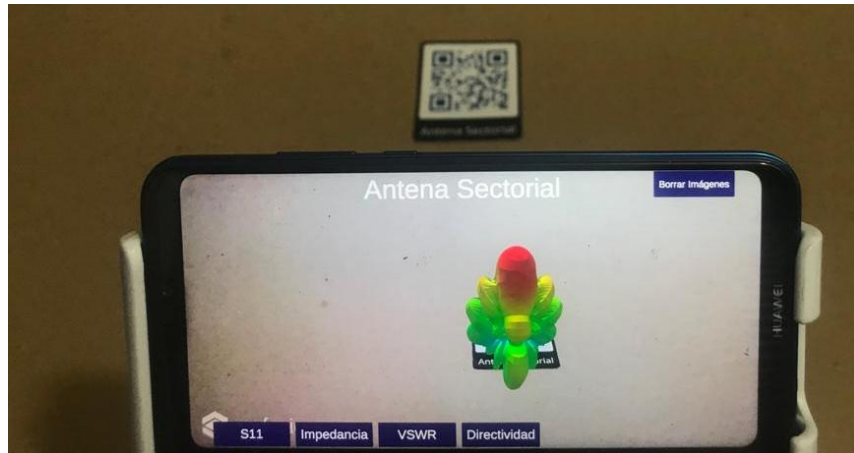


Figura 6.158 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo sectorial  
Fuente: Autores

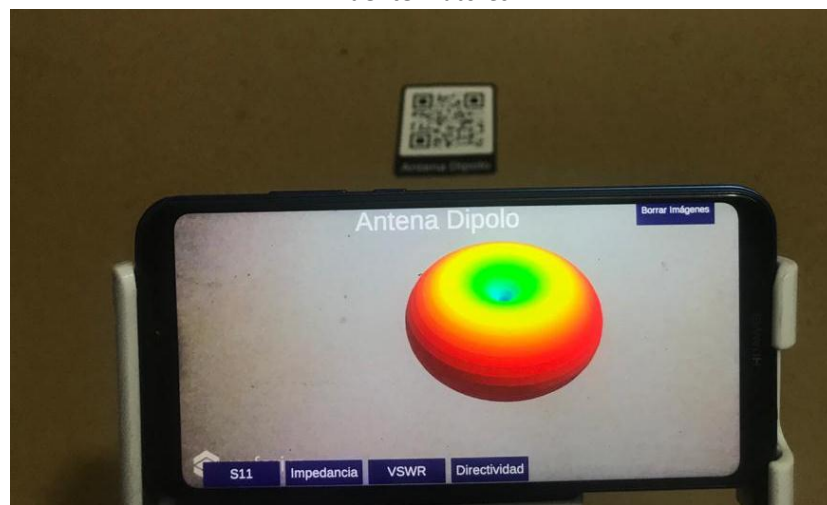


Figura 6.159 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo dipolo  
Fuente: Autores

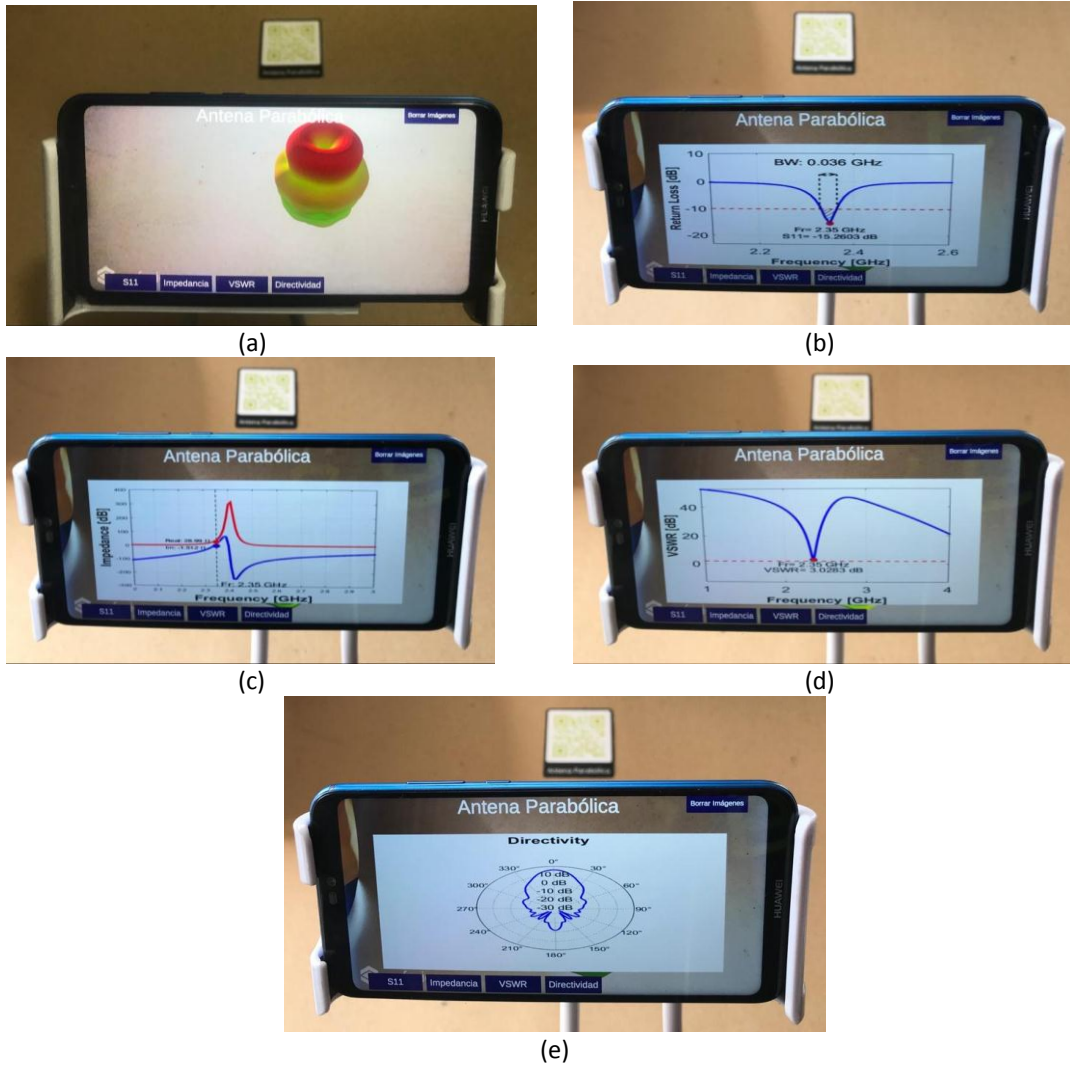


Figura 6.160 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo parabólica: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad

Fuente: Autores

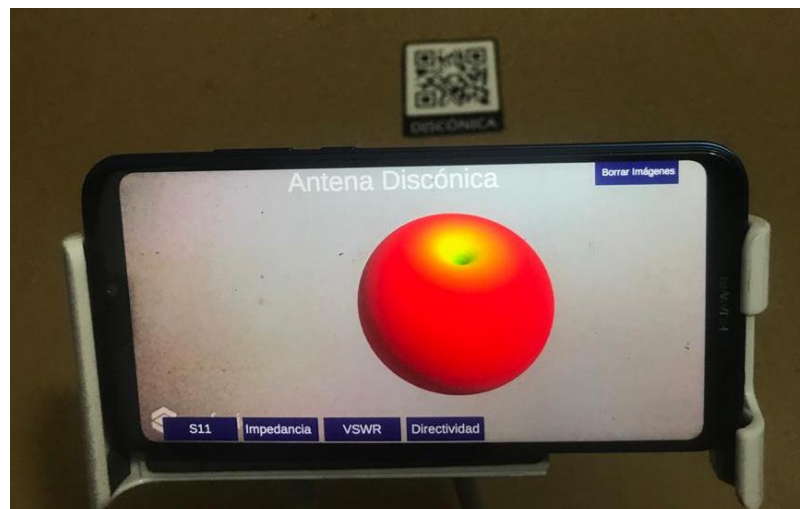


Figura 6.161 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo discónica

Fuente: Autores

Resultados obtenidos para la plataforma iOS

De la misma manera como se realizaron las pruebas para el dispositivo con sistema operativo Android, se procede a ejecutar la aplicación en un móvil con sistema operativo iOS. A continuación, se presenta los resultados obtenidos:

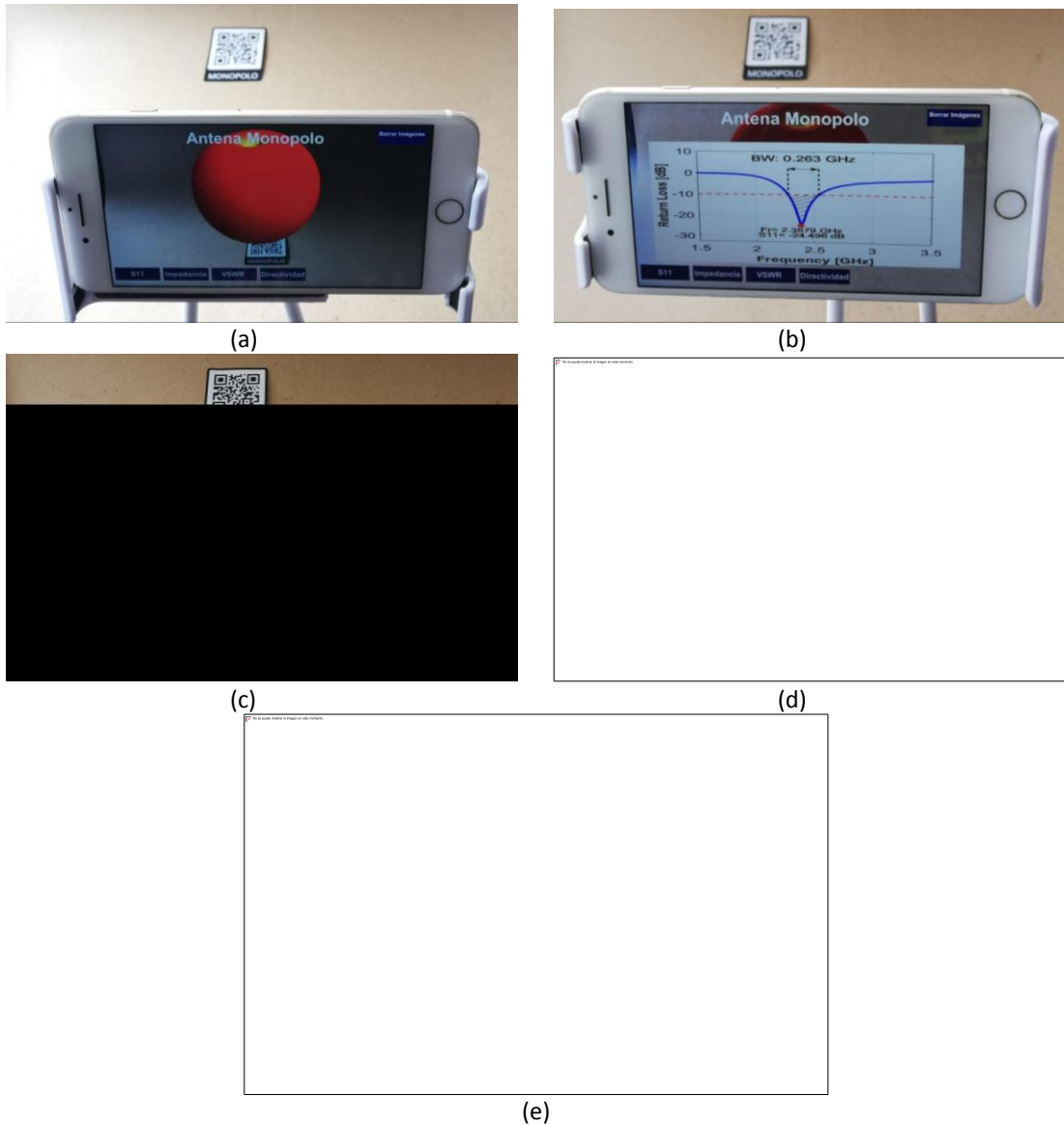


Figura 6.162 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo monopolo: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad

Fuente: Autores



Figura 6.163 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo microstrip con patch rectangular

**Fuente:** Autores

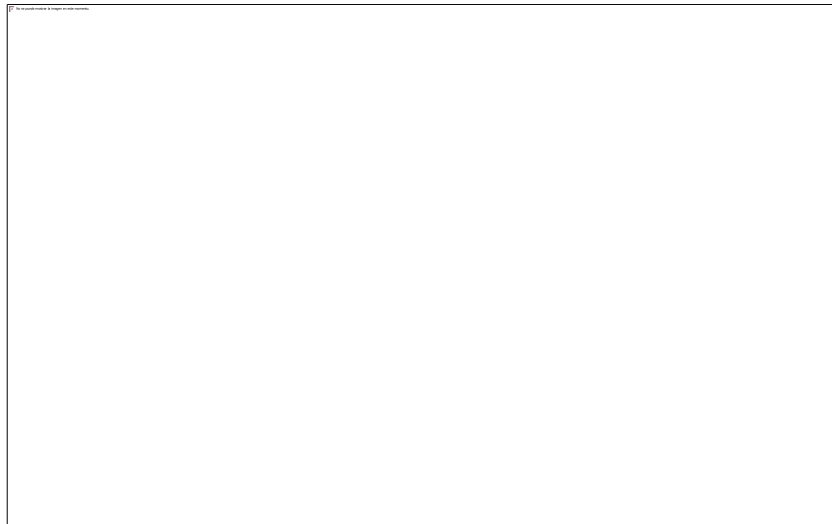


Figura 6.164 Reconocimiento el target correspondiente a la antena tipo Log Periódica

**Fuente:** Autores



Figura 6.165 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo Yagi-Uda

**Fuente:** Autores

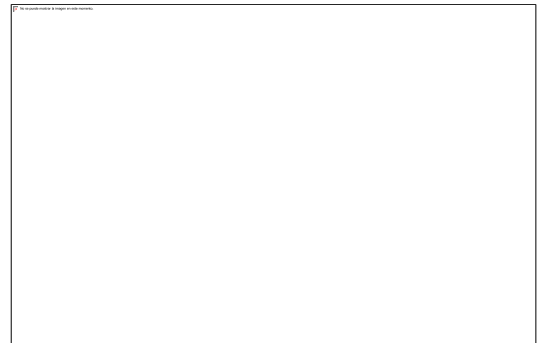




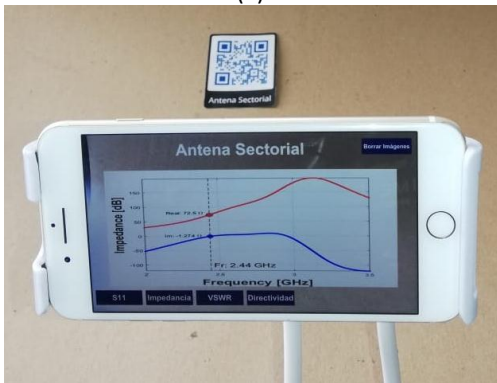
Figura 6.166 *Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo dipolo*  
**Fuente:** Autores



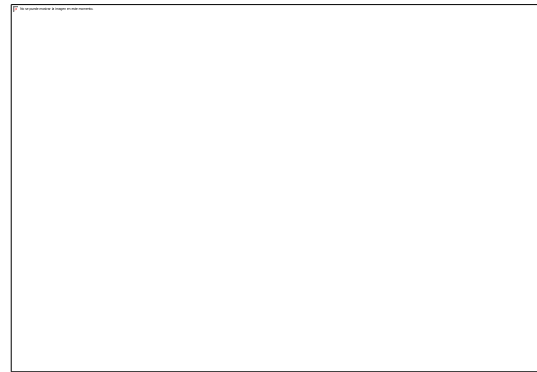
(a)



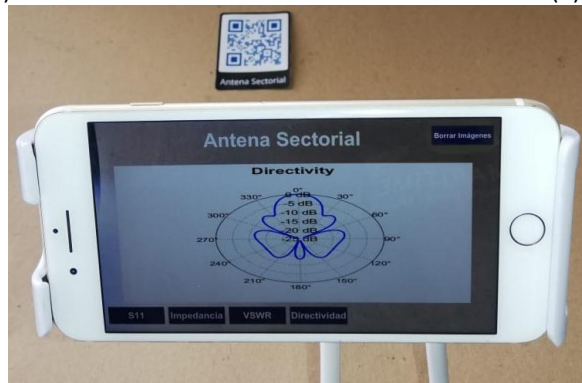
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 6.167 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo sectorial: (a) patrón de radiación con realidad aumentada, (b) S11, (c) impedancia, (d) VSWR, (e) directividad

Fuente: Autores

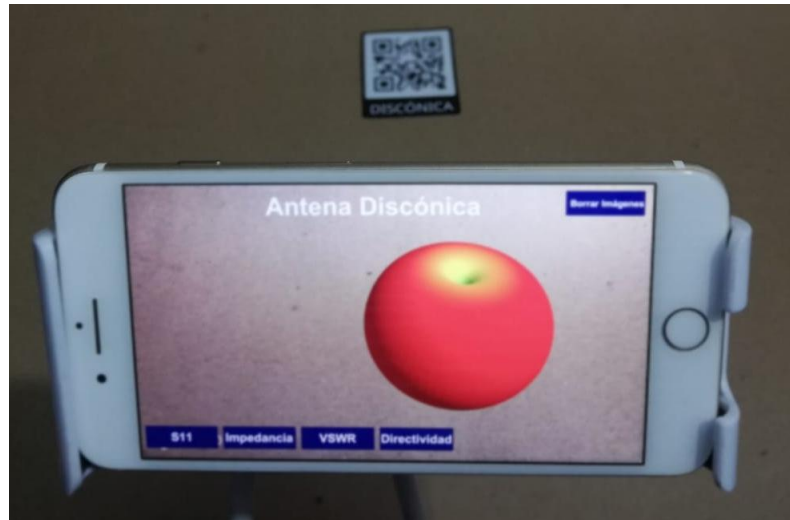


Figura 6.168 Reconocimiento del target correspondiente a la antena tipo discónica

Fuente: Autores

## CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño de antenas depende de los parámetros físicos de los materiales de construcción porque influyen directamente en el funcionamiento de la antena, por lo que se requirió que se consideren los valores reales de los parámetros.

En las simulaciones se observó que la frecuencia de resonancia  $f_r$  varió debido a los parámetros de diseño, es decir, al redondear las dimensiones de las antenas  $f_r$  tiende a modificarse, pero mantiene las condiciones de frontera planteadas para cada uno de los parámetros característicos de las antenas.

Cuando se exporta un objeto desde el software Ansys HFSS y ese archivo se abre en un software de diseño tal como Blender o Unity, dicho elemento pierde sus colores y el patrón de radiación en 3D aparece con colores grises. Para solucionar este problema, es necesario el uso del código de programación especificado en la Figura 6.47 ya que, al implementarlo sobre el proyecto, se podrá recuperar los colores originales y asignarlos a los modelos 3D de los diferentes patrones de radiación.

La aplicación desarrollada para dispositivos Android puede ser compartida e instalada en diferentes dispositivos móviles que poseen dicho sistema operativo. Basta con compartir el archivo con extensión .apk, descargarlo e instalarlo en el celular. Situación que no sucede para dispositivos iOS, donde es necesario adquirir una licencia de desarrollador y publicarla en la App Store, lo cual posee cierto costo económico.

Para la aplicación iOS fue fundamental trabajar con una MAC y una licencia de desarrollador porque es un hardware exclusivo para dispositivos Apple, por lo que no hay compatibilidad con otros sistemas operativos. Con la licencia de desarrollador se obtuvo un ID para el equipo de trabajo, la cual permitió la exportación de Unity a Xcode.

El paquete Vuforia para realidad aumentada es compatible con dispositivos iOS desde la versión 11.0, por lo que se especificó tanto en Unity como en Xcode, que la aplicación será compatible desde dicha versión.

La frecuencia y la longitud de onda que se asignan es de 2.4 GHz y  $\lambda/4$ , respectivamente, por lo que las dimensiones de las antenas se encuentran alrededor de unidades milimétricas y al ser complejo construir antenas con dichos valores, es recomendable redondearlos.

Se analizó los resultados de las simulaciones y tanto S11, VSWR y BW se encuentran dentro de las condiciones de frontera, pero la impedancia requiere la aplicación de técnicas de acoplamiento porque la impedancia de la antena es diferente a la del conector, por lo que no existe acoplamiento total e influiría directamente en la construcción de antenas.

Otro método para obtener los valores precisos en los parámetros característicos de las antenas es la aplicación de algoritmos de optimización, con lo que en trabajos futuros se implementaría el acoplamiento del software de diseño, simulación y visualización con realidad aumentada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARCOTEL, “46,4% de usuarios del Servicio Móvil Avanzado poseen un smartphone – Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.” [Online]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/464-de-usuarios-del-servicio-movil-avanzado-poseen-un-smartphone/>. [Accessed: 06-Dec-2019].
- [2] Edemdu, “Encuesta Nacional de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. [Data File] Ecuador.,” *Inst. Nac. Estadísticas y Censos*, pp. 1–42, 2017.
- [3] UNESCO, “Marco de Competencias de los Docentes en materia de TIC,” 2019. [Online]. Available: <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion/marco-competencias-docentes>.
- [4] UNESCO, “Las TIC en la educación,” 2019. [Online]. Available: <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion>.
- [5] M. G. Gericota, J. Manuel, and S. Gago, *TICAI 2015 TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería*. 2015.
- [6] N. Olmedo-Torre, O. Farrerons Vidal, J. Lapaz Castillo, and F. Bermúdez Rodríguez, “Influencias de las TIC en el aprendizaje de la Ingeniería Gráfica,” 2015.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Third Edit. New Jersey, 2005.
- [8] R. Hernández, “Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 GHz y 5.8 GHz,” Universidad de las Américas Puebla, 2008.
- [9] J. Ramírez, *Antenas: Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño*, Primera Ed. Bogotá, 2007.
- [10] G. N. Mendieta<sup>1</sup>, R. Cecilia, and M. García, “LAS TIC Y LA EDUCACIÓN ECUATORIANA EN TIEMPOS DE INTERNET: BREVE ANÁLISIS.”
- [11] V. Simbaña and S. Vinueza, “Impacto de las TIC en la Educación Superior en el Ecuador,” *Rev. Publicando*, vol. 4, no. 11, pp. 355–368, 2017.
- [12] C. Prendes, “Realidad Aumentada Y Educación: Análisis De Experiencias Prácticas Augmented Reality and Education: Analysis of Practical Experiences,” *Pixel - Bit. Rev.*

*Medios y Educ.*, vol. 46, pp. 1133–8482, 2015.

- [13] A. Blázquez Sevilla, “Realidad Aumentada en Educación,” *Univ. Politécnica Madrid*, 2017.
- [14] M. Lazzarini, “‘Realidad Aumentada’ (Parte I) ¿Un nuevo concepto? ¿Una nueva tecnología?,” no. Parte I, pp. 1–6, 2018.
- [15] C. Carrecedo, J., Martínez, “Realidad Aumentada: Una Alternativa Metodológica en la Educación Primaria Nicaragüense,” *leee-Rita*, vol. 7, no. 2, pp. 102–108, 2012.
- [16] A. Agudelo Toro, “Modelo de contexto para realidad aumentada,” *Rev. Univ. EAFIT*, vol. 41, no. 138, pp. 44–64, 2005.
- [17] I. M. Melo Bohórquez, “Realidad aumentada y aplicaciones,” *Tecnol. Investig. y Acad.*, vol. 6, no. 1, pp. 28–35, 2018.
- [18] X. Basogain, M. Olabe, K. Espinosa, and C. R. J. C. Olabe, “Realidad Aumentada en la Educación : una tecnología emergente,” *Semana*, no. 5, pp. 12–15, 2010.
- [19] G. Lopez-Berestein and O. J Jay, “Las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria: los laboratorios virtuales,” *Rev. electrónica enseñanza las ciencias*, vol. 6, no. 3, pp. 562–576, 2007.
- [20] M. Billinghurst, H. Kato, and I. Poupyrev, “The MagicBook: A transitional AR interface,” *Comput. Graph.*, vol. 25, no. 5, pp. 745–753, 2001.
- [21] M. Billinghurst, R. D. Grasset, and H. Seichter, “Tangible Interfaces for Ambient Augmented Reality Applications,” *Human-Centric Interfaces Ambient Intell.*, no. September 2018, pp. 281–302, 2010.
- [22] Telefonica, “Talentum School,” 2012. .
- [23] E. Escartín, “La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance.”
- [24] A. Alvarez-Marin, M. Castillo-Vergara, J. Pizarro-Guerrero, and E. Espinoza-Vera, “Realidad aumentada como apoyo a la formación de ingenieros industriales,” *Form. Univ.*, vol. 10, no. 2, pp. 31–42, 2017.
- [25] E. Mendez, “Realidad aumentada en la construcción,” 2015.
- [26] J. Cubillo, S. Martín, M. Castro, and A. Colmenar, “Recursos Digitales Autónomos Mediante Realidad Aumentada (Autonomous Digital Resources Through Augmented Reality),” *Rev. Iberoam. Educ. a Distancia*, vol. 17, no. 2, pp. 241–274, 2014.
- [27] R. S. Reyes, “La realidad aumentada como herramienta para la explicación de magnitudes eléctricas,” 2018.