

**EVALUACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA RADIADA DE  
ANTENAS HF/VHF DE UN BUQUE DE ACERO**

Stefany del Pilar Marrugo Llorente  
Yuliana Andrea Giraldo Giraldo

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
PROGRAMA: Ingeniería electrónica  
CARTAGENA, COLOMBIA  
Mayo de 2011.**

**EVALUACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA RADIADA DE  
ANTENAS HF/VHF DE UN BUQUE DE ACERO**

Stefany del Pilar Marrugo Llorente  
Yuliana Andrea Giraldo Giraldo

**Proyecto de grado - como requisito final para optar por el título de Ingeniero  
Electrónico.**

**Director:**

MsC. Ricardo Javier Arjona Angarita  
Profesor tiempo completo Programa de ingeniería Electrónica.

**Asesor:**

MsC. Víctor Hugo Jiménez González  
Jefe de la división de Electricidad y Electrónica de DIDESI – COTECMAR.

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
PROGRAMAS: Ingeniería electrónica  
CARTAGENA, COLOMBIA  
Mayo de 2011.**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Jurado.

---

Firma del Jurado.

**Cartagena, 20/05/2011**

## **DEDICATORIA**

A Dios y nuestras familias, por su apoyo y amorosa paciencia durante el proceso de elaboración del presente proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios, por darnos la vida y el tiempo para realizar este proyecto.

Nuestros padres, por su apoyo incondicional y esfuerzo constante al educarnos como mujeres de investigación.

A nuestras familias por su ayuda y apoyo constante en el desarrollo de la investigación.

M.Sc, Ricardo Arjona Angarita, Ingeniero Electrónico y profesor tiempo completo Universidad Tecnológica de Bolívar, por su invaluable colaboración y orientación en la realización del presente proyecto en calidad de Director del mismo.

C.C. Víctor Hugo Jiménez G., Ingeniero electricista y director de la división de electricidad y electrónica de DIDESI en COTECMAR, por su colaboración en la realización del presente proyecto como Asesor del mismo.

Dr. Roberto Bustamante e Ing. Carlos Páez, por su colaboración y asesoría durante la visita académica realizada a la Universidad de los Andes.

A todas esas personas que de manera directa o indirecta dieron su apoyo y colaboración para lograr el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	19
I. ESTADO DEL ARTE .....	21
1.1 GENERALIDADES .....	21
1.2 CRITERIOS Y RESTRICCIONES ÚTILES PARA LA INSTALACIÓN DE ANTENAS.	22
1.3 METODOLOGÍA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS .....	24
1.4 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN BUQUES.....	26
II. MODELAMIENTO DEL BUQUE Y ANTENAS.....	30
2.1 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN.....	30
2.2 MODELAMIENTO DEL BUQUE.....	32
2.3 MODELAMIENTO DE LAS ANTENAS.....	36
2.3.1 Herramientas utilizadas.....	40
2.4 Modelos de las antenas.....	40
III. CARACTERIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE ANTENAS EN EL ENTORNO .....	43
3.1 SIMULACIÓN INDEPENDIENTE DE ANTENAS EN VACÍO.....	43
3.1.1 MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE.....	45

3.1.2 Antena de radio HF Shakespeare STYLE 5390. ....	49
3.2 SIMULACIÓN INDIVIDUAL DE LAS ANTENAS EN EL BUQUE.....	54
3.2.1 MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE.....	54
3.2.2 Antena de radio HF Shakespeare STYLE 5390. ....	62
3.3 SIMULACIÓN COMBINADA. ANTENAS INSTALADAS EN EL BUQUE, OPERANDO SIMULTÁNEAMENTE. ....	70
3.3.1 Antenas HF Combinadas:.....	71
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	82
4.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS .....	82
4.1.1 Pérdidas por retorno y VSWR. ....	82
4.1.2 Impedancia de entrada.....	87
4.1.3 Análisis de patrones de radiación en 2D. ....	89
4.1.3.1 Correlación entre antenas en PEC y COBRE Vs. Ubicación .....	89
• Antena VHF.....	89
• Antena HF .....	94
4.1.3.2 Correlación entre Antenas en <i>PEC</i> Vs. Antenas en Cobre .....	99
• Antena VHF.....	99
• Antena HF. ....	104
4.1.3 Correlación entre datos cuando varias antenas HF y VHF en <i>PEC</i> Vs COBRE operan simultáneamente. ....	109

4.2 ANÁLISIS DE CAMPOS ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO Y CORRIENTES INDUCIDAS.	120
4.2.1 Antena VHF	120
4.2.2 Antena HF	127
4.2.3 Antenas HF/VHF en el buque	133
CONCLUSIONES	141
BIBLIOGRAFÍA	143



## TABLAS

pág.

Tabla 1. Selección de antenas, características e ilustraciones .....	37
Tabla 2. Características de algunos dipolos .....	39
Tabla 3. Modelo de antenas en HFSS .....	41
Tabla 4. Dipolo VHF – <i>PEC</i> en vacío.....	46
Tabla 4. (Continuación).....	47
Tabla 5. Dipolo VHF – COBRE en vacío.....	48
Tabla 5. (Continuación).....	49
Tabla 6. Monopolo HF – <i>PEC</i> en vacío.....	50
Tabla 6. (Continuación).....	51
Tabla 7. Monopolo HF – COBRE en vacío. ....	52
Tabla 7. (Continuación).....	53
Tabla 8. Dipolo VHF - <i>PEC</i> sobre mástil en acero .....	55
Tabla 8. (Continuación).....	56
Tabla 9. Dipolo VHF – COBRE sobre mástil en acero.....	57
Tabla 9. (Continuación).....	58
Tabla 10. Dipolo VHF - <i>PEC</i> sobre mástil y cubierta en acero.....	59
Tabla 10. (Continuación).....	60
Tabla 11. Dipolo VHF - COBRE sobre mástil y plataforma en acero. ....	61
Tabla 11. (Continuación).....	62
Tabla 12. Dipolo HF - <i>PEC</i> sobre plataforma en acero.....	63

Tabla 12. (Continuación).....	64
Tabla 13. Dipolo HF - COBRE sobre plataforma en acero.....	65
Tabla 13. (Continuación).....	66
Tabla 14. Monopolo HF - PEC sobre Buque completo en acero. ....	67
Tabla 14. (Continuación).....	68
Tabla 15. Monopolo HF - COBRE sobre buque completo en acero. ....	69
Tabla 15. (Continuación).....	70
Tabla 16. Antenas HF - PEC, sobre buque en acero. Separación de 3m. ....	72
Tabla 16. (Continuación).....	73
Tabla 17. Antenas HF - COBRE, sobre buque en acero. Separación 3m.....	73
Tabla 17. (Continuación).....	74
Tabla 18. Antenas HF - PEC, sobre buque en acero. Separación de 6m. ....	75
Tabla 18. (Continuación).....	76
Tabla 19. Antenas HF - COBRE, sobre buque en acero. Separación de 6m..	77
Tabla 19. (Continuación).....	78
Tabla 20. Antenas HF y VHF en PEC sobre buque en acero. ....	79
Tabla 20. (Continuación).....	80
Tabla 21. Antenas HF y VHF en COBRE sobre buque en acero. ....	80
Tabla 21. (Continuación).....	81
Tabla 22. Pérdidas por retorno (PR) y VSWR para las antenas en vacío. ....	83
Tabla 23. Pérdidas por retorno y VSWR. ....	86
Tabla 24. Impedancias de entrada.....	88
Tabla 25. Impedancia de entrada para $Z_0 = 75\text{Ohm}$ . ....	89

Tabla 26. Comparación - Antena VHF en <i>PEC</i> con variación de entorno.....	89
Tabla 26. (Continuación).....	89
Tabla 27. Correlación entre datos para dipolo VHF en <i>PEC</i> variando el entorno. .....	91
Tabla 28. Comparación - Antena VHF en cobre con variación de entorno .....	92
Tabla 29. Correlación entre datos para dipolo VHF en Cobre variando el entorno. .....	93
Tabla 29. (Continuación).....	93
Tabla 30. Comparación - Antena HF en <i>PEC</i> con variación de entorno. ....	94
Tabla 30. (Continuación).....	94
Tabla 31. Correlación entre datos para monopolo HF en <i>PEC</i> variando el entorno .....	96
Tabla 32. Comparación - Antena HF en cobre con variación de ubicación.....	97
Tabla 33. Correlación entre datos para monopolo HF en COBRE variando el entorno.....	98
Tabla 33. (Continuación).....	98
Tabla 34. Comparación - Dipolo VHF ubicado en vacío, variando el material. 99	
Tabla 34. (Continuación).....	100
Tabla 35. Comparación-Dipolo VHF ubicado en el mástil, variando el material	101
Tabla 36. Comparación - Dipolo VHF ubicado en mástil + plataforma, variando el material. ....	102
Tabla 37. Correlación para el dipolo VHF <i>PEC</i> Vs COBRE, en sus diferentes entornos. ....	103
Tabla 38. Comparación - Monopolo HF ubicado en vacío, variando el material.	104
Tabla 38. (Continuación).....	105

Tabla 39. Comparación - Monopolo HF ubicado en Plataforma, variando el material. ....	105
Tabla 39. (Continuación).....	103
Tabla 40. Comparación - Monopolo HF ubicado en el buque, variando el material. ....	106
Tabla 40. (Continuación).....	106
Tabla 41. Correlación para el Monopolo HF <i>PEC</i> Vs COBRE, para las diferentes entornos. ....	108
Tabla 42. Comparación - Arreglo de antenas HF sobre el buque a 3m de separación, variando el material. ....	109
Tabla 42. (Continuación).....	110
Tabla 43. Correlación para Monopolos HF <i>PEC</i> Vs COBRE ubicados en el buque separados 3m. ....	110
Tabla 44. Comparación - Arreglo de antenas HF a 6m sobre el buque. Separadas 6m. ....	111
Tabla 45. Correlación para Monopolos HF <i>PEC</i> Vs COBRE ubicados en el buque separados 6m. ....	112
Tabla 46. Comparación - Arreglo de antenas HF separadas 6m y VHF sobre el buque. Influencia sobre monopolo HF. ....	112
Tabla 46. (Continuación).....	113
Tabla 47. Correlación para Monopolos HF separados 6m y dipolo VHF <i>PEC</i> Vs COBRE ubicados en el buque. Influencia sobre el dipolo VHF.....	114
Tabla 48. Variación del patrón de radiación y de la ganancia de la antena HF en <i>PEC</i> . ....	114
Tabla 48. (Continuación).....	115
Tabla 49. Correlación entre datos para de la antena HF, cuando varias antenas están ubicadas sobre el buque .....	115
Tabla 49. (Continuación).....	115

Tabla 50. Variación del patrón de radiación y de la ganancia de la antena HF en cobre.....	117
Tabla 50. (Continuación).....	117
Tabla 51. Correlación entre datos para de la antena HF, cuando varias antenas están ubicadas sobre el buque. ....	118
Tabla 51. (Continuación).....	118
Tabla 52. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del dipolo VHF <i>PEC</i> Vs. COBRE.....	126
Tabla 53. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF <i>PEC</i> Vs. COBRE. ....	132
Tabla 54. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF <i>PEC</i> Vs. COBRE, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.....	139
Tabla 55. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF <i>PEC</i> Vs. COBRE, cuando está solo en el buque y cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.....	140

## FIGURAS

	pág.
Figura 1. Buque tipo “pesquero de altura” - Celtic Explorer .....	33
Figura 2. Modelamiento de las cubiertas del buque.....	34
Figura 3. Modelamiento de la cabina de control .....	34
Figura 4. Modelamiento del mástil .....	34
Figura 5. Modelo unificado.....	35
Figura 6. Modelo en bloques (mejorado) del Celtic explorer usando HFSS.....	35
Figura 7. Teoría de la imagen [19].....	40
Figura 8. Perdidas por retorno dipolo VHF- <i>PEC</i> en vacío, para 156 MHz, 159 MHz y 162MHz.....	84
Figura 9. Perdidas por retorno dipolo VHF- COBRE en vacío, para 156 MHz, 159 MHz y 162MHz. ....	84
Figura 10. Perdidas por retorno monopolo HF- <i>PEC</i> en vacío, para 12 MHz, 21.5 MHz y 30MHz. ....	85
Figura 11. Perdidas por retorno monopolo HF- COBRE en vacío, para 12 MHz, 21.5 MHz y 30MHz. ....	85
Figura 12. Comparación de los patrones de radiación 2D de elevación (izquierda) y azimuth (derecha), de los tres casos expuestos en la tabla 48.....	116
Figura 13. Comparación de los patrones de radiación 2D de elevación (izquierda) y azimuth (derecha), de los tres casos expuestos en la tabla 50.....	119
Figura 14. Corriente superficial de la Antena VHF – <i>PEC</i> ubicada sobre mástil + plataforma .....	120
Figura 14. (Continuación).....	120
Figura 15. Campo eléctrico generado por la Antena VHF – <i>PEC</i> ubicada sobre mástil + plataforma.....	121

Figura 15. (Continuación).....	121
Figura 16. Campo magnético generado por la Antena VHF – <i>PEC</i> ubicada sobre mástil + plataforma.....	122
Figura 16. (Continuación).....	122
Figura 17. Corriente superficial de la Antena VHF – COBRE ubicada sobre mástil + plataforma .....	123
Figura 17. (Continuación).....	123
Figura 18. Campo eléctrico generado por la Antena VHF – COBRE ubicada sobre mástil + plataforma.....	124
Figura 18. (Continuación).....	122
Figura 19. Campo magnético generado por la Antena VHF – COBRE ubicada sobre mástil + plataforma.....	125
Figura 19. (Continuación).....	123
Figura 20. Corriente superficial de la Antena HF – <i>PEC</i> ubicada sobre buque.	127
Figura 21. Campo magnético generado por la Antena HF – <i>PEC</i> ubicada sobre el buque.....	128
Figura 22. Campo eléctrico generado por la Antena HF – <i>PEC</i> ubicada sobre el buque.....	129
Figura 23. Corriente superficial de la Antena HF –COBRE ubicada sobre buque. ....	130
Figura 24. Campo eléctrico generado por la Antena HF – COBRE ubicada sobre el buque.....	131
Figura 25. Campo magnético generado por la Antena HF – COBRE ubicada sobre el buque. ....	132
Figura 26. Corriente superficial de la Antena HF – <i>PEC</i> ubicada sobre buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando. ....	133
Figura 26. (Continuación).....	131

Figura 27. Campo eléctrico generado por la Antena HF – <i>PEC</i> ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando .....	134
Figura 27. (Continuación).....	132
Figura 28. Campo magnético generado por la Antena HF – <i>PEC</i> ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando .....	135
Figura 28. (Continuación).....	133
Figura 29. Corriente superficial de la Antena HF –COBRE ubicada sobre buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando. ....	136
Figura 29. (Continuación).....	134
Figura 30. Campo eléctrico generado por la Antena HF –COBRE ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando .....	137
Figura 30. (Continuación).....	135
Figura 31. Campo magnético generado por la Antena HF – COBRE ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando .....	138
Figura 31. (Continuación).....	136



## GLOSARIO

**ANTENA:** es una interfaz de acople entre un sistema y el espacio. Dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre.

**BUQUE:** es un vehículo flotante que ha de reunir una serie de cualidades para navegar, derivadas del ámbito en que se desenvuelve y de su condición de móvil.

**COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA:** capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin provocar perturbaciones electromagnéticas intolerables sobre cualquier cosa de ese entorno.

**GANANCIA:** es la relación entre la intensidad, en una dirección dada, y la intensidad de la radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena es radiada de forma isotrópica.

**HF:** del inglés High Frequency (o altas frecuencias), son las siglas utilizadas para referirse a la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3 MHz a 30 MHz.

**IMPEDANCIA DE ENTRADA:** Es la relación entre la tensión y corriente entre un par de terminales, o la relación de las componentes apropiadas de los campos eléctrico y magnéticos en un punto.

**PATRÓN DE RADIACIÓN:** es una función matemática o representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena como función de coordenadas espaciales. Los patrones de radiación usualmente se representan de dos formas, el patrón de elevación y el patrón de azimuth. El patrón de elevación es una gráfica de la energía radiada por la antena vista de perfil. El patrón de azimuth es una gráfica de la energía radiada vista directamente desde arriba.

**PÉRDIDAS POR RETORNO:** es la diferencia entre la potencia de la señal transmitida y la potencia de las reflexiones de la señal causadas por las variaciones en la impedancia del cable.

**VHF:** (*Very High Frequency*) es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.

**VSWR:** el *Voltage Standing Wave Ratio*, es un parámetro que indica la relación entre los valores de tensión máxima y mínima de un patrón de onda estacionaria.

## RESUMEN

El presente estudio está orientado a evaluar la compatibilidad electromagnética (EMC) radiada que existe entre antenas HF/VHF ubicadas en un buque de acero. Se evalúan los parámetros de ganancia, impedancia de entrada, pérdida por retorno, VWSR y los patrones de radiación en 3D y 2D (elevación y azimuth) de las antenas HF y VHF.

Las antenas son simuladas en condiciones ideales y reales, es decir, en vacío y modeladas en conductor eléctrico perfecto (*PEC*), para verificar los valores ideales de los parámetros a evaluar. Posteriormente, se modelan en cobre, para evaluar dichos parámetros en condiciones reales. El entorno de cada antena es modificado, con el propósito de ver analizar el comportamiento de los parámetros, a medida que varía la geometría física del entorno.

Así mismo, los elementos radiantes son simulados de forma individual e independiente en el entorno, y cuando hay otros operando simultáneamente. Lo anterior es realizado para verificar si la radiación de antenas vecinas afecta de alguna forma la radiación del elemento evaluado.

Como conclusión significativa de la evaluación se encontró que tanto el entorno, el material del que está elaborada y la operación de otras antenas, afectan el desempeño de una antena, siendo las variaciones del entorno las que causan mayor impacto. Igualmente, es importante mantener una distancia mínima de 2 metros de distancia entre antenas HF que se ubiquen en un mismo entorno.

**Palabras clave:** *Compatibilidad Electromagnética (EMC), antenas HF/VHF, buque, Impedancia de entrada, VSWR, patrón de radiación, ganancia, pérdidas por retorno.*

## INTRODUCCION

Los buques están dotados con equipos de navegación electrónica y sistemas de radio comunicaciones para operación conjunta con aeronaves, otros buques y con la costa. Estos equipos se han convertido en elementos primordiales para la operación del buque y la seguridad de la tripulación a bordo, por lo que las fallas deben ser mínimas y la operatividad garantizada.

Es por esto que sus dispositivos de emisión y/o recepción de información deben ser dispuestos de tal forma que permitan obtener su mayor provecho, maximizando una operación armoniosa y conjunta de los sistemas de navegación y radio comunicaciones, asegurando la existencia de Compatibilidad Electromagnética – EMC - entre los diferentes transceptores.

En general, estos sistemas están compuestos por equipos eléctricos y electrónicos que constituyen una fuente potencial de interferencia electromagnética (EMI), por lo que es conveniente hacer una evaluación de las posibles soluciones a este fenómeno, a partir de los criterios de compatibilidad electromagnética (EMC) (definida como: *“La capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin provocar perturbaciones electromagnéticas intolerables sobre cualquier cosa de ese entorno”*<sup>1</sup>) establecidos para su correcta operación en el entorno específico en que se encuentren los sistemas.

El documento es una evaluación de compatibilidad electromagnética radiada, entre antenas que se encuentran ubicadas al exterior de un buque, usando la herramienta de simulación electromagnética de ANSYS llamada HFSS 12.

El proceso de evaluación inicia con una revisión del estado del arte relacionado con estudios similares en estructuras de gran tamaño, que presenta las metodologías de análisis aplicadas a este tipo de estudios y que forma la base para la evaluación de la interacción de las antenas con la embarcación. En el capítulo II son modeladas las antenas seleccionadas en la banda HF/VHF y la embarcación en el software; y finalmente, en los capítulos III, IV y V, se procede a la ejecución de la simulación de diversos arreglos, análisis de los resultados obtenidos y formulación de conclusiones y recomendaciones, respectivamente.

Es importante resaltar que el trabajo se limita solamente al estudio de la compatibilidad electromagnética Radiada *“Above deck”*, entre el arreglo exterior de antenas en un buque de acero tipo Pesquero de altura. El modelamiento de la embarcación y las antenas en la herramienta de simulación, es una aproximación

---

<sup>1</sup>Normativa Internacional - Informe Técnico de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 61000-1-1.

a los sistemas reales, dado que no se cuenta con información detallada sobre ellos, por ser éstos de propiedad exclusiva de cada fabricante.

## I. ESTADO DEL ARTE

Conocer el estado actual de la investigación y el desarrollo en el campo de la Compatibilidad Electromagnética (EMC) radiada de antenas instaladas sobre grandes estructuras, es el principal objetivo de este capítulo, donde se recopila información proveniente de estudios realizados a nivel internacional y nacional, así como también se presentan algunas entidades vinculadas al estudio de la EMC y sus campos de aplicación.

### 1.1 GENERALIDADES

La Compatibilidad Electromagnética - EMC de los dispositivos y equipos eléctricos y electrónicos es hoy en día, a escala mundial, una de las principales exigencias de calidad solicitadas en los equipos. La Unión Europea por ejemplo, ha establecido la denominada directiva 89/336/EEC sobre EMC, de obligatorio cumplimiento desde 1996, que cubre un gran conjunto de sistemas y equipos eléctricos y electrónicos comercializados en su territorio. Por otra parte, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos, impone restricciones a las emisiones radiadas y conducidas de los dispositivos digitales que sean comercializados en el país.

En Colombia existen cerca de 6 grupos de investigación suscritos al Capítulo Colombiano de la Sociedad de Compatibilidad Electromagnética IEEE-EMC, para el estudio de temas relacionados con los fenómenos electromagnéticos, algunos de ellos son:

- Programa de Adquisición y Análisis de Señales Electromagnéticas - PAAS (Universidad Nacional de Colombia)
- Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética (Universidad Nacional de Colombia)
- Grupo de Investigación en sistemas Eléctricos de Potencia - GISEL (Universidad Industrial de Santander)
- Grupo de Investigación en Sistemas de Potencia y Distribución - GREDyP (Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales)<sup>2</sup>

Dentro de las líneas de investigación adscritas por estos grupos y los proyectos en desarrollo se encuentran, entre otros:

---

<sup>2</sup> Tomado de: [http://ewh.ieee.org/r9/colombia/2006/chapters.php?lang=spa&id\\_chapters=12](http://ewh.ieee.org/r9/colombia/2006/chapters.php?lang=spa&id_chapters=12).

- Descargas eléctricas atmosféricas, calidad de energía, pérdidas eléctricas y mercados energéticos.
- Compatibilidad electromagnética: impulsos de corriente, electrodos flotantes en el campo eléctrico, estudios de exposición de seres vivos, estudios de rayos como fuente de interferencia electromagnética, física de la descarga en gases, materiales aislantes higroscópicos, protección contra sobretensiones, sistemas de puesta a tierra.
- Estudio de estabilidad en sistemas de potencia: metodología para la evaluación de la estabilidad de tensión mediante la aplicación de inteligencia artificial.
- Calidad de energía: caracterización del sistemas eléctrico utilizando técnicas en el dominio del tiempo, caracterización del sistema eléctrico utilizando técnicas en el dominio de la frecuencia, caracterización del sistema eléctrico utilizando técnicas inteligentes, respuesta en frecuencia: técnicas de análisis de resonancia, definición y medición de la potencia, análisis, diseño y construcción integral de filtros pasivos, software de calidad de energía, flujos de corrientes armónicas en sistemas eléctricos.

La Universidad de los Andes, que también está vinculada a este capítulo del IEEE-EMC, cuenta con el grupo de electrónica y sistemas de telecomunicaciones, cuyas líneas de investigación son: Antenas y Propagación de Ondas de Radio, electromagnetismo aplicado a las comunicaciones, electrónica de alta frecuencia (RF y microondas) y opto-electrónica, ingeniería de teletráfico y diseño de redes de comunicaciones, redes de Radio en Sistemas de Comunicaciones, redes de sensores inalámbricos, seguridad, comunicaciones seguras y evaluación de desempeño en entornos móviles

La Universidad del Valle, aunque no pertenece al capítulo Colombiano IEEE-EMC, tiene su grupo de investigación GRALTA, clasificado en COLCIENCIAS como categoría A1. Dedicado a contribuir al desarrollo de los sistemas de potencia, realizando proyectos en las siguientes tres líneas de investigación: Simulación y Operación de Sistemas de Potencia, calidad en el sistema eléctrico y Análisis y Aplicación de los Campos Electromagnéticos, dentro de la cuál se incluyen: Aspectos de los efectos ambientales de los sistemas eléctricos, Medición, atenuación y aplicación de los campos electromagnéticos y Compatibilidad electromagnética.

## **1.2 CRITERIOS Y RESTRICCIONES ÚTILES PARA LA INSTALACIÓN DE ANTENAS**

Luego de una revisión a documentos y estudios a nivel mundial relacionados con la temática “criterios y restricciones útiles para la instalación de antenas”, se

evidencia que uno de los criterios que cobra especial importancia a la hora de instalarlas, es la distancia que debe existir entre ellas, lo cual no constituye una norma universal, pues depende de la configuración de las antenas en cada sitio, como lo menciona Mawrey<sup>3</sup>, quien además expresa que *“los requerimientos de distanciamiento entre antenas actualmente pueden ser estimados usando técnicas de análisis de interferencia, que incluyen investigación de: intermodulación y armónicos, ruido, des-sensibilización, acoplamiento de la antena y características del equipo”*.

Por esto, sin una información detallada del entorno y una herramienta computacional adecuada, se dificulta establecer la separación necesaria de las antenas en la embarcación.

Otro criterio importante es el tipo de antena a instalar dependiendo de la frecuencia del sistema de radiocomunicación. Por ejemplo en el documento NAVEDTRA 14225<sup>4</sup> se establece que para antenas de cables de acero instaladas en buques para cobertura de media y alta frecuencia (300kHz – 30MHz), los cables de la antena receptora deben estar instalados hacia la parte delantera del buque, subiendo casi verticalmente desde la parte superior de la timonera hasta los soportes en el mástil y, las antenas receptoras deben estar localizadas lo más lejos posible de las de transmisión.

Las antenas VHF y UHF que tienen un tamaño relativamente pequeño debido a las longitudes de onda a esas frecuencias, deben estar instaladas en lugares altos y despejados lo mayor posible, dado que son sistemas de línea de vista. Similarmente, en el documento NAVSHIP 900,121(A)<sup>5</sup> se enfatiza en la ubicación de antenas UHF en sitios elevados del buque, debido a que estructuras como el mástil, otras antenas, barandillas y otras estructuras metálicas pueden afectar su patrón de radiación. Igualmente, se expone la interferencia causada por radiaciones indeseadas en antenas UHF provenientes de transmisores, con pruebas que demuestran que debe existir una distancia horizontal de al menos 21 pies ó una distancia vertical de al menos 4 pies entre antenas de recepción y transmisión para evitar este tipo de interferencias. Por otra parte, para prevenir efectos sobre la directividad entre antenas UHF cercanas, se debe mantener una distancia de separación mutua comprendida entre 6 y 8 pies.

---

<sup>3</sup> MAWREY, Robert S. Radio frequency interference and antenna sites. Disponible en: <http://www.sss-mag.com/pdf/1interference.pdf>

<sup>4</sup> US Navy. NAVEDTRA 14225 – Information Systems Technician Training. Module 4: Communication Hardware. Chapter II: Satellites and antennas.

<sup>5</sup> NAVSHIP 900,121(A) – Navy department. Shipboard antenna details. Chapter 2: Installation methods. Disponible en: <http://www.navy-radio.com/antenna.htm>

### 1.3 METODOLOGÍA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS

El propósito de generar y evaluar distribuciones de antenas es poder decidir la posición apropiada de ellas, con el fin de lograr que en los buques mejore una de las condiciones necesarias para que exista EMC. Teniendo en cuenta eso, se revisaron además algunos documentos relacionados con la temática “metodología para la distribución de antenas”, y se encontró que en USA se patentó un método para determinar la distancia que debe existir entre diversas antenas ubicadas en una radio base de telecomunicaciones. Según es manifestado en el documento *Method Determining Distance Between Diversity Antennas*<sup>6</sup>, básicamente el método consiste en determinar un coeficiente de correlación ( $\rho$ ) permisible, de señales recibidas a través de un par de antenas, en una primera banda de frecuencias ( $F_1$ ) que provea buen desempeño para las antenas, con lo cual se determina una distancia  $d_1$  (según la expresión:  $d_1 = h/\eta$ , siendo “ $h$ ” la altura efectiva de la antena y “ $\eta$ ” la razón determinada a partir de  $\rho$ ) entre ellas que satisface el coeficiente de correlación determinado para esa primer banda; posteriormente se determina una segunda distancia  $d_2$  (según la expresión:  $d_2 = d_1(F_1/F_2)$ ) entre las dos antenas, basándose en  $d_1$ . Esta nueva distancia  $d_2$  es calculada para una banda de frecuencias ( $F_2$ ) diferente a la inicial.

Frente a la misma temática, los autores de *Optimizing Model of Shipboard HF Antenna Placement*<sup>7</sup>, plantearon un modelo de optimización de la ubicación de antenas HF en buques, para lo cual es construida una Función Objetivo - $F(X, f_p)$ - que a partir del análisis de dos parámetros: aislamiento entre antenas y patrón de distorsión horizontal, pretende determinar cuál es el mejor escenario posible para la ubicación de antenas en buques. La función está dada por la expresión:

$$\min F(X, f_p) = \sum_{i=1}^n w_p F_p(X, f_p)^8.$$

<sup>6</sup> CHOI, Ho-Young. Method Determining Distance Between Diversity Antennas. 2001, United State Patent No. US 6,292,138 B1.

<sup>7</sup> ZHANG, Qi y ZHAO, Gang. Optimizing Model of Shipboard HF Antenna Placement. 2005, Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics Proceedings.

<sup>8</sup> Donde:

$n$  = numero de puntos de frecuencias que se pueden establecer de acuerdo a la situación actual, que se encuentran usualmente dentro de la primer banda de trabajo de las antenas.

$f_p$  = frecuencia de trabajo en un punto “P” de frecuencia,  $f_p \in [3,30]$ . Su unidad es MHz.

$F_p(X, f_p)$  = función objetivo cuando la antena está funcionando a  $f_p$

$w_p$  = coeficiente ponderado de  $F_p(X, f_p)$  que muestra la importancia de  $f_p$  en la práctica,  $w_p$  está en el intervalo [0,1] y

$$\sum_{p=1}^n w_p = 1$$



El propósito es básicamente evaluar varias condiciones de aislamiento y de patrones de distorsión de antenas, hasta obtener el mínimo valor de la función objetivo planteada. Es importante notar que la función decrece directamente proporcional con el patrón de distorsión e inversamente con el aislamiento entre las antenas.

Sin embargo, para la optimización en la ubicación de antenas HF no solo se debe lograr el mínimo valor de la función objetivo, sino que también se deben tener en cuenta una serie de restricciones, así como se debe satisfacer estándares militares (Estándar Militar Nacional - USA). Estas restricciones pueden ser obligatorias o no, las primeras relacionadas con condiciones de distancia física entre antenas y las segundas relacionadas con cumplimiento de algunos límites establecidos por estándares militares (para aislamiento y patrón de distorsión). Según es manifestado en el mismo documento, las siguientes son las restricciones a tener en cuenta:

- La distancia  $D_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j)$  entre la antena receptora “i” y la “j” no debe ser menor a 3 metros, mientras que estén trabajando simultáneamente:  

$$D_{ij}(\bullet) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \geq 3$$
- La distancia  $D_{t_{ij}}(x_i, y_i, x_j, y_j)$  entre la antena transmisora “i” y la “j” no debe ser menor que la longitud de la mas corta, mientras que estén trabajando simultáneamente:  $D_{ij}(\bullet) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \geq \min\{L_i, L_j\}$
- La superposición entre antenas y equipos de transmisión de soporte está prohibida, por esto debe existir cierta distancia entre ellos. Para casos en que éstos se encuentren ubicados en el mismo plano, las coordenadas  $(x', y')$  deben estar restringidas por:  $\sqrt{(x_i - x')^2 + (y_i - y')^2} \geq D(x_i, y_i, x', y')$ , donde  $(x', y')$  es la coordenada “x” y “y” de cualquier punto en un equipo de

$$F_P(X, f_P) = -a_1 \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} d_{ij} L'_{ij}(x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j) + a_2 \sum_{i=1}^m t_i \sigma'_i(x_i, y_i, z_i, f_P), \text{ donde:}$$

- $L_{ij}(x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j)$  = es el aislamiento entre la antena transmisora “i”, localizada en  $(x_i, y_i, z_i)$  y la antena receptora “j” localizada en  $(x_j, y_j, z_j)$ .
- $\sigma_{ij}(x_i, y_i, z_i, f_P)$  = es el patrón de distorsión horizontal de la antena “i” localizada en el punto  $(x_i, y_i, z_i)$
- $d_{ij}$  o  $t_i$  = es el coeficiente de ponderación de aislamiento o distorsión de la antena. Ambos deben satisfacer el requerimiento  $\sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} d_{ij} = 1$  ó  $\sum_{i=1}^m t_i = 1$
- $a_1$  y  $a_2$  = coeficientes de ponderación de parámetros (aislamiento y distorsión), y deben cumplir las siguientes condiciones  $a_1 < a_2 < 1$  y  $a_1, a_2 \geq 0$ .

transmisión de soporte, la unidad de medida es el metro.  $D(\bullet)$  es la distancia mínima que ha sido delimitada entre ellos.

En cuanto a las restricciones no obligatorias, se tiene:

- $L_{ij}(\bullet) \geq 40dB$
- $\sigma_i(\bullet) \leq 6dB$

En general, se plantean métodos y modelos para generar y evaluar distribuciones de antenas, basándose en la distancia que debe existir entre ellas cuando operan simultáneamente a frecuencias determinadas. Lo que permite concluir que la distancia entre antenas y su frecuencia de operación son los más importantes criterios a tener en cuenta para ubicar antenas en buques.

#### 1.4 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN BUQUES

De los trabajos investigativos relacionados con la temática “Compatibilidad Electromagnética en embarcaciones o geometrías comparables”, se destacan como aportes más importantes los siguientes documentos y publicaciones:

Ronald King<sup>9</sup> hace un estudio analítico de las condiciones para las cuales se inducen corrientes y campos electromagnéticos en el cuerpo humano, teniendo como entorno físico embarcaciones; igualmente se modela el fenómeno a partir de la solución de la ecuación integral para la corriente total inducida en un conductor (conociendo su longitud media y radio), cuando es expuesto a un campo eléctrico incidente, paralelo al cilindro. Como conclusión significativa de este trabajo se determinaron analíticamente la corriente axial total, la densidad de corriente y el campo eléctrico axial inducido en cualquier sección transversal de un hombre que permanece de pie cerca de una antena vertical, en la cubierta metálica de un buque. Se presentan valores numéricos para los aspectos mencionados, específicamente cuando el hombre está descalzo y se encuentra a una distancia de 3 m de un monopolo vertical que mantiene un campo eléctrico de aprox. 10 V/m en ese lugar, así como también se determina que el valor numérico de la corriente axial total para un hombre que utilice botas con suela de goma de 2 cm de espesor, se podrá obtener a partir de la corriente calculada para el hombre descalzo, multiplicada por un factor (comprendido entre 0.697 y 0.636) teniendo en cuenta la frecuencia.

---

<sup>9</sup> KING, Ronold W. P. “The electric field induced in the human body when exposed to electromagnetic fields at 1-30 MHz on shipboard”. Publicado por el IEEE en Junio de 1999

En el documento *Expert system using electromagnetic interference and electromagnetic compatibility based criteria for ship design, weapon selection and evaluation*<sup>10</sup> se propone la selección de nuevas armas y evaluación de paradigmas usando técnicas AHP en modelos 3D; así como también se propone el diseño de embarcaciones, cuyo proceso se basa en la técnica de modelamiento de k-sistemas, donde el modelo de anticipación y percepción son desarrollados dependiendo los requerimientos de operación. Como conclusión significativa de este trabajo se expone el diseño de embarcaciones a partir de un modelo tridimensional, se plantea entonces un cubo cuyos ejes indican un criterio de evaluación. El modelo generado por los autores se basa en la estructura de jerarquía de k-sistemas, la cual es una representación general de un sistema cibernético inteligente. Los k-sistemas forman un sistema retroalimentado junto con un objeto externo en el entorno que es de interés para quienes desarrollan el estudio. De esta forma el sistema se visiona como un repertorio de modelos de percepción (representaciones de los objetos externos existentes), anticipación (prototipos del objeto deseado y elaboración de directrices para la construcción del nuevo objeto) y requerimiento de operación para el sujeto actuante. Lo anterior constituye un modelo experto que se ha construido a partir del conocimiento de modelos más sencillos.

En el documento *Electromagnetic compatibility*<sup>11</sup> se presenta el estándar 59-411 “*Part 2: Management and Planning*”, que describe la forma en que debe ser elaborado un plan de control electromagnético (contenidos y pruebas sobre el mismo) en el diseño de sistemas que involucren equipos eléctricos y electrónicos; igualmente se hace alusión a las responsabilidades típicas que debe asumir el coordinador y su grupo de trabajo, durante el diseño y ejecución de un plan de control electromagnético. Como conclusión significativa de este trabajo se expone que su finalidad principal es estandarizar los procedimientos de control y gestión electromagnética, los métodos y límites de la compatibilidad electromagnética y proporcionar orientación en el diseño electromagnético sobre cualquier procedimiento de defensa que se desarrollen en UK. En este contexto, el plan de control electromagnético define los requerimientos necesarios para implementar un control electromagnético estratégico, puesto que permite demostrar y entender los riesgos a los que se podría llegar a estar expuesto en caso de presentarse cualquier especificación inadecuada. En términos generales, el plan de control electromagnético, según el estándar 59-41 del ministerio de defensa de UK, debe contener los siguientes aspectos: Aplicabilidad, Requerimientos, Administración y organización, Documentación, Políticas de diseño, Verificación electromagnética y Programa de aseguramiento (garantía) de calidad.

---

<sup>10</sup> TAYAL, Manoj y WAMAN, Karve. Vikram. “Expert system using electromagnetic interference and electromagnetic compatibility based criteria for ship design, weapon selection and evaluation”. Publicado por el IEEE en 1997

<sup>11</sup> Anónimo. “Electromagnetic compatibility Part 2: Management and planning”. Publicado por el Ministerio de defensa de UK. Publicado en diciembre de 2002.

Ron Schmitt<sup>12</sup> se presenta la explicación de campos electromagnéticos en forma didáctica y casi sin emplear expresiones matemáticas, basándose en imágenes y situaciones cotidianas que recrean los fenómenos de interés e igualmente se muestra la caracterización de los campos cercanos y lejanos (reactivos y radiantes, respectivamente) teniendo en cuenta algunos criterios tales como energía e interacción, entre otros. Como conclusión significativa de este trabajo se expone que las cargas estacionarias y las cargas que se mueven con velocidad constante producen campos reactivos, mientras que las cargas aceleradas producen además campos radiantes. Las fuentes DC causan un desplazamiento constante de las cargas, y por lo tanto producen campos reactivos; por su parte las fuentes AC causan una aceleración en las cargas y produce campos reactivos y radiantes. Los campos radiantes llevan la energía lejos de la fuente independientemente de si existe un circuito receptor o antena. En ausencia de otro circuito, los campos reactivos almacenan energía capacitiva, inductiva o ambas. En presencia de otro circuito, los campos reactivos pueden transferir energía a través de acoplamientos inductivos o capacitivos. En general, las características de los campos reactivos dependen en gran parte del circuito de la fuente. Las características de los campos radiantes, son independientes de la fuente.

En el documento *Campos eléctrico y magnético en estaciones radioeléctricas de buques*<sup>13</sup> se hace la presentación de los resultados de la medición de la intensidad de los campos eléctrico y magnético en 21 estaciones radioeléctricas de buques, donde se encontraron valores que superan los niveles tomados como referencia; de igual forma se plantea un método de estudio para este tipo de situaciones, consistente en la utilización de un instrumento NFM-1 para medir E y H, tomando como punto de medición el sitio que ocupa el operador frente al transmisor principal. Las observaciones fueron realizadas para los rangos de frecuencias: 410-512 kHz y 4-25 MHz, al nivel de la cabeza, tórax y pelvis del operador en posición sentado, con el transmisor principal transmitiendo de forma continua y una corriente eléctrica de salida máxima (full), excepto en la Flota Cubana de Pesca donde no se controló la corriente de salida. Como conclusión significativa de este trabajo se expone que después de realizar el estudio en 21 barcos pertenecientes a las Flotas Navegación Mambisa, Atunera y Cubana de Pesca y a partir de las pautas trazadas por la *International Radiation Protection Association/Internacional Non-Ionizing Radiation Committee* (IRPA/INIRC) afirman que en 10 de esos buques se encontraron valores de E y/o H no permisibles, por lo que los radiotelegrafistas pueden estar expuestos a intensidades de campo eléctrico que superen los valores recomendados y en menor grado a valores de intensidad de campo magnético. Las mediciones de E y H demuestran que pueden ser generados EMC con intensidades de interés para la higiene ocupacional en las estaciones radioeléctricas de los barcos.

---

<sup>12</sup> SCHMITT, Ron. "Understanding electromagnetic fields and antenna radiation takes (almost) no math". Publicado por Designfeature en marzo del 2000.

<sup>13</sup> SUÁREZ Cabrera, Rujiere y ORTIZ Gómez, Sergio. "Campos eléctrico y magnético en estaciones radioeléctricas de buques". Publicado por la revista Cubana de Higiene y epidemiología en 1997.

En el documento *Challenges of the naval electromagnetic environment for the EMC engineer*<sup>14</sup>, donde se tratan aspectos como la singularidad del entorno en el que instituciones, como la Armada, tienen que poner a funcionar su arsenal sofisticado de armamento y equipos de comunicación, y en el cual se propone tener en cuenta la compatibilidad electromagnética entre sistemas en todas las etapas de diseño y construcción de la embarcación.

En el documento *Electromagnetic environmental effects modeling, simulation & test validation for cosite mitigation – an overview*<sup>15</sup> se proponen dos posibles soluciones a los efectos que tiene el entorno metálico de plataformas como barcos, aviones, naves espaciales, entre otras, para el modelado, la simulación y la validación de arreglos de antenas en dichas superficies. Dentro de las soluciones se propone aislar físicamente las antenas emisoras de las receptoras y, como otra solución se tiene la manipulación de una frecuencia, que permita mitigar los efectos del entorno en los estudios de validación y simulación de sus patrones de radiación.

---

<sup>14</sup> RAGHU, K.R. "Challenges of the naval electromagnetic environment for the EMC engineer". Publicado por el IEEE en el 2003.

<sup>15</sup> PIRICH, R.; BASANEZ, C.; ANUMOLU, P.;. "Electromagnetic environmental effects modeling, simulation & test validation for cosite mitigation – an overview". Publicado por el IEEE en el 2008.

## II. MODELAMIENTO DEL BUQUE Y ANTENAS

Para realizar la evaluación de EMC es importante tener definidos tres aspectos: la herramienta de simulación electromagnética, el entorno, y los elementos radiantes (las antenas).

En este capítulo se presentan los criterios de diseño para el modelamiento de las antenas escogidas y el buque sobre el cual son instaladas, detallando aspectos del modelo en la herramienta de simulación utilizada para efectuar la evaluación de los parámetros de las antenas.

### 2.1 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

El mercado ofrece una gran variedad de herramientas que permiten realizar simulaciones electromagnéticas (EM), utilizando diversos métodos para resolver los campos eléctricos y magnéticos en un problema en particular.

Uno de ellos es HFSS, el simulador electromagnético ofrecido por ANSYS, que es utilizado para realizar la evaluación de EMC contenida en este documento.

HFSS es la herramienta de simulación de campo electromagnético de onda completa en 3D. Ofrece resultados de campos E y H, corrientes, parámetros S y radiación de campos lejanos. Intrínseco al éxito de HFSS como una herramienta de diseño de ingeniería está su proceso de solución automatizado donde los usuarios sólo están obligados a especificar geometría, propiedades del material y la salida deseada, el software a continuación, genera automáticamente una apropiada, eficiente y precisa malla para resolver el problema utilizando el método numérico de elementos finitos.<sup>16</sup>

El método de los elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos en el tiempo de tal forma que:

- El continuo se divide en un número finito de partes, “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos denominados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.
- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos.

---

<sup>16</sup> Disponible en: [www.ansoft.com/products/hf/hfss/](http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/)

- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas *funciones de interpolación o funciones de forma*.

El FEM, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo aproximado del cuerpo, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos.

Los programas para cálculo por elementos finitos disponen de tres módulos de trabajo:

- Pre-procesador: donde se prepara el modelo para el cálculo. En él se realizan las operaciones de:
  1. Dibujo del modelo, o importación si se ha generado por medio de un sistema CAD que genere ficheros compatibles.
  2. Selección del tipo de elemento o elementos a emplear. En función del tipo de cálculos a realizar, estos programas suelen disponer de diferentes tipos de elementos que son especiales para cada aplicación. Por ejemplo suelen tener elementos especiales para cálculos de tensiones planas, tensiones 3D, electrostática, magnetostática, elementos de contacto, etc.
  3. Selección de los materiales a emplear, que pueden obtenerse por librerías, o ser definidos por el usuario. Esto último es común cuando se emplean materiales de propiedades no lineales o materiales anisotrópicos.
  4. Asignación de elemento y propiedades de materiales a los diferentes componentes del modelo.
  5. Mallado de los componentes del modelo.
  6. Aplicación de las cargas exteriores (puntuales, líneas o superficiales).
  7. Aplicación de las condiciones de contorno del modelo.
- Calculador: Es la parte del programa que realiza todo el cálculo de FEM y genera las soluciones. Los pasos que sigue son los siguientes:
  1. Selección del tipo de cálculo a realizar, por ejemplo si es un análisis transitorio, en régimen armónico, estático, etc.
  2. Configuración de los parámetros de cálculo. Selección de intervalos de tiempo, norma del error, número de iteraciones, etc.
  3. Inicio del cálculo: el programa comienza transfiriendo las cargas al modelo, genera las matrices de rigidez, realiza la triangulación de la matriz, resuelve el sistema de ecuaciones y genera la solución.

Post-procesador: Es la herramienta que permite la representación gráfica de los resultados, así como resultados indirectos que se pueden obtener operando las soluciones del modelo.

La herramienta computacional HFSS fue utilizada gracias a la colaboración del departamento de electrónica de la Universidad de los Andes, que permitió la ejecución de las simulaciones en sus instalaciones, a través de la licencia académica de HFSS V.12 con que cuentan.

El hardware utilizado para el desarrollo de las simulaciones contaba con una memoria RAM de 4GHz, sistema operativo Windows 7 de 64 Bits y procesador Intel core i5.

## **2.2 MODELAMIENTO DEL BUQUE**

El buque utilizado para realizar el estudio es un tipo “pesquero de altura”, llamado Celtic Explorer. Es un buque multi-propósito que además de permitir la realización de pesca sofisticada, también cuenta con la infraestructura necesaria para realizar investigación oceanográfica y/o biológica-marina.

El Celtic Explorer cuenta con un sistema de comunicaciones y navegación compuesto por los siguientes equipos:

- Ecosonda FURUNO FCV 1200 L, para mediciones de profundidad.
- 2 GPS Trimble 300D.
- 2 Radares FURUNO ARPA.
- Girocompás Robertson RGC 12.
- Giroscopio de fibra óptica con referencia de movimiento Ixsea Octans.
- Sistema de navegación Seapath 200.
- FURUNO ECDIS, MaxSea Plotter y OLEX Plotter, equipos destinados para navegación.
- Sistema satelital de banda ancha Seatel 528/128Kbps, Fleet 77, para comunicación de datos.
- 2 tele-fax GSM, Mini-M, sistema VOIP utilizando el sistema de banda ancha Seatel, radio comunicaciones de acuerdo a los estándares GMDSS, para comunicación de voz.
- GMDSS FURUNO, entre otros.



**Figura 1. Buque tipo “pesquero de altura”- Celtic Explorer.**



El Celtic Explorer tiene una longitud de 65.5m, un Bao de 15m y un calado de 5.8m. Características con las cuales fue modelado en el software.

Es importante destacar que para efectos del estudio de la EMC radiada, la sección del buque que se ve directamente implicada es la exterior, por lo que no se modelan los planos internos.

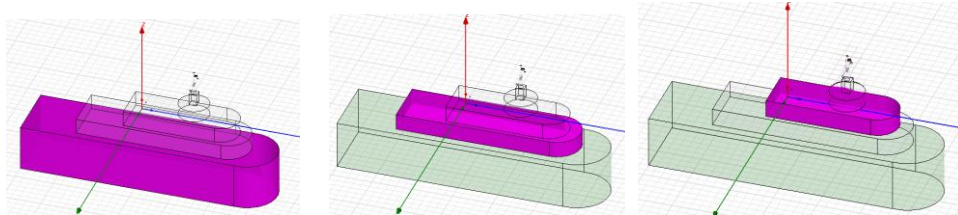
Debido a que no se encuentra en la literatura detalles sobre las dimensiones físicas específicas de las secciones exteriores del buque mencionado, por ser esta información propiedad exclusiva de los diseñadores, el modelo construido en HFSS es una aproximación en bloques; procurando que las superficies 3D modeladas incluyeran el menor número posible de terminaciones puntiagudas, debido a que estas secciones demandan una discretización mayor, lo que se traduce en un incremento de los requerimientos de memoria RAM que utiliza el software para la solución de los problemas.

Tal demanda de RAM no podía ser suplida por los recursos de hardware con que se contaba para la realización de las simulaciones (ver sección 2.1), por lo que se suavizaron algunas puntas, haciéndolas curvas y sustituyendo algunas figuras como tetraedros por cilindros, sin que esto afectara sustancialmente las dimensiones conocidas del buque.

Para modelar el buque en HFSS se siguieron los siguientes pasos:

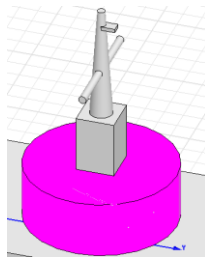
- Las cubiertas exteriores (00, 01 y 02 respectivamente) del buque fueron modeladas a partir de 3 bloques con dimensiones en X, Y y Z, correspondientes a las dadas en la ficha técnica del Celtic Explorer y a las proporciones establecidas.

**Figura 2. Modelamiento de las cubiertas del buque**



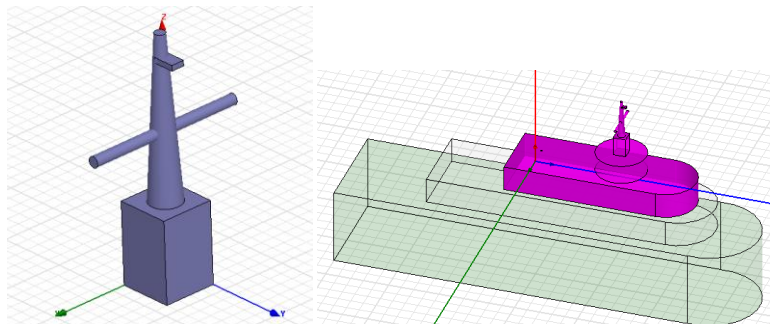
- La cabina de control del celtic explorer, ubicada en la parte superior de la cubierta 02, se modeló a partir de un cilindro, cuyas dimensiones en X, Y y Z son proporcionales a las dadas en la hoja de especificaciones del buque.

**Figura 3. Modelamiento de la cabina de control**



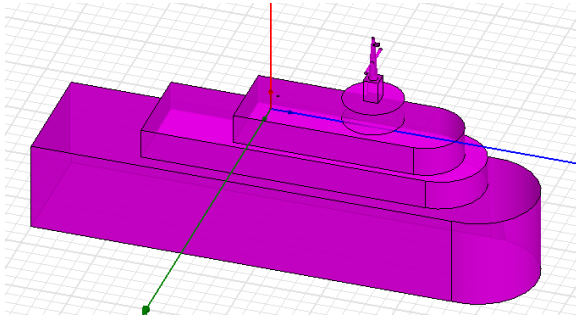
- El mástil del buque, sobre el cual se instalará una de las antenas, fue creado a partir de un cubo (base), un cono (mástil), un cilindro (verga) y un pequeño cubo (plataforma) en la parte superior.

**Figura 4. Modelamiento del mástil**



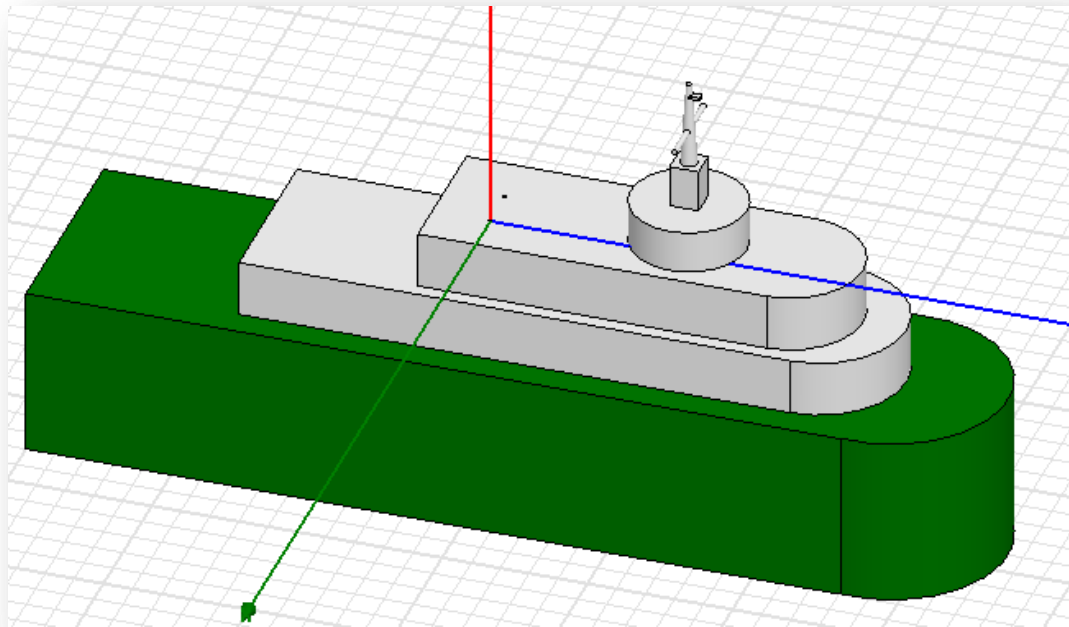
- Finalmente se unifican todas esas formas en el software, con el fin de que sea tomada en cuenta la totalidad de la superficie en la evaluación de EMC que se va a realizar.

**Figura 5. Modelo unificado.**



Después de haber realizado este procedimiento, el resultado es el siguiente:

**Figura 6. Modelo en bloques (mejorado) del Celtic explorer usando HFSS.**



## 2.3 MODELAMIENTO DE LAS ANTENAS

Como se anotó en la sección 2.2, el Celtic Explorer cuenta con variedad de antenas, correspondientes a equipos utilizados para la navegación y comunicación del buque.

Este estudio se hizo con las antenas mostradas en la tabla 1 que corresponden a los equipos de radio HF y VHF del GMDSS FURUNO con que cuenta el Celtic Explorer.

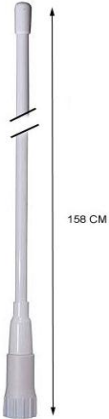

La selección de estas antenas está directamente relacionada con los rangos de frecuencia en que operan y el tipo de antena correspondiente.

1. **Frecuencia de operación:** HFSS permite realizar simulaciones en cualquier rango de frecuencia, sin embargo, entre mayor sea la frecuencia a la que opera la antena, mayores serán los requerimientos de hardware respecto a memoria RAM y procesador. Dadas las limitaciones de hardware expuestas en la sección 2.1, no fue posible seleccionar, por ejemplo, antenas de radares (operan en las bandas UHF/SHF) para la evaluación, puesto que eran insuficientes los recursos de memoria disponibles.
2. **Tipo de antena:** los diseños de todas las antenas, al ser propiedad exclusiva de los fabricantes, no están contenidos en las hojas de datos de los equipos, por lo que se dificultó el proceso de modelamiento de las antenas en el software. Para el caso de las dos antenas seleccionadas, se conoció el tipo de antena, sin que se proporcionaran mayores detalles de diseño, pero al ser estas antenas más sencillas que otras en cuanto a diseño y modelamiento, se seleccionaron y modelaron de forma básica en HFSS.  
En la hoja de datos del radar, por ejemplo, se especifica que la antena es una guía de onda ranurada, sin embargo, este tipo de antenas son complejas de diseñar y modelar.

Otros equipos como el GPS y el SATPHONE, fueron excluidos del estudio puesto que sus antenas tienen dimensiones físicas relativamente pequeñas (inferiores a 10 cm) y resultan ser altamente sensibles a cambios del entorno, lo que no permiten hacer análisis válidos para sus patrones de distorsión.

A continuación se muestran las antenas seleccionadas para el estudio y sus principales características.

Tabla 1. Selección de antenas, características e ilustraciones

NOMBRE DE LA ANTENA	CARACTERISTICAS RELEVANTES	IMÁGEN
<p><b>MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE</b></p>	<p><b>Frecuencias:</b> 156-162 MHz  <b>Potencia máx.</b> 100 W  <b>Ganancia:</b> 3 dB  <b>Tipo de antena:</b> Dipolo</p>	
<p><b>Antena de radio HF para barcos. Shakespeare STYLE 5390</b></p>	<p><b>Tipo de antena:</b> Monopolo  <b>Frecuencia:</b> 2-30MHz  <b>Longitud:</b> 5334mm</p>	

Como se mencionó, fue imposible tener acceso a los diseños de las antenas, debido a que son propiedad exclusiva de los fabricantes, por lo que el modelado que se hace de ellas en el software es básico, sin que esto desvirtúe la validez de los resultados.

Según información proporcionada en las hojas de especificaciones de las antenas, los Tipos de antena correspondientes son:

**ANTENA VHF:** Dipolo.

El dipolo es uno de los tipos de antena más simple, pero ampliamente usado. Un dipolo puede ser considerado como una estructura que evolucionó de una línea de transmisión terminada en circuito abierto.

Para determinar la longitud del dipolo, basta con calcular la longitud de onda de la antena y seleccionar el tipo de dipolo que más conviene según la aplicación para la cual se está diseñando y el diámetro debe ser lo más pequeño posible.

La longitud de onda se calcula según el siguiente concepto matemático:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

C = Velocidad de la luz.





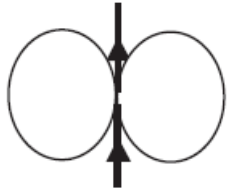
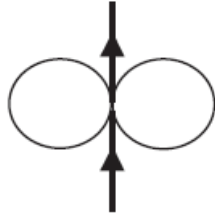
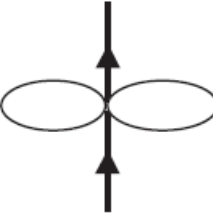
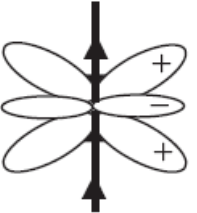
f = es la frecuencia de operación de la antena.

El dipolo más comúnmente usado es el de media longitud de onda, porque:

- Su patrón de radiación es omnidireccional en el plano H, lo que es requerido en muchas aplicaciones (incluyendo comunicaciones móviles).
- Su directividad es de 2.15dBi.
- La impedancia de entrada no es sensible a cambios en el radio del conductor y es aproximadamente 73 Ohm.(con un VSWR < 2)

A continuación se muestran algunas características de los dipolos:

Tabla 2. Características de algunos dipolos

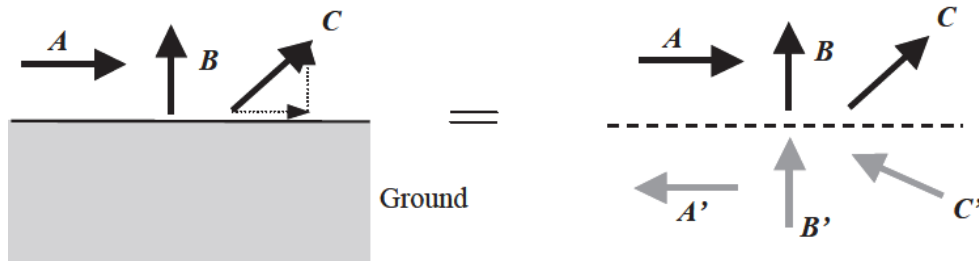
Dipole length 2l	$\lambda/10$	$\lambda/2$	$\lambda$	$1.5\lambda$
Current distribution				
Radiation pattern				
Directivity	1.5 or 1.76 dBi	1.64 or 2.15 dBi	2.4 or 3.8 dBi	About 2.3
HPBW	90°	78°	47°	NA
Input impedance	$R$ : very small ( $\sim 2 \Omega$ ) $jX$ : capacitive	$R$ : $\sim 73 \Omega$ $jX$ : $\sim 0 \Omega$	$R$ : very large $jX$ : $\sim 0 \Omega$ for thin dipole	$R$ : $\sim 100 \Omega$ $jX$ : $\sim 0 \Omega$ for thin dipole
Note	$jX$ sensitive to the radius	$R+jX$ not sensitive to the radius	$R+jX$ sensitive to the radius	$R+jX$ sensitive to the radius

### ANTENA HF: Monopolo.

La antena monopolo es la mitad de una antena dipolo. Existen muchas similitudes entre ellas, pero también algunas diferencias. La mejor forma de investigar la antena monopolo es utilizando la teoría de la imagen.

La teoría de la imagen establece que si hay una corriente A/B/C a lo largo de un plano de tierra infinito (conductor perfecto), la tierra actuará como un espejo para generar su imagen A'/B'/C', como se aprecia a continuación:

Figura 7. Teoría de la imagen [19]



La corriente “imagen” es de igual amplitud que la fuente original y su dirección está determinada por las condiciones de frontera, como la que indica que el campo eléctrico tangencial debe ser cero en la frontera.

Usando la teoría de la imagen, podemos eliminar la placa de tierra y tratar el problema como si fuera en espacio libre, pero teniendo un par de fuentes de corriente.

En una antena monopolo, dado que la potencia solo es radiada en la mitad superior del espacio y la potencia para la mitad inferior del espacio se refleja de vuelta al espacio superior, esto se traduce en un aumento de la directividad.

La directividad de un monopolo, por lo tanto, es el doble que la de su contraparte dipolo.

En comparación con el dipolo, la antena monopolo tiene las siguientes ventajas:

- El tamaño es la mitad del dipolo correspondiente;
- La directividad duplica a la de su dipolo correspondiente;
- La impedancia de entrada es la mitad que la del dipolo correspondiente.

### 2.3.1 Herramientas utilizadas

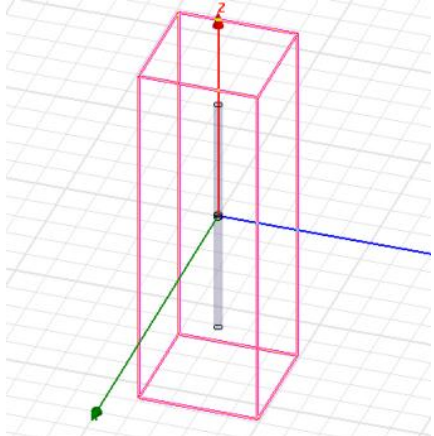
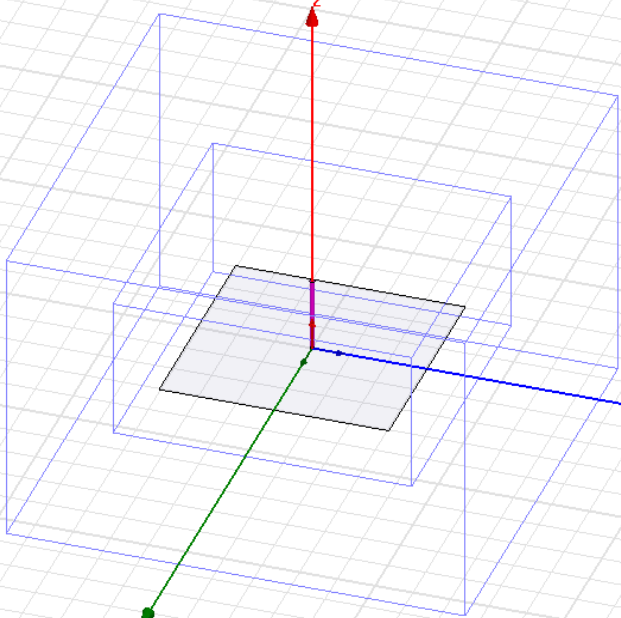
Para el modelamiento de las antenas en HFSS se empleó el aplicativo del software denominado ANTENA DESIGN KIT V2.1, el cual tiene prediseñados ciertos tipos de antenas y solo es necesario definir parámetros básicos como la frecuencia de operación de la antena, para que proporcione los datos de diseño y genere el modelo 3D de la antena en un archivo compatible para HFSS.

### 2.4 Modelos de las antenas

Los resultados obtenidos para cada caso son mostrados en la Tabla 3:



**Tabla 3. Modelo de antenas en HFSS**

ANTENA	TIPO	MODELO EN HFSS
<p><b>MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE</b></p>	<p>DIPOLO</p>	
<p><b>Antena de radio HF Shakespeare STYLE 5390</b></p>	<p>MONOPOLO</p>	

El TOOLKIT arrojó como resultado un dipolo cuya longitud es de 83.5cm y un radio de 14.5 mm. Lo anterior significa que el dipolo es de media onda.

Para corroborar esto, se calcula la longitud que teóricamente debería tener el dipolo.

La frecuencia de operación de la antena es 159MHz, aplicando la Ecuación 1 se tiene:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{159 \text{ MHz}} = 1.8 \text{ m}$$

Como es un dipolo de media longitud de onda, entonces:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{1.8 \text{ m}}{2} = 90 \text{ cm}$$

El margen de diferencia entre ambos cálculos es del 7%, lo que permite decir que es válido el modelo creado por HFSS para modelar el dipolo VHF.

Para el caso del monopolo, El TOOLKIT arrojó como resultado un monopolo cuya longitud es de 3.8m y un radio de 121.7 mm. Lo anterior significa que el dipolo es de un cuarto de onda

Para corroborar esto, se procede de igual forma que en el caso del dipolo.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{21.5 \text{ MHz}} = 13.9 \text{ m}$$

Entonces:

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{13.9 \text{ m}}{4} = 3.48 \text{ m}$$

El margen de diferencia entre ambos cálculos es del 8%, lo que permite decir que es válido el modelo creado por HFSS para modelar el monopolo HF.

### III. CARACTERIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE ANTENAS EN EL ENTORNO

Para evaluar la EMC radiada de las antenas, es necesario primero caracterizarlas. Sin ello, no es posible establecer parámetros que permitan evaluar su comportamiento.

Este capítulo comprende los resultados obtenidos para las simulaciones de las antenas en tres entornos diferentes: vacío, sobre secciones del buque y en el buque completo. Igualmente, se encuentran los resultados obtenidos para las simulaciones de las antenas construidas con diferentes materiales: Cobre y *PEC* (*Perfect Electric Conductor*).

Los resultados obtenidos para ambos casos comprenden parámetros como el VSWR, las pérdidas por retorno, la impedancia de entrada, la ganancia y el patrón de radiación 3D y 2D de cada antena.

Todos los resultados de este capítulo fueron obtenidos a partir de simulaciones realizadas en el software HFSS V. 12.0

#### 3.1 SIMULACIÓN INDEPENDIENTE DE ANTENAS EN VACÍO.

La simulación independiente de las antenas en vacío implica que cada una de ellas será simulada en una caja de aire, bajo condiciones “ideales” sin que sus parámetros se vean afectados por otras geometrías del entorno.

El objetivo de esta sección es obtener los valores de los parámetros en condiciones ideales, para tener una referencia con la cuál comparar los valores obtenidos más adelante.

En la sección 2.4 fueron presentados los modelos de las antenas en HFSS. En esta sección se caracteriza ese modelo, asignándole propiedades físicas, es decir, estableciendo el material del que está elaborada.

Todas las secciones de este capítulo contienen las simulaciones para las antenas cuando se le asignan características físicas de *PEC* y de COBRE. Lo anterior se hace para evaluar el comportamiento de los parámetros de la antena, es decir, conocer si se presentan pérdidas en la ganancia, modificaciones en el patrón de radiación ó variaciones de cualquier índole en los parámetros, por causa del material del que está hecha la antena.

Igualmente, es necesario definir el tipo de excitación a utilizar con cada antena y las propiedades de radiación. Para este estudio no se tiene en cuenta la alimentación a través de líneas de transmisión, la excitación se hace a través de un puerto que cumple la misma función. Por tal razón, se considera que la antena está acoplada a la alimentación. Para ambas antenas el tipo de excitación usada es “lump port”.

Respecto a las propiedades de radiación, éstas se le asignan a la estructura radiante, para todos los casos se indicó que la energía tenida en cuenta será la radiada, para lo que solo se considera el campo lejano radiado por cada antena.

Para efectos de este estudio se requiere conocer los siguientes parámetros de las antenas:

- **Pérdidas por retorno ( $S_{11}$ ):** La pérdida de retorno es la diferencia entre la potencia de la señal transmitida y la potencia de las reflexiones de la señal causadas por las variaciones en la impedancia del cable. Un valor alto de pérdida de retorno significa que las impedancias son casi iguales, lo que da como resultado una gran diferencia entre las potencias de las señales transmitidas y reflejadas.
- **Impedancia de entrada:** Es la relación entre la tensión y corriente entre un par de terminales, o la relación de las componentes apropiadas de los campos eléctrico y magnético en un punto. Específicamente es la relación entre la tensión y la corriente de entrada.  $Z = \frac{V}{I}$ . La impedancia es un número complejo. La parte real de la impedancia se denomina Resistencia de Antena y la parte imaginaria es la Reactancia. La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas. Las antenas se denominan resonantes cuando se anula su reactancia de entrada.
- **Ganancia:** La Ganancia de una antena (en una dirección dada) se define como "la relación entre la intensidad, en una dirección dada, y la intensidad de la radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena es radiada de forma isotrópica"

$$G = 10 \log \left[ 4\pi \cdot \frac{U_{\max}}{P_{in}} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

La unidad de Ganancia (G) de una antena es el dBd o dBi, dependiendo si esta se define respecto a un dipolo de media onda o a la isotrópica.

- **Patrón de radiación:** según el IEEE std 145-1983, es una función matemática o representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena como función de coordenadas espaciales. Es un parámetro de campo lejano y es representado como función de coordenadas direccionales. Las propiedades de radiación incluyen densidad de flujo de potencia, intensidad de radiación, fuerza de campo, directividad y polarización. Se puede representar como una grafica tridimensional de la energía radiada vista desde fuera de esta. Los patrones de radiación usualmente se representan de dos formas, el patrón de elevación y el patrón de azimuth. El patrón de elevación es una gráfica de la energía radiada por la antena vista de perfil. El patrón de azimuth es una gráfica de la energía radiada vista directamente desde arriba. Al combinar ambas gráficas se tiene una representación tridimensional de como es realmente radiada la energía desde la antena.
- **VSWR:** En una línea de transmisión, el VSWR, *Voltage Standing Wave Ratio*, es un parámetro que indica la relación entre los valores de tensión máxima y mínima de un patrón de onda estacionaria. El VSWR es un valor especial del SWR, que es conocido también en español como ROE (Relación de Onda Estacionaria).

El VSWR es una medida del desacoplamiento de impedancia entre la línea de transmisión y su carga. Cuanto mayor es el VSWR, mayor será la discrepancia.

El valor mínimo del VSWR, es decir la condición por que las impedancias de la línea de transmisión y la carga son unidas perfectamente, es igual a 1.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $\Gamma$  es el coeficiente de reflexión.

### 3.1.1 MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE

Para la realización de la simulación fue necesario especificar la frecuencia de operación de la antena VHF, en este caso se toma la frecuencia central del rango que proporciona el fabricante: 159MHz.

Igualmente es especificado el rango de frecuencias entre el cual se toman muestras durante la simulación, el cual va desde 75MHz hasta 250MHz.

En la tabla 4, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del dipolo VHF cuando su material es *PEC* y se encuentra en vacío. Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, pérdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 4. Dipolo VHF – *PEC* en vacío.

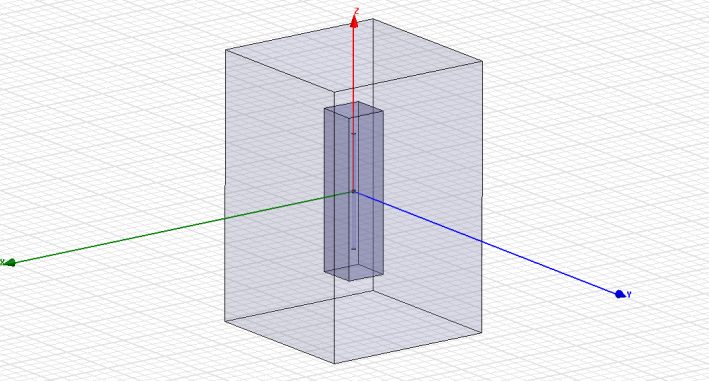
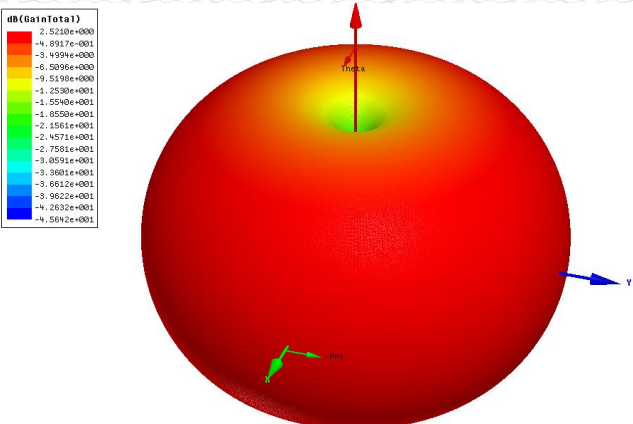
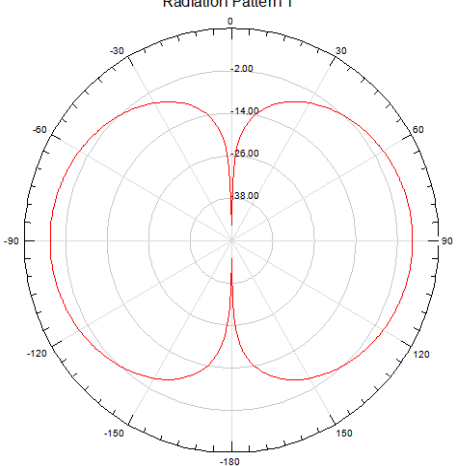
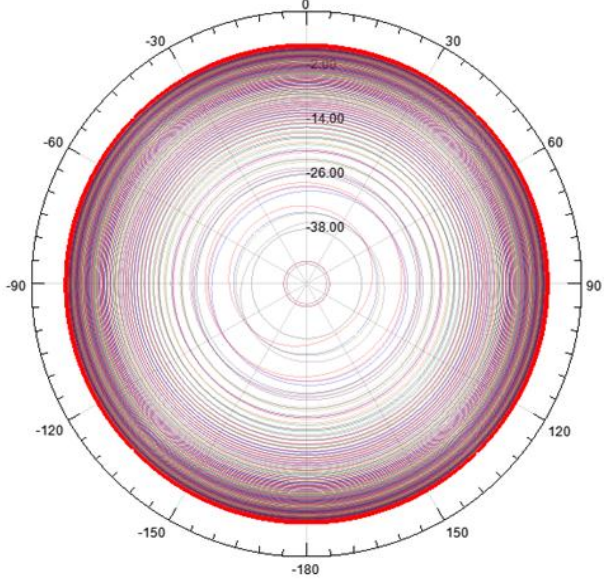
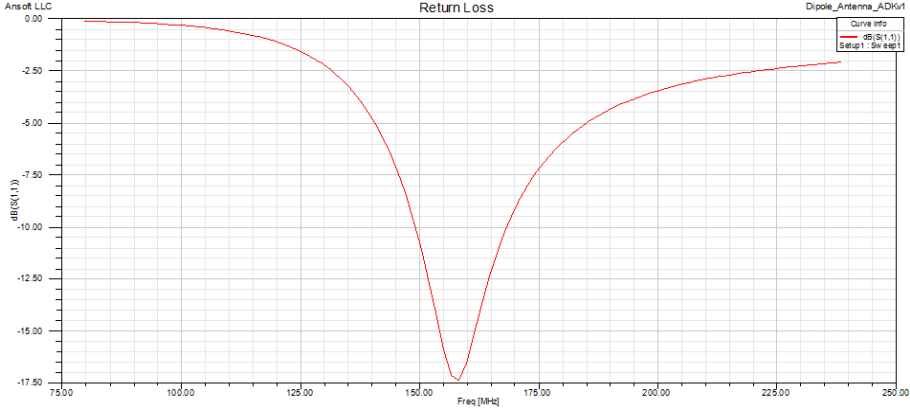
DIPOLO VHF EN VACÍO – MATERIAL <i>PEC</i>	
ASPECTO	RESULTADO
MODELO 3D DE LA ANTENA	
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D	
PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 

Tabla 4. (Continuación).

<b>DIPOLO VHF EN VACÍO – MATERIAL PEC</b>	
<b>ASPECTO</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b>	<p>Radiation Pattern 2</p> 
<b>PERDIDAS POR RETORNO</b>	<p>Return Loss</p> 
<b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b>	<b>1.3529 – 0.0112i</b>
<b>VSWR</b>	<b>1.369</b>

En la tabla 5, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del dipolo VHF cuando su material es COBRE y se encuentra en vacío. Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, pérdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 5. Dipolo VHF – COBRE en vacío.

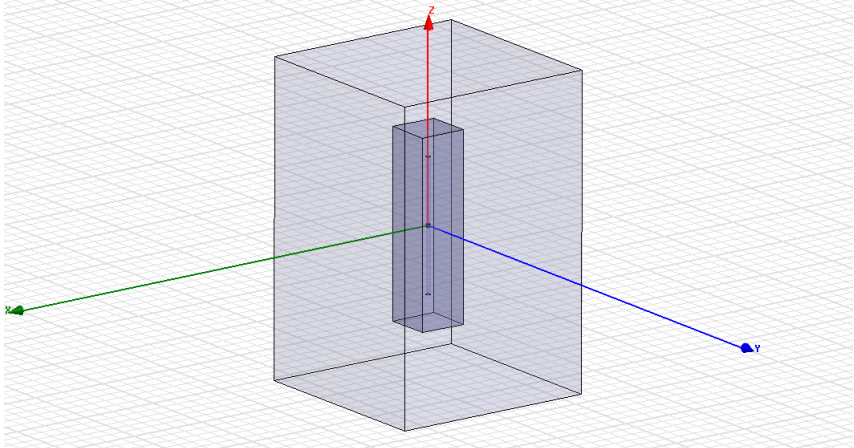
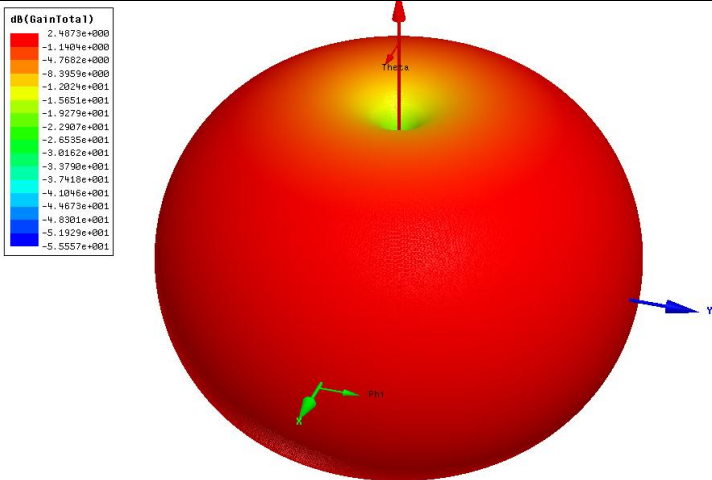
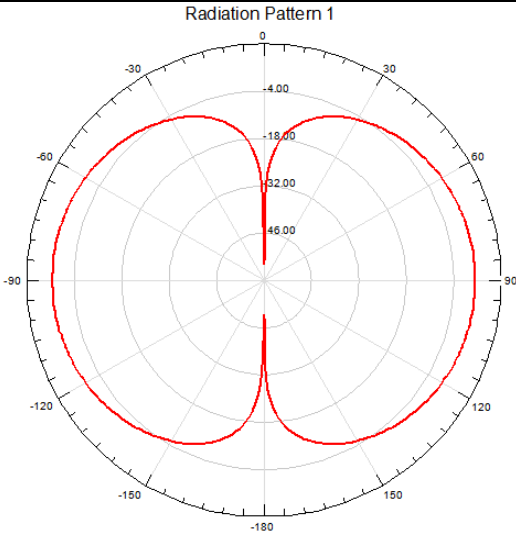
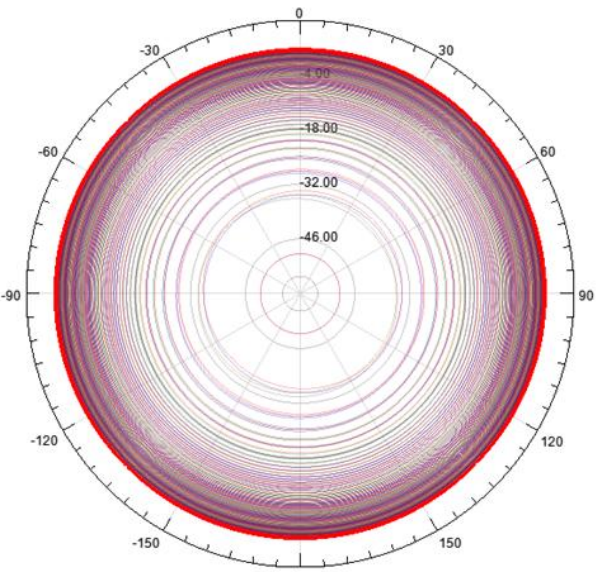
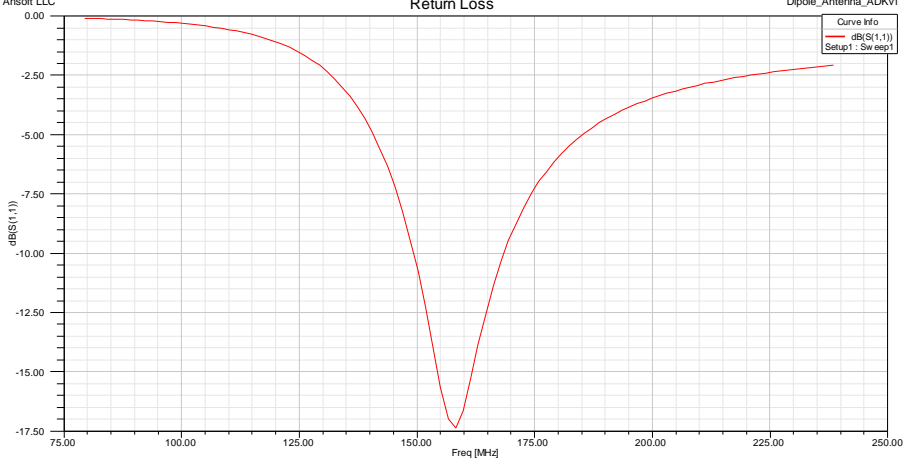
DIPOLO VHF EN VACÍO – MATERIAL COBRE	
ASPECTO	RESULTADO
MODELO 3D DE LA ANTENA	
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D	
PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION	



Tabla 5. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.3459 – 0.0237i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>1.3602</b></p>

### 3.1.2 Antena de radio HF Shakespeare STYLE 5390.

Para la realización de la simulación fue necesario especificar la frecuencia de operación de la antena HF, en este caso se toma una frecuencia aleatoria del rango que proporciona el fabricante: 21.5MHz.

El rango de frecuencias entre el cual se toman muestras durante la simulación va desde 10MHz hasta 30MHz, siendo la muestra de 200 valores.

En la tabla 6, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del monopolo HF cuando su material es *PEC* y se encuentra en vacío. Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, perdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 6. Monopolo HF – *PEC* en vacío.

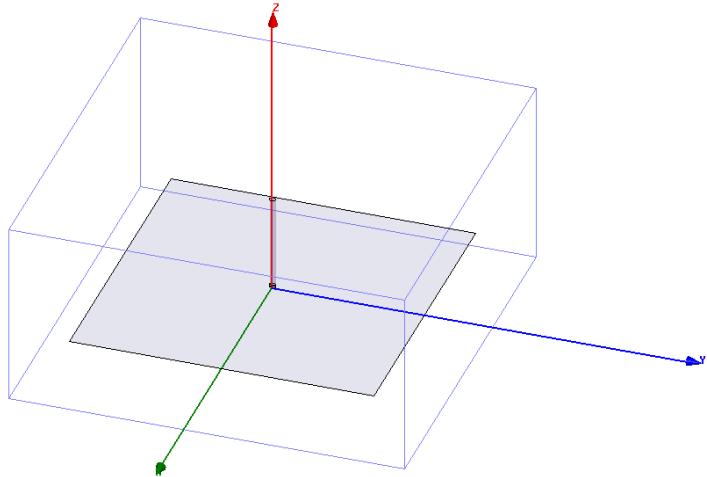
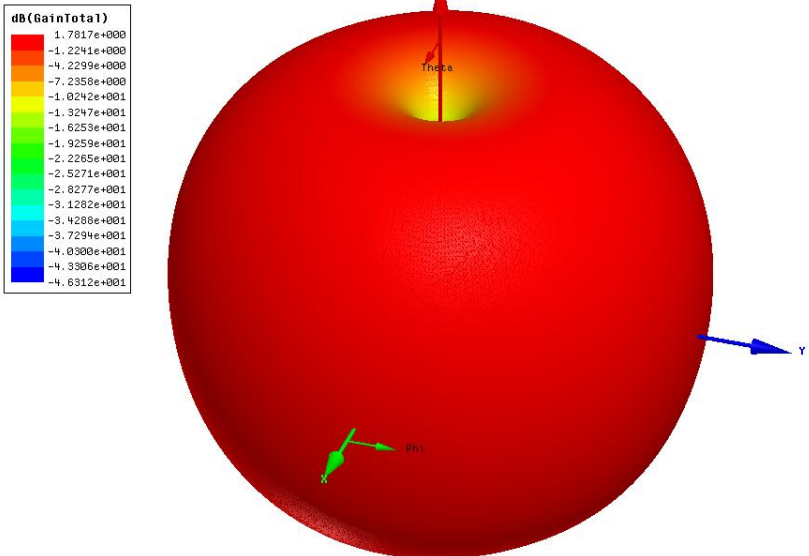
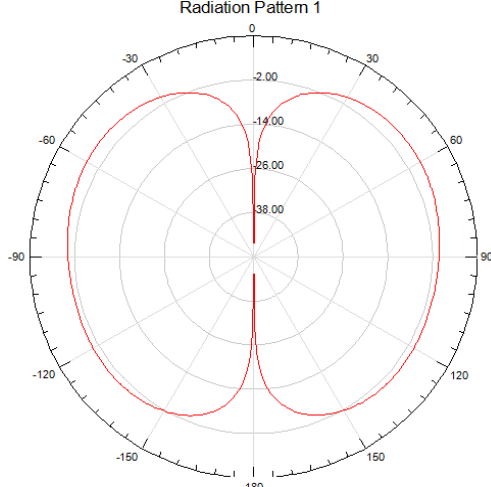
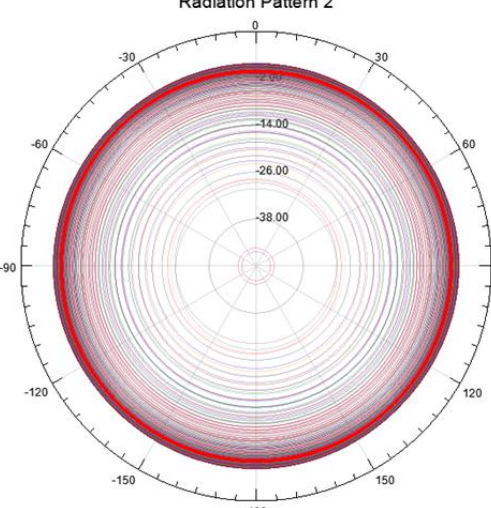
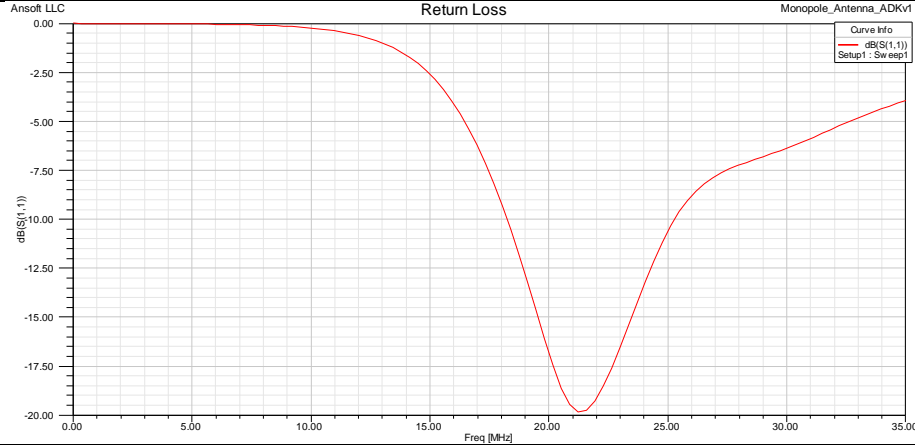
MONOPOLO HF EN VACÍO – MATERIAL <i>PEC</i>	
ASPECTO	RESULTADO
MODELO 3D DE LA ANTENA	
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D	

Tabla 6. (Continuación).

<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b></p>	
<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.0884 + 0.1963i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>1.2570</b></p>

En la tabla 7, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del monopolo HF cuando su material es COBRE y se encuentra en vacío. Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, perdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 7. Monopolo HF – COBRE en vacío.

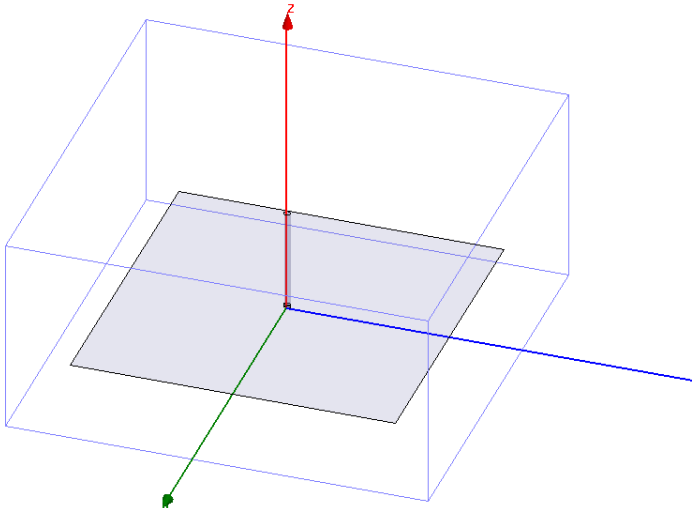
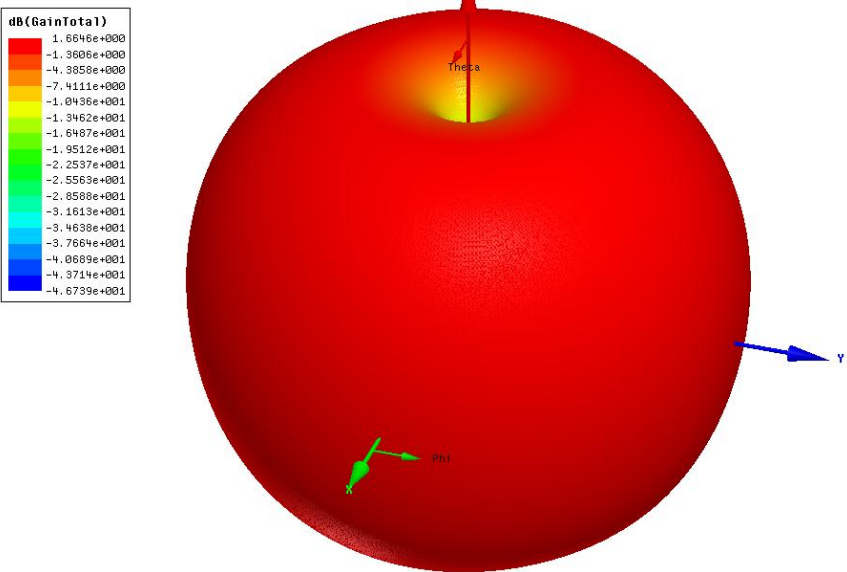
MONOPOLO HF EN VACÍO – MATERIAL COBRE	
ASPECTO	RESULTADO
MODELO 3D DE LA ANTENA	
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D	 <p>dB(GainTotal)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.6646e+000</li> <li>-1.3806e+000</li> <li>-4.3858e+000</li> <li>-7.4111e+000</li> <li>-1.0496e+001</li> <li>-1.3462e+001</li> <li>-1.6487e+001</li> <li>-1.9512e+001</li> <li>-2.2537e+001</li> <li>-2.5563e+001</li> <li>-2.8588e+001</li> <li>-3.1613e+001</li> <li>-3.4638e+001</li> <li>-3.7664e+001</li> <li>-4.0689e+001</li> <li>-4.3714e+001</li> <li>-4.6739e+001</li> </ul>

Tabla 7. (Continuación).

<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b></p>	
<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.0657 + 0.2445i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>1.2772</b></p>

## **3.2 SIMULACIÓN INDIVIDUAL DE LAS ANTENAS EN EL BUQUE.**

La simulación individual de las antenas en el buque implica que cada una de ellas será ubicada sobre el buque (completo o secciones del mismo) y simulada bajo condiciones similares a las reales, es decir, el material del buque es acero y la ubicación de las antenas es lo más parecida posible a la que se hace habitualmente en el medio.

Para la antena VHF primero se hizo la simulación sobre el mástil del buque y después sobre el mástil y una de las plataformas del buque, debido a las limitaciones de memoria RAM que se presentaron, y en el caso de la antena HF se hicieron primero en una plataforma y después en todo el buque, con el fin de observar y analizar el impacto que el buque tiene sobre los parámetros de las antenas.

El objetivo de esta sección es obtener los valores de los parámetros mencionados en la sección 3.1 cuando el entorno de cada antena incluye estructuras metálicas de gran tamaño, con el fin de verificar la forma en que afecta el entorno cada uno de esos parámetros.

En la sección 3.1 fueron caracterizados los modelos de las antenas VHF y HF, usando HFSS. En esta sección se simulan esas antenas teniendo en cuenta las estructuras que le rodean, variando además el material del que está hecha la antena.

Para el caso de la antena VHF no es necesario incluir la totalidad del buque en la simulación, debido a que la longitud de onda de esta antena no alcanza incidir sobre objetos por fuera de los incluidos en estas simulaciones. Incluir todo el buque en una simulación de esta antena incrementaría los requerimientos de RAM y retardaría el proceso.

La antena HF, por su parte, tiene una longitud de onda de 13.9m, lo que implica que la mayor parte del buque debe ser incluido en la simulación.

Ambas simulaciones se hacen primero sobre una estructura simple y luego se adicionan plataformas del buque, con el fin de ver cómo varían los parámetros a medida que aumenta el tamaño de la estructura incluida en la simulación.

### **3.2.1 MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE.**

En la tabla 8, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del dipolo VHF cuando su material es *PEC* y se encuentra sobre el mástil (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque,

patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, pérdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 8. Dipolo VHF - PEC sobre mástil en acero

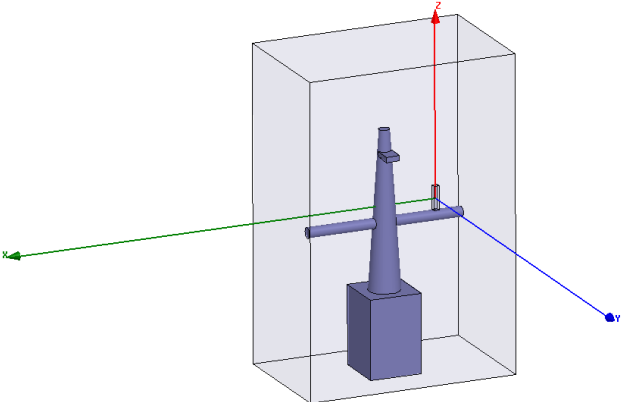
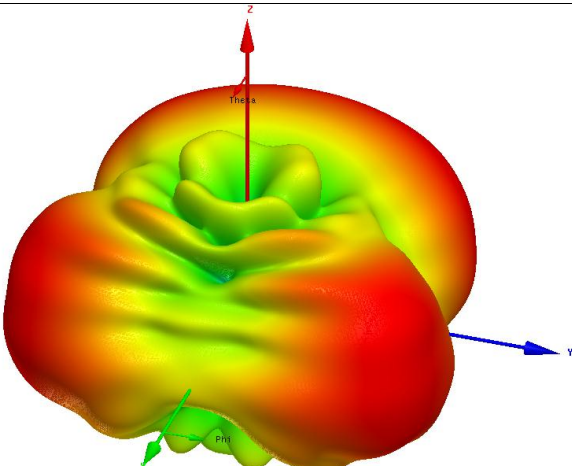
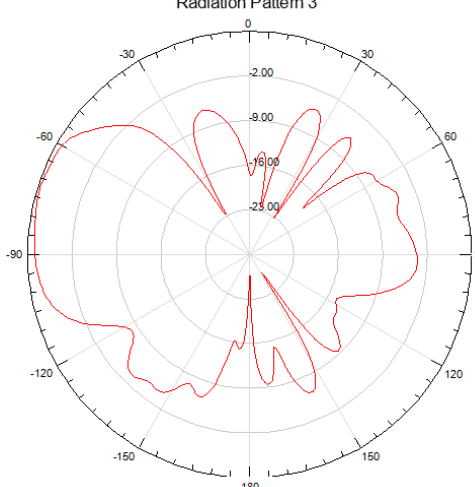
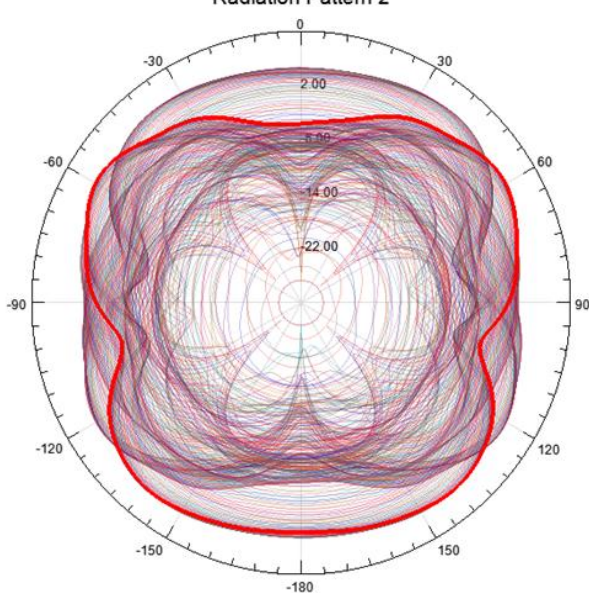
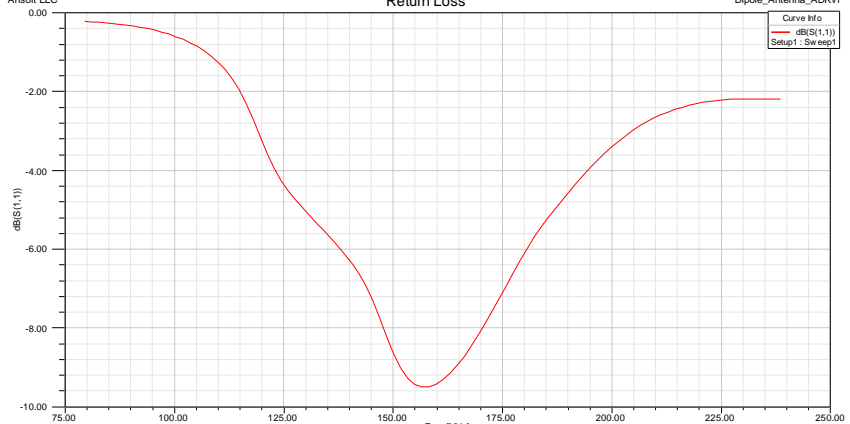
DIPOLO EN PEC UBICADO SOBRE EL MASTIL EN ACERO																		
ASPECTO	RESULTADO																	
<p><b>MODELO 3D DE LA ANTENA VHF SOBRE EL MASTIL</b></p>																		
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p> <table border="1"> <tr><td>5.9307e+000</td></tr> <tr><td>3.8906e+000</td></tr> <tr><td>1.8505e+000</td></tr> <tr><td>-1.8155e+001</td></tr> <tr><td>-2.2297e+000</td></tr> <tr><td>-4.2698e+000</td></tr> <tr><td>-6.3099e+000</td></tr> <tr><td>-8.3500e+000</td></tr> <tr><td>-1.0390e+001</td></tr> <tr><td>-1.2490e+001</td></tr> <tr><td>-1.4470e+001</td></tr> <tr><td>-1.6510e+001</td></tr> <tr><td>-1.8550e+001</td></tr> <tr><td>-2.0591e+001</td></tr> <tr><td>-2.2631e+001</td></tr> <tr><td>-2.4671e+001</td></tr> <tr><td>-2.6711e+001</td></tr> </table> </div>  </div>	5.9307e+000	3.8906e+000	1.8505e+000	-1.8155e+001	-2.2297e+000	-4.2698e+000	-6.3099e+000	-8.3500e+000	-1.0390e+001	-1.2490e+001	-1.4470e+001	-1.6510e+001	-1.8550e+001	-2.0591e+001	-2.2631e+001	-2.4671e+001	-2.6711e+001
5.9307e+000																		
3.8906e+000																		
1.8505e+000																		
-1.8155e+001																		
-2.2297e+000																		
-4.2698e+000																		
-6.3099e+000																		
-8.3500e+000																		
-1.0390e+001																		
-1.2490e+001																		
-1.4470e+001																		
-1.6510e+001																		
-1.8550e+001																		
-2.0591e+001																		
-2.2631e+001																		
-2.4671e+001																		
-2.6711e+001																		
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b></p>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 3</p> 																	

Tabla 8. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.9626 – 0.2932i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>2.017</b></p>

En la tabla 9, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del dipolo VHF cuando su material es COBRE y se encuentra sobre el mástil (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, pérdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.



Tabla 9. Dipolo VHF – COBRE sobre mástil en acero.

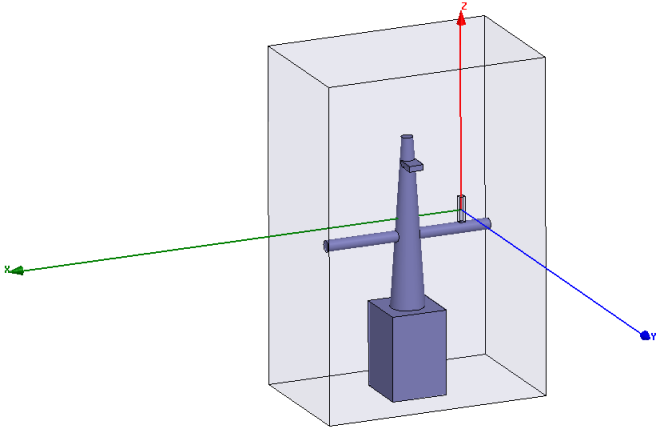
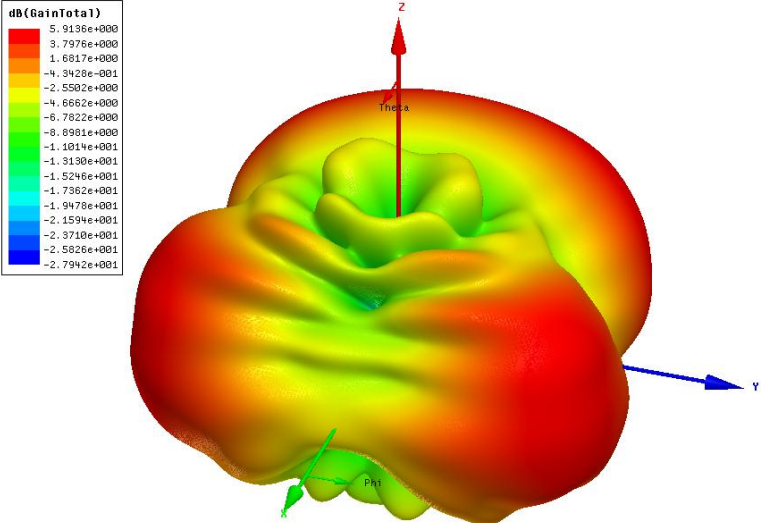
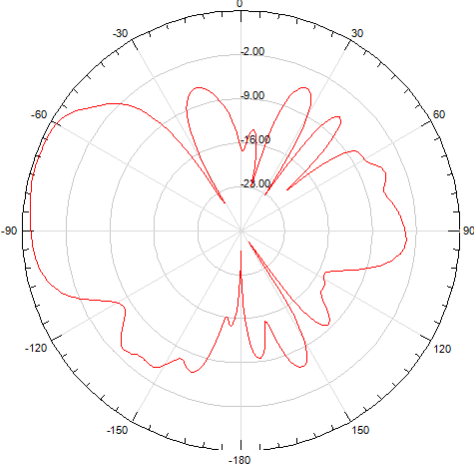
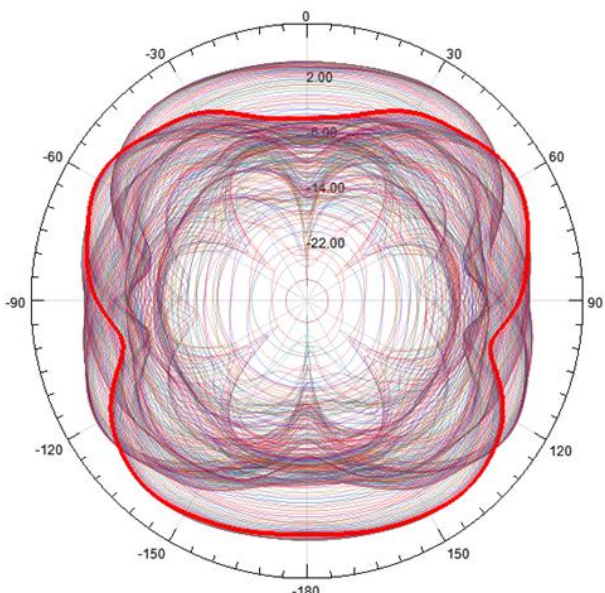
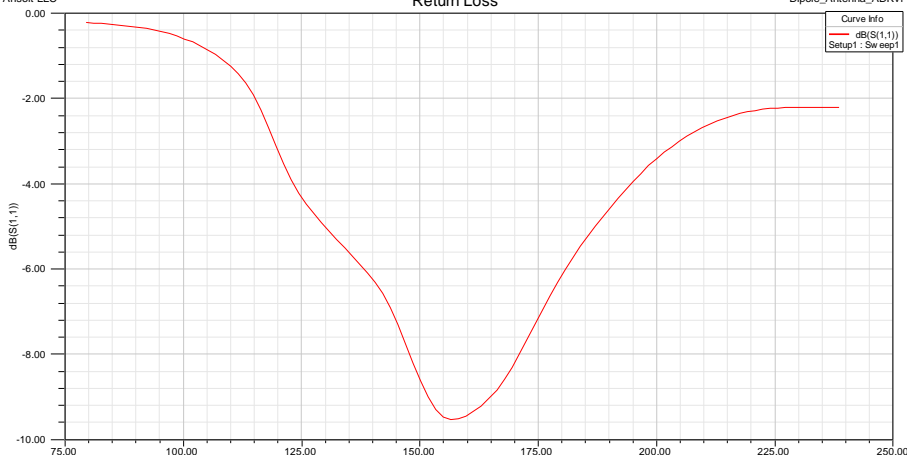
DIPOLO EN COBRE UBICADO SOBRE EL MASTIL EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p><b>MODELO 3D DE LA ANTENA VHF SOBRE EL MASTIL</b></p>	
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>	
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b></p>	<p>Radiation Pattern 3</p> 

Tabla 9. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.9564 – 0.3014i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>2.0670</b></p>

En la tabla 10, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del dipolo VHF cuando su material es *PEC* y se encuentra sobre el mástil y una plataforma (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, pérdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 10. Dipolo VHF - PEC sobre mástil y cubierta en acero.

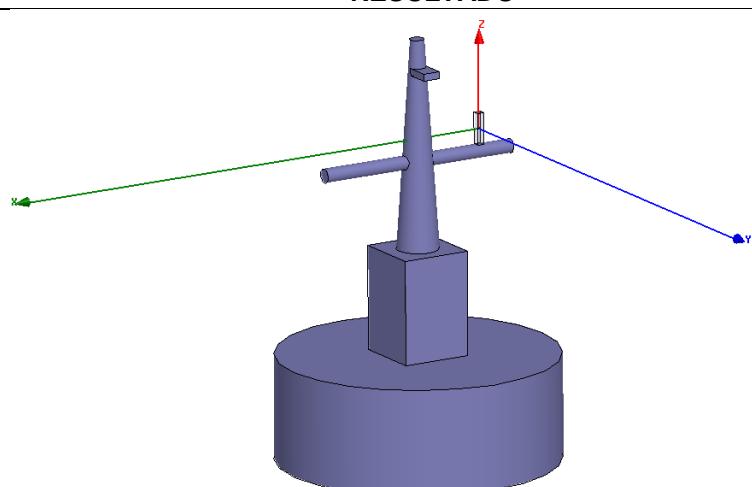
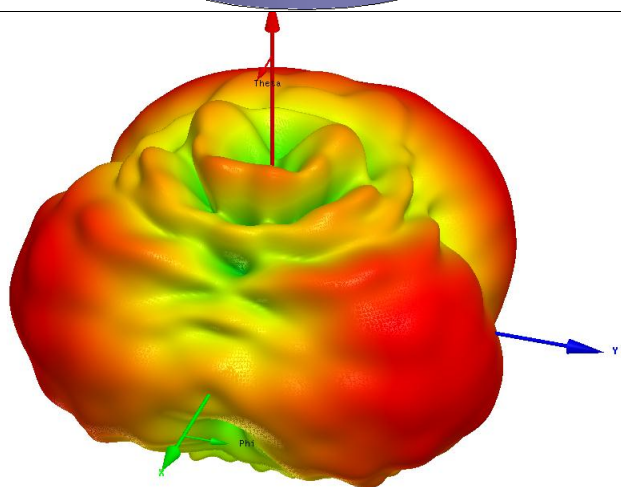
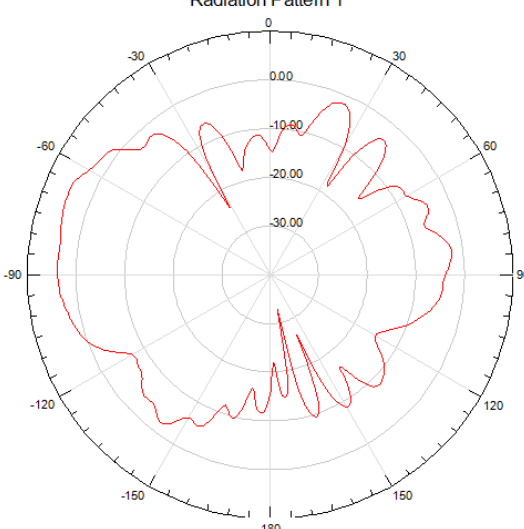
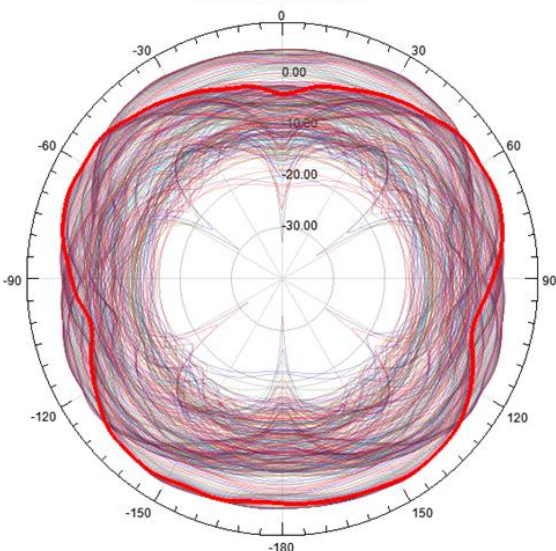
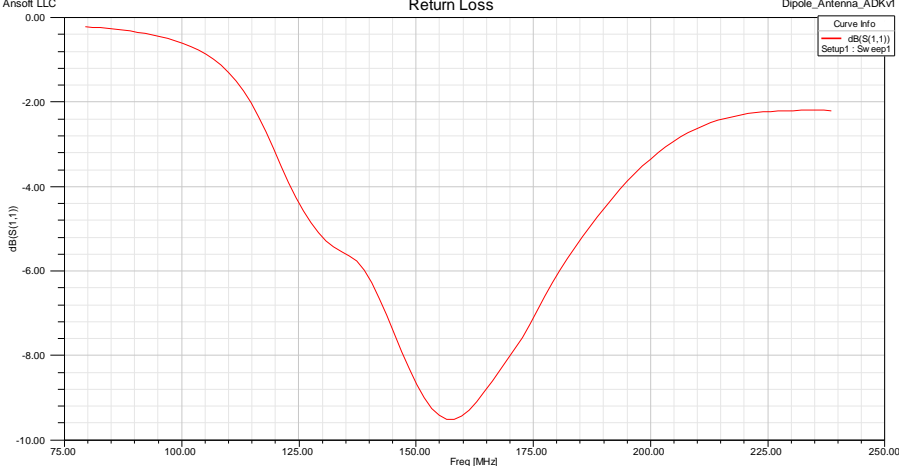
<b>DIPOLO EN PEC UBICADO SOBRE EL MASTIL Y UNA CUBIERTA EN ACERO</b>																		
<b>ASPECTO</b>	<b>RESULTADO</b>																	
<b>MODELO 3D DE LA ANTENA VHF SOBRE EL MASTIL Y UNA PLATAFORMA</b>																		
<b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 150px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td style="background-color: red;">6.0019e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: orange;">3.5714e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: yellow;">1.1408e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: lightgreen;">-1.2897e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: green;">-3.7202e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: cyan;">-6.1508e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: blue;">-8.5813e+000</td></tr> <tr><td style="background-color: darkblue;">-1.1012e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: verydarkblue;">-1.3442e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-1.5873e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-1.8304e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-2.0734e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-2.3165e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-2.5595e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-2.8026e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-3.0456e+001</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">-3.2887e+001</td></tr> </table> </div> <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div>	6.0019e+000	3.5714e+000	1.1408e+000	-1.2897e+000	-3.7202e+000	-6.1508e+000	-8.5813e+000	-1.1012e+001	-1.3442e+001	-1.5873e+001	-1.8304e+001	-2.0734e+001	-2.3165e+001	-2.5595e+001	-2.8026e+001	-3.0456e+001	-3.2887e+001
6.0019e+000																		
3.5714e+000																		
1.1408e+000																		
-1.2897e+000																		
-3.7202e+000																		
-6.1508e+000																		
-8.5813e+000																		
-1.1012e+001																		
-1.3442e+001																		
-1.5873e+001																		
-1.8304e+001																		
-2.0734e+001																		
-2.3165e+001																		
-2.5595e+001																		
-2.8026e+001																		
-3.0456e+001																		
-3.2887e+001																		
<b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 																	

Tabla 10. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.9673 + 0.2826i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>2.0329</b></p>

En la tabla 11, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del dipolo VHF cuando su material es COBRE y se encuentra sobre el mástil y una plataforma (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, pérdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 11. Dipolo VHF - COBRE sobre mástil y plataforma en acero.

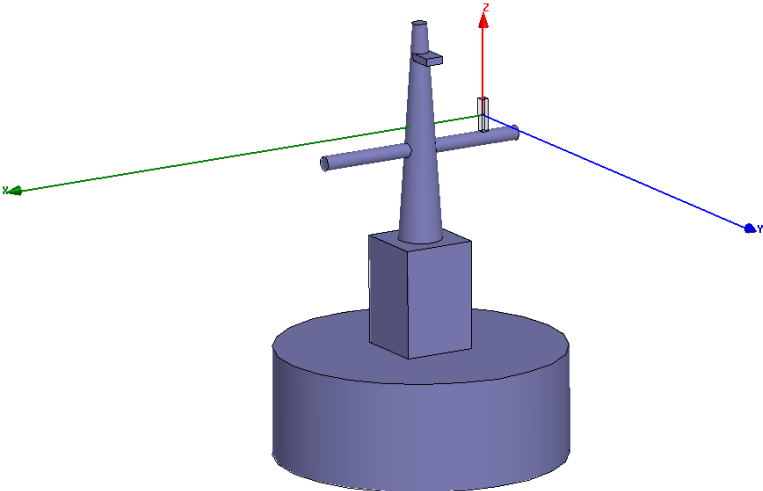
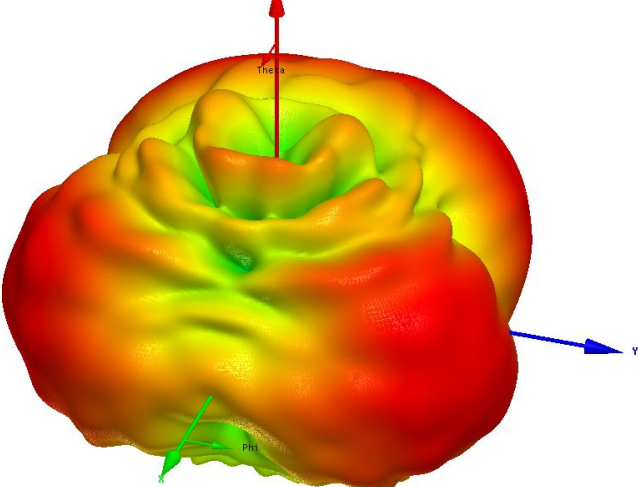
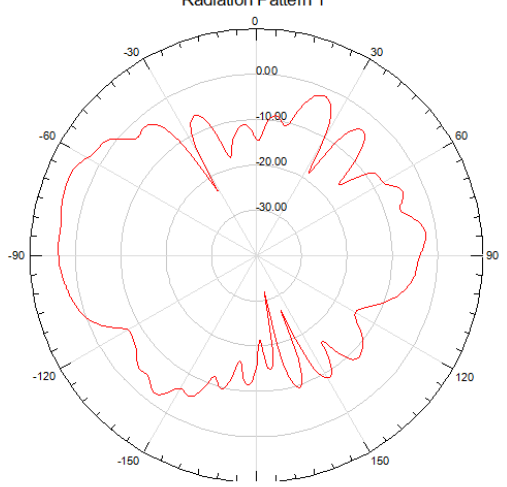
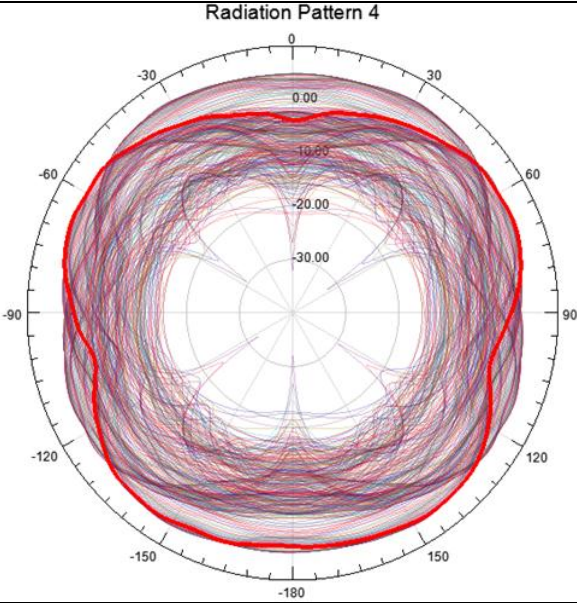
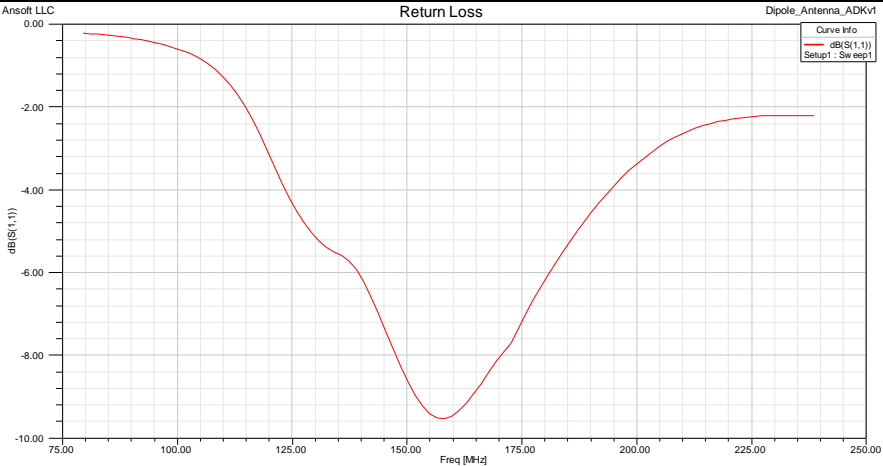
<b>DIPOLO EN COBRE UBICADO SOBRE EL MASTIL Y UNA CUBIERTA EN ACERO</b>																		
<b>ASPECTO</b>	<b>RESULTADO</b>																	
<b>MODELO 3D DE LA ANTENA VHF SOBRE EL MASTIL Y UNA PLATAFORMA</b>																		
<b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>#B(GainTotal)</b></p> <table border="1"> <tr><td>5.9229e+000</td></tr> <tr><td>3.5470e+000</td></tr> <tr><td>1.1711e+000</td></tr> <tr><td>-1.2049e+000</td></tr> <tr><td>-3.5808e+000</td></tr> <tr><td>-5.9567e+000</td></tr> <tr><td>-8.3326e+000</td></tr> <tr><td>-1.0709e+001</td></tr> <tr><td>-1.3081e+001</td></tr> <tr><td>-1.5460e+001</td></tr> <tr><td>-1.7836e+001</td></tr> <tr><td>-2.0212e+001</td></tr> <tr><td>-2.2588e+001</td></tr> <tr><td>-2.4964e+001</td></tr> <tr><td>-2.7340e+001</td></tr> <tr><td>-2.9716e+001</td></tr> <tr><td>-3.2092e+001</td></tr> </table> </div> <div>  </div> </div>	5.9229e+000	3.5470e+000	1.1711e+000	-1.2049e+000	-3.5808e+000	-5.9567e+000	-8.3326e+000	-1.0709e+001	-1.3081e+001	-1.5460e+001	-1.7836e+001	-2.0212e+001	-2.2588e+001	-2.4964e+001	-2.7340e+001	-2.9716e+001	-3.2092e+001
5.9229e+000																		
3.5470e+000																		
1.1711e+000																		
-1.2049e+000																		
-3.5808e+000																		
-5.9567e+000																		
-8.3326e+000																		
-1.0709e+001																		
-1.3081e+001																		
-1.5460e+001																		
-1.7836e+001																		
-2.0212e+001																		
-2.2588e+001																		
-2.4964e+001																		
-2.7340e+001																		
-2.9716e+001																		
-3.2092e+001																		
<b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 																	

Tabla 11. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.9548 – 0.2945i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>2.0626</b></p>

### 3.2.2 Antena de radio HF Shakespeare STYLE 5390.

En la tabla 12, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del monopolo HF cuando su material es *PEC* y se encuentra sobre una plataforma (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, perdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 12. Dipolo HF - PEC sobre plataforma en acero.

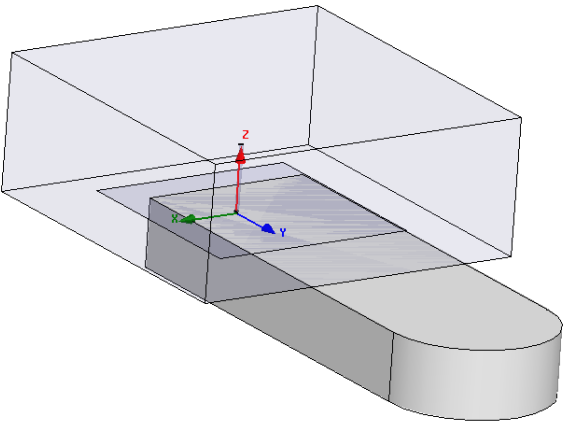
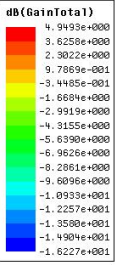
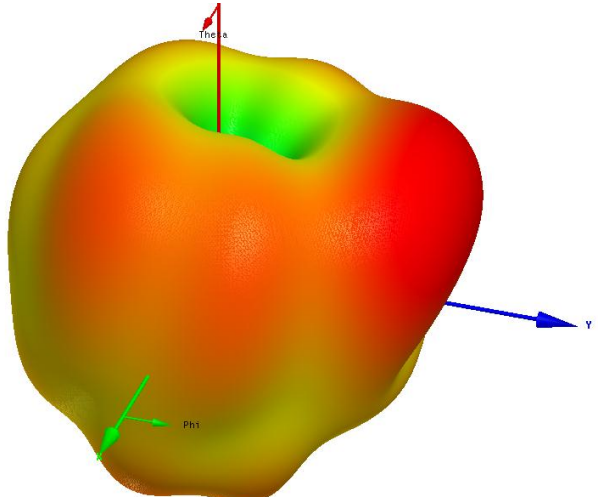
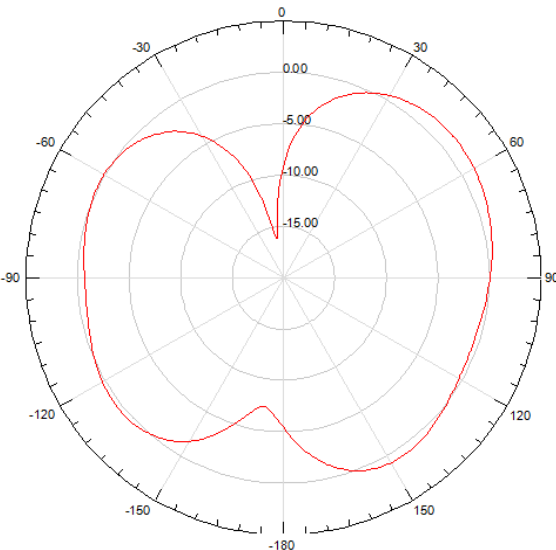
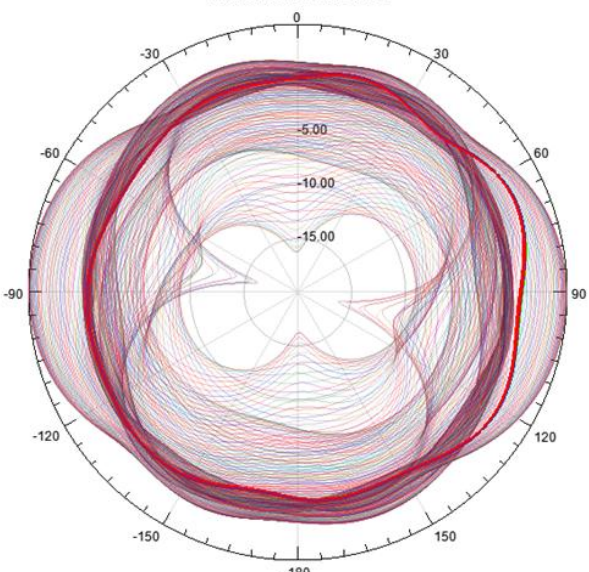
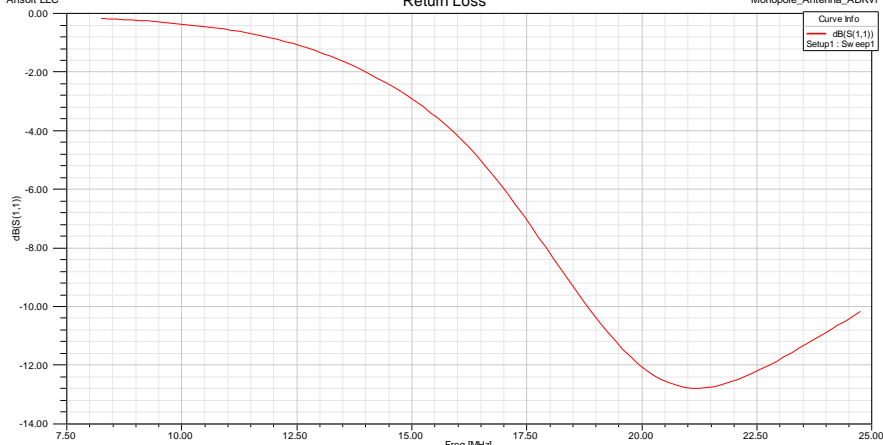
MONOPOLO HF EN PEC UBICADO SOBRE PLATAFORMA EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p><b>MODELO 3D DE LA ANTENA SOBRE UNA PLATAFORMA</b></p>	
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p>  </div> <div>  </div> </div>
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D - ELEVACION</b></p>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 

Tabla 12. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.2279 + 0.4845i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>1.5959</b></p>

En la tabla 13, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del monopolo HF cuando su material es COBRE y se encuentra sobre una plataforma (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, perdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.



Tabla 13. Dipolo HF - COBRE sobre plataforma en acero

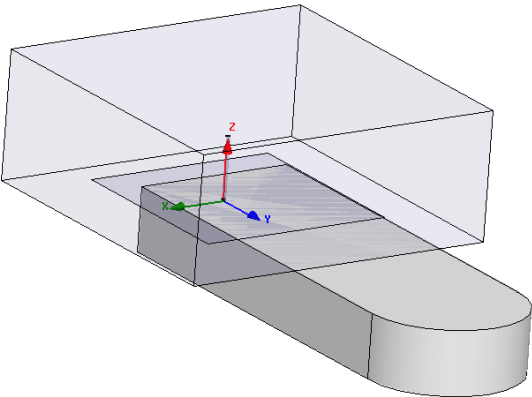
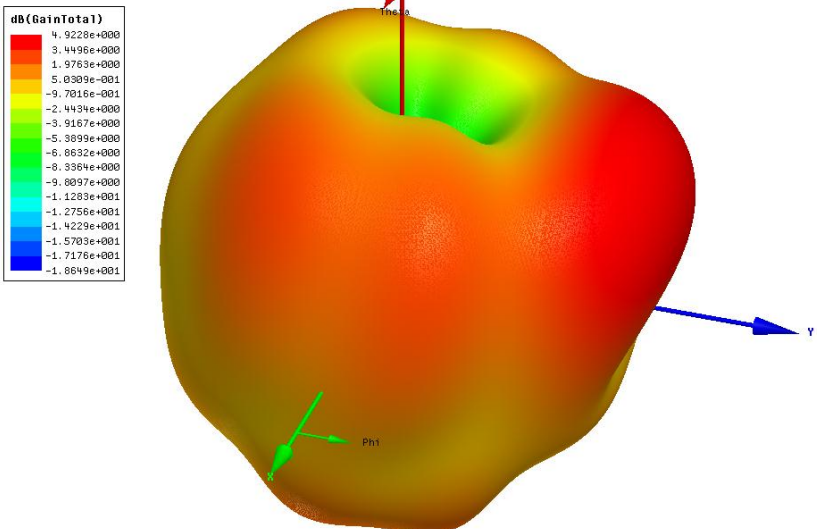
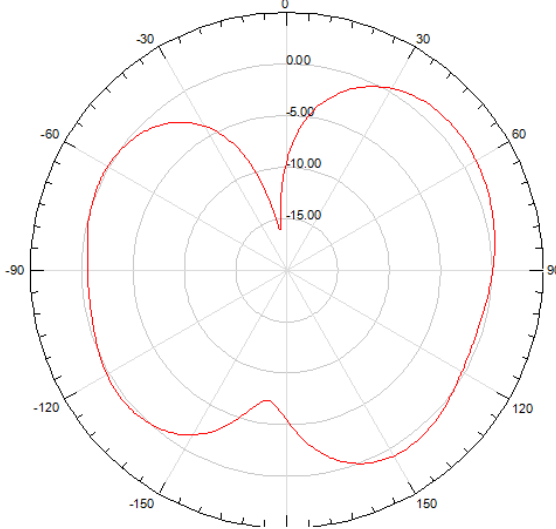
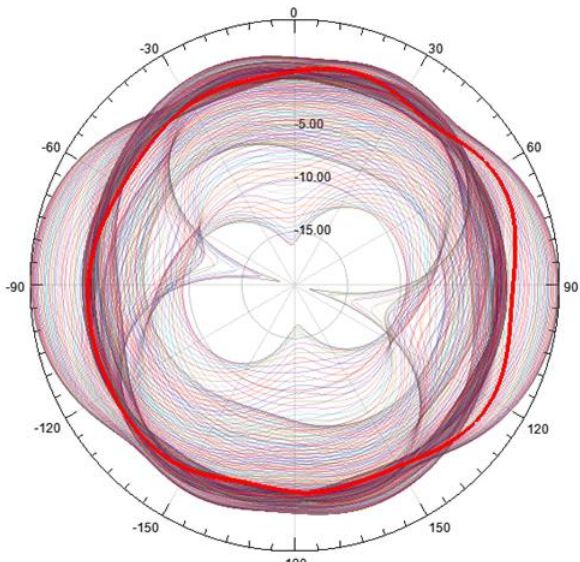
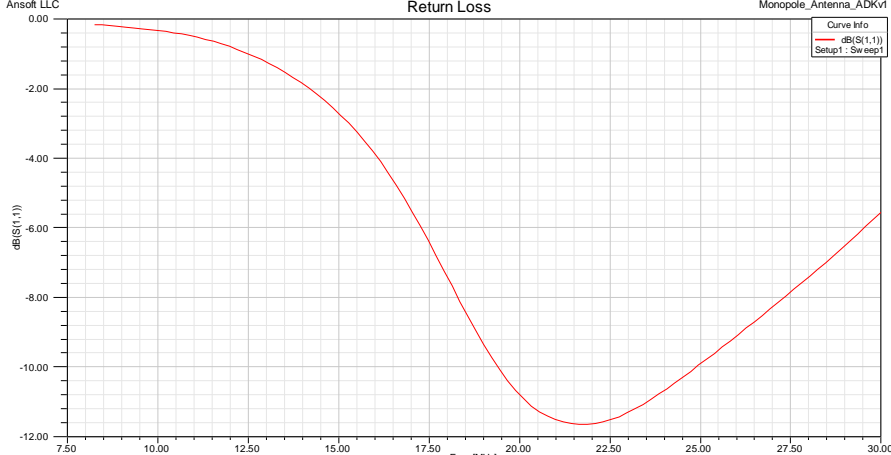
DIPOLO HF EN COBRE UBICADO SOBRE PLATAFORMA EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p><b>MODELO 3D DE LA ANTENA SOBRE UNA PLATAFORMA</b></p>	
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>	 <p>dB(GainTotal)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.9228e+000</li> <li>3.4496e+000</li> <li>1.9763e+000</li> <li>5.0309e-001</li> <li>-9.7016e-001</li> <li>-2.4434e+000</li> <li>-3.9167e+000</li> <li>-5.3899e+000</li> <li>-6.8632e+000</li> <li>-8.3364e+000</li> <li>-9.8097e+000</li> <li>-1.1283e+001</li> <li>-1.2756e+001</li> <li>-1.4229e+001</li> <li>-1.5703e+001</li> <li>-1.7176e+001</li> <li>-1.8699e+001</li> </ul>
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D – ELEVACION</b></p>	<p>Radiation Pattern 1</p> 

Tabla13. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>1.0147 + 0.5093i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>1.6497</b></p>

En la tabla 14, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del monopolo HF cuando su material es *PEC* y se encuentra sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, perdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 14. Monopolo HF - PEC sobre Buque completo en acero.

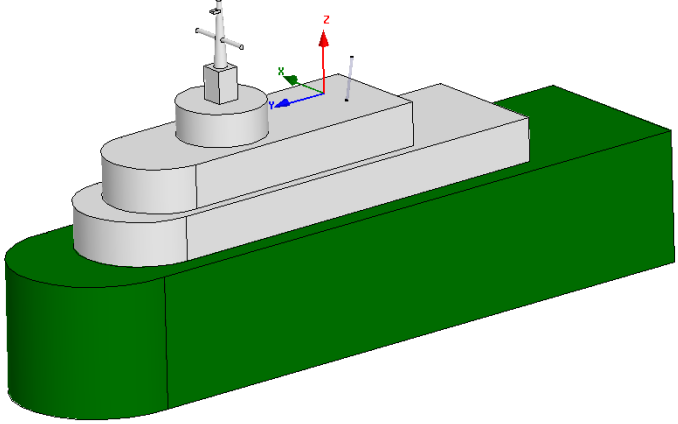
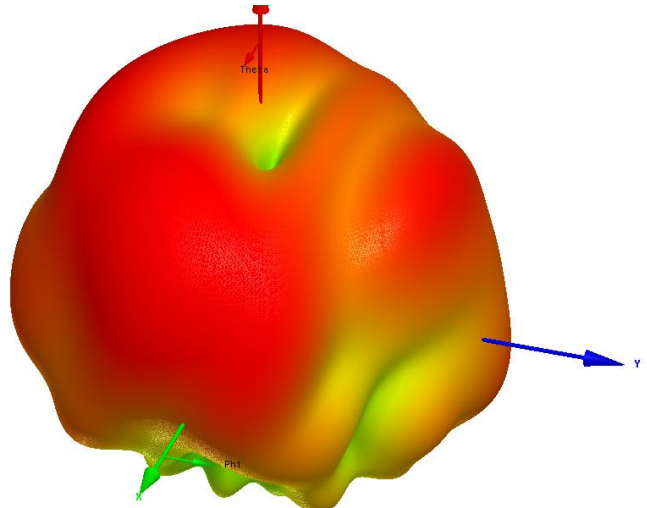
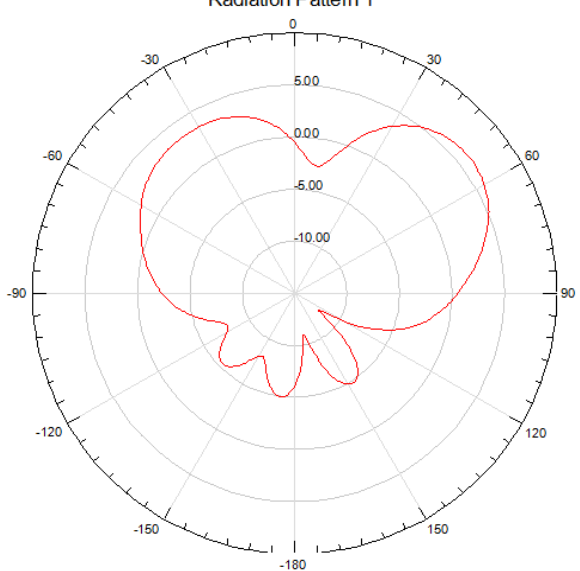
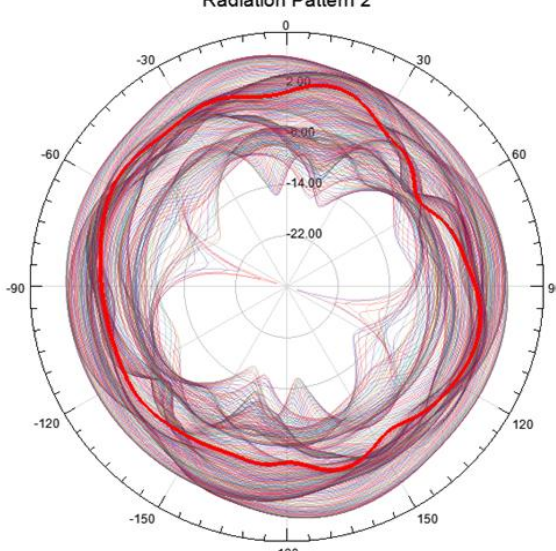

MONOPOLO HF EN PEC UBICADO SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO																		
ASPECTO	RESULTADO																	
<p><b>MODELO 3D DE LA ANTENA SOBRE EL BUQUE</b></p>																		
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p> <table border="1"> <tr><td>6.5937e+000</td></tr> <tr><td>4.4064e+000</td></tr> <tr><td>2.2191e+000</td></tr> <tr><td>3.1842e-002</td></tr> <tr><td>-2.1555e+000</td></tr> <tr><td>-4.9428e+000</td></tr> <tr><td>-6.5300e+000</td></tr> <tr><td>-8.7173e+000</td></tr> <tr><td>-1.0905e+001</td></tr> <tr><td>-1.3092e+001</td></tr> <tr><td>-1.5279e+001</td></tr> <tr><td>-1.7467e+001</td></tr> <tr><td>-1.9654e+001</td></tr> <tr><td>-2.1841e+001</td></tr> <tr><td>-2.4028e+001</td></tr> <tr><td>-2.6216e+001</td></tr> <tr><td>-2.8403e+001</td></tr> </table> </div>  </div>	6.5937e+000	4.4064e+000	2.2191e+000	3.1842e-002	-2.1555e+000	-4.9428e+000	-6.5300e+000	-8.7173e+000	-1.0905e+001	-1.3092e+001	-1.5279e+001	-1.7467e+001	-1.9654e+001	-2.1841e+001	-2.4028e+001	-2.6216e+001	-2.8403e+001
6.5937e+000																		
4.4064e+000																		
2.2191e+000																		
3.1842e-002																		
-2.1555e+000																		
-4.9428e+000																		
-6.5300e+000																		
-8.7173e+000																		
-1.0905e+001																		
-1.3092e+001																		
-1.5279e+001																		
-1.7467e+001																		
-1.9654e+001																		
-2.1841e+001																		
-2.4028e+001																		
-2.6216e+001																		
-2.8403e+001																		
<p><b>PATRON DE RADIACIÓN 2D - ELEVACION</b></p>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 																	

Tabla 14. (Continuación).

<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>	
<p><b>PERDIDAS POR RETORNO</b></p>	
<p><b>IMPEDANCIA DE ENTRADA</b></p>	<p><b>0.6055 + 0.3104i</b></p>
<p><b>VSWR</b></p>	<p><b>1.8860</b></p>

En la tabla 15, aparecen los resultados obtenidos para la simulación del monopolo HF cuando su material es COBRE y se encuentra sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de la antena y su posición en el buque, patrón de radiación 3D, patrón de radiación 2D en azimuth y elevación, perdidas por retorno, impedancia de entrada y VSWR.

Tabla 15. Monopolo HF - COBRE sobre buque completo en acero.

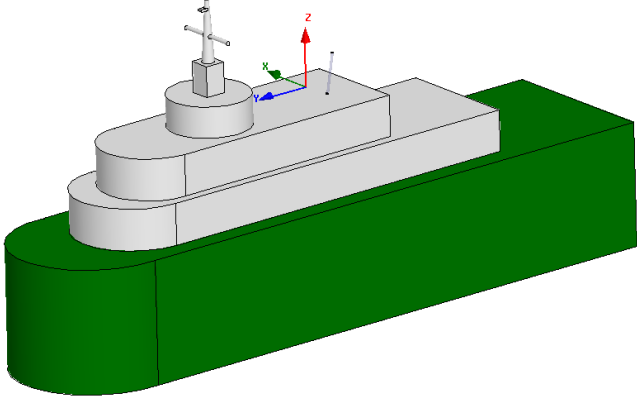
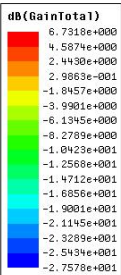
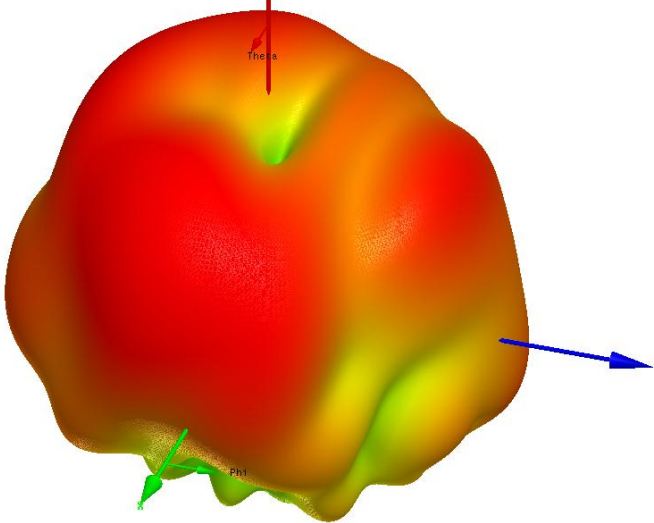
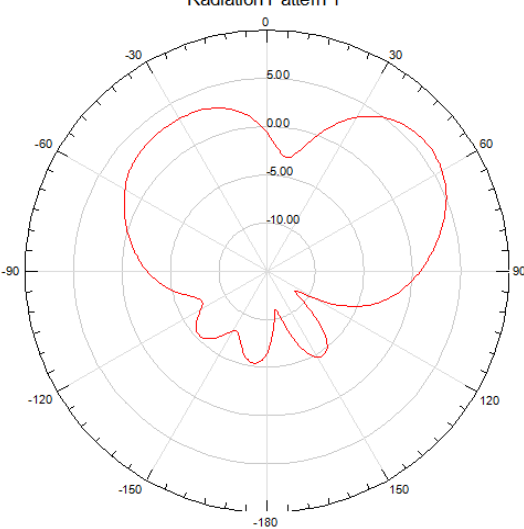
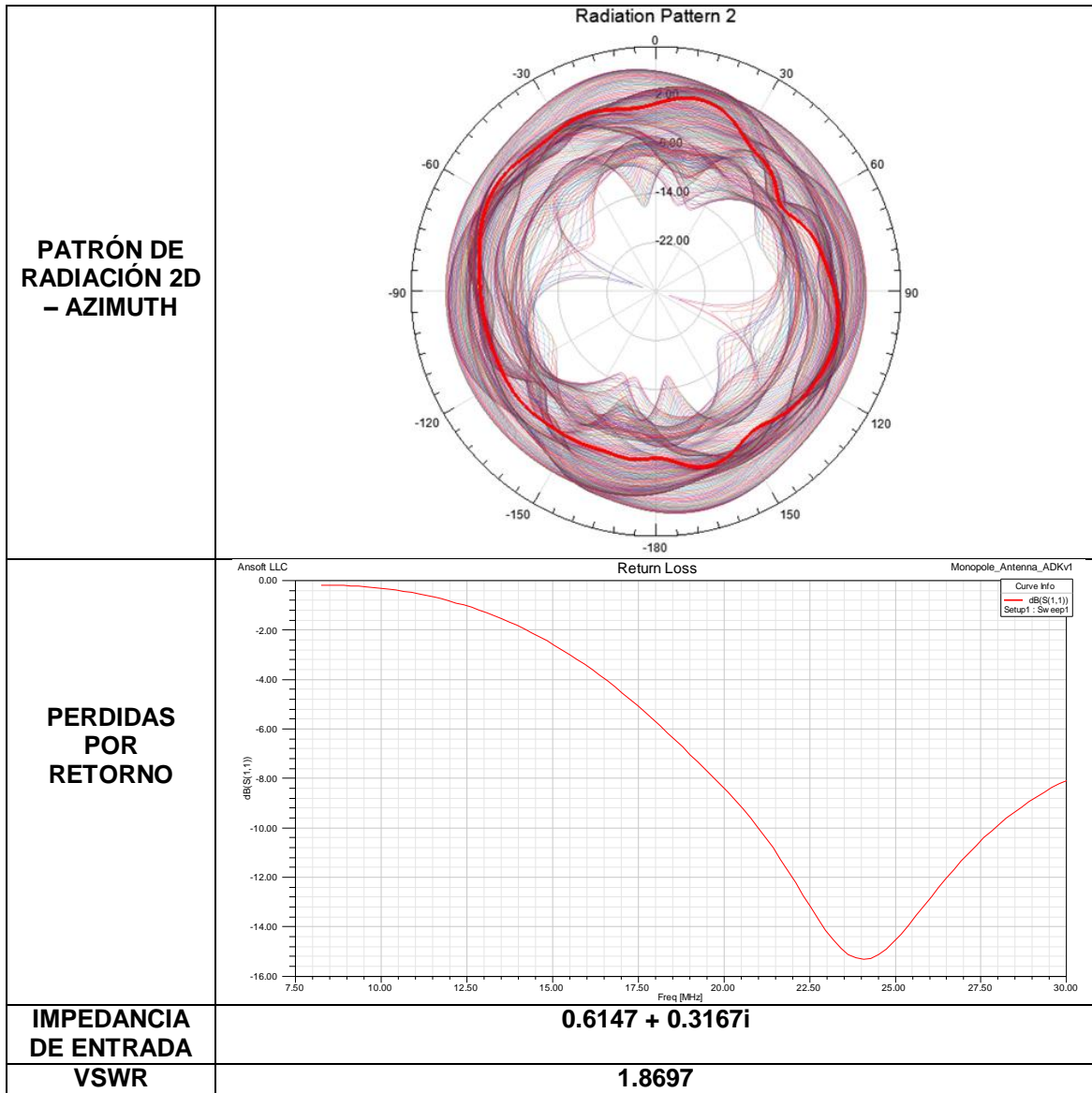
MONOPOLO HF EN COBRE UBICADO SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p>MODELO 3D DE LA ANTENA SOBRE EL BUQUE</p>	
<p>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p>  </div> <div>  </div> </div>
<p>PATRON DE RADIACIÓN 2D - ELEVACION</p>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 

Tabla 15. (Continuación).



### 3.3 SIMULACIÓN COMBINADA. ANTENAS INSTALADAS EN EL BUQUE, OPERANDO SIMULTÁNEAMENTE.

La simulación combinada de las antenas en el buque implica que el entorno de todas será el mismo, es decir, cada una de ellas se ubica sobre el mismo buque en acero y son activadas simultáneamente.

El objetivo de esta sección es obtener los valores de los parámetros mencionados en la sección 3.1 teniendo en cuenta el entorno y la radiación de las otras antenas, con el fin de verificar la forma en que ambas cosas afectan cada uno de esos parámetros.

En la sección 3.2 fueron simuladas individualmente las antenas, teniendo en cuenta las estructuras que le rodean y variando además el material del que está hecha la antena. En esta sección se simula más de una antena en un mismo entorno, variando la cantidad de antenas, la separación entre ellas y el material del que están elaboradas.

Las simulaciones son realizadas para combinaciones de 2 y 3 antenas, siendo las combinaciones así: 2 antenas HF operando a la misma frecuencia, separadas 3 metros una de la otra; 2 antenas HF operando a la misma frecuencia separadas 6 metros una de la otra y finalmente 2 antenas HF separadas 6 metros una de la otra junto a una antena VHF separada 13 metros de las antenas HF. Cada simulación es realizada para las antenas en *PEC* y en *COBRE*.

Se tienen en cuenta los parámetros de una de las antenas HF solamente y con los resultados obtenidos a partir de ella se realiza la evaluación de EMC.

No es posible realizar la evaluación con base en la antena VHF, debido a que la frecuencia de operación es superior y los recursos de memoria RAM con que se contaba resultaban ser insuficientes para esta situación.

### **3.3.1 Antenas HF Combinadas:**

Inclinación de cada antena:  $10^{\circ}$  (hacia atrás) con respecto a la vertical  
Separación entre antenas: 3 metros.

En la tabla 16, aparecen los resultados obtenidos para la simulación combinada de 2 monopolos HF cuando su material es *PEC* y se encuentran sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de las antenas y su posición en el buque, patrón de radiación 3D y patrón de radiación 2D en azimuth y elevación. Los otros aspectos no presentan cambios radicales, por lo que no son tenidos en cuenta en esta sección.

Tabla 16. Antenas HF - PEC, sobre buque en acero. Separación de 3m.

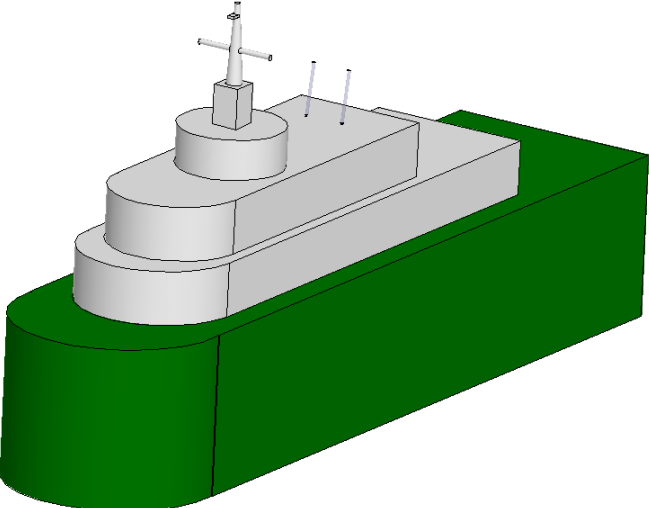
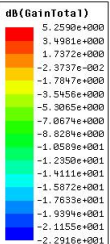
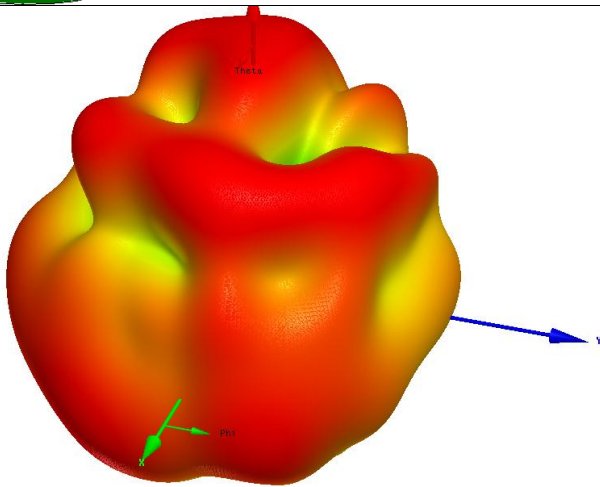
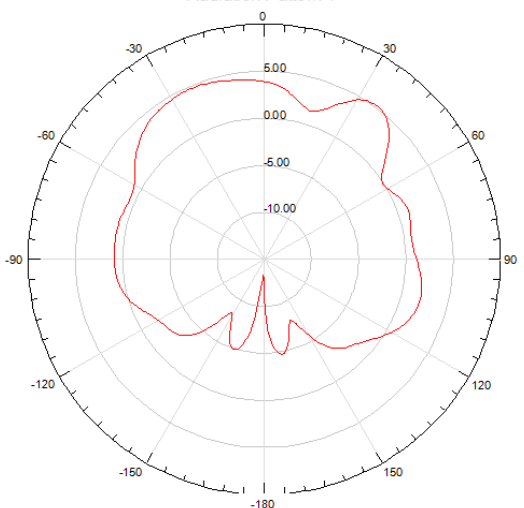
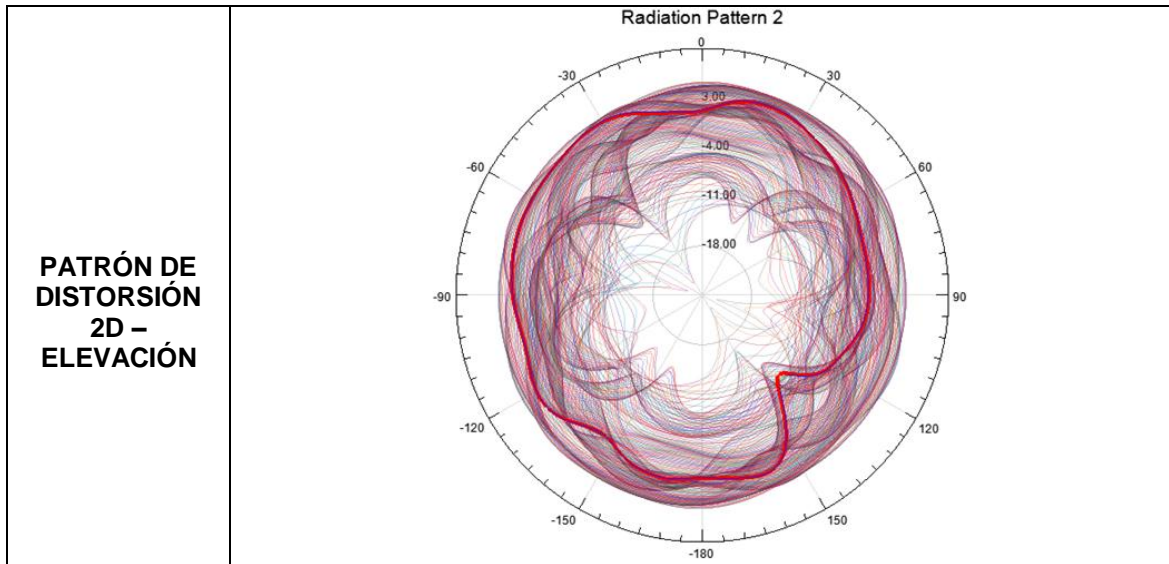
MONOPOLOS HF EN PEC UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p><b>MODELO 3D DE LAS ANTENAS HF SOBRE EL BUQUE</b></p>	
<p><b>PATRON DE DISTORSIÓN DE UNA ANTENA HF EN 3D</b></p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p>  </div> <div>  </div> </div>
<p><b>PATRON DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH</b></p>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 



Tabla 16. (Continuación).



En la tabla 17, aparecen los resultados obtenidos para la simulación combinada de 2 monopolos HF cuando su material es COBRE y se encuentran sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de las antenas y su posición en el buque, patrón de radiación 3D y patrón de radiación 2D en azimuth y elevación. Los otros aspectos no presentan cambios radicales, por lo que no son tenidos en cuenta en esta sección.

Tabla 17. Antenas HF - COBRE, sobre buque en acero. Separación 3m

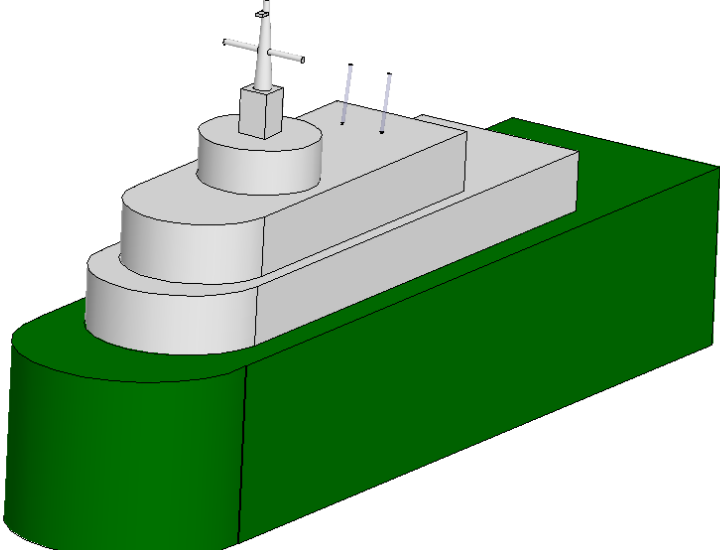
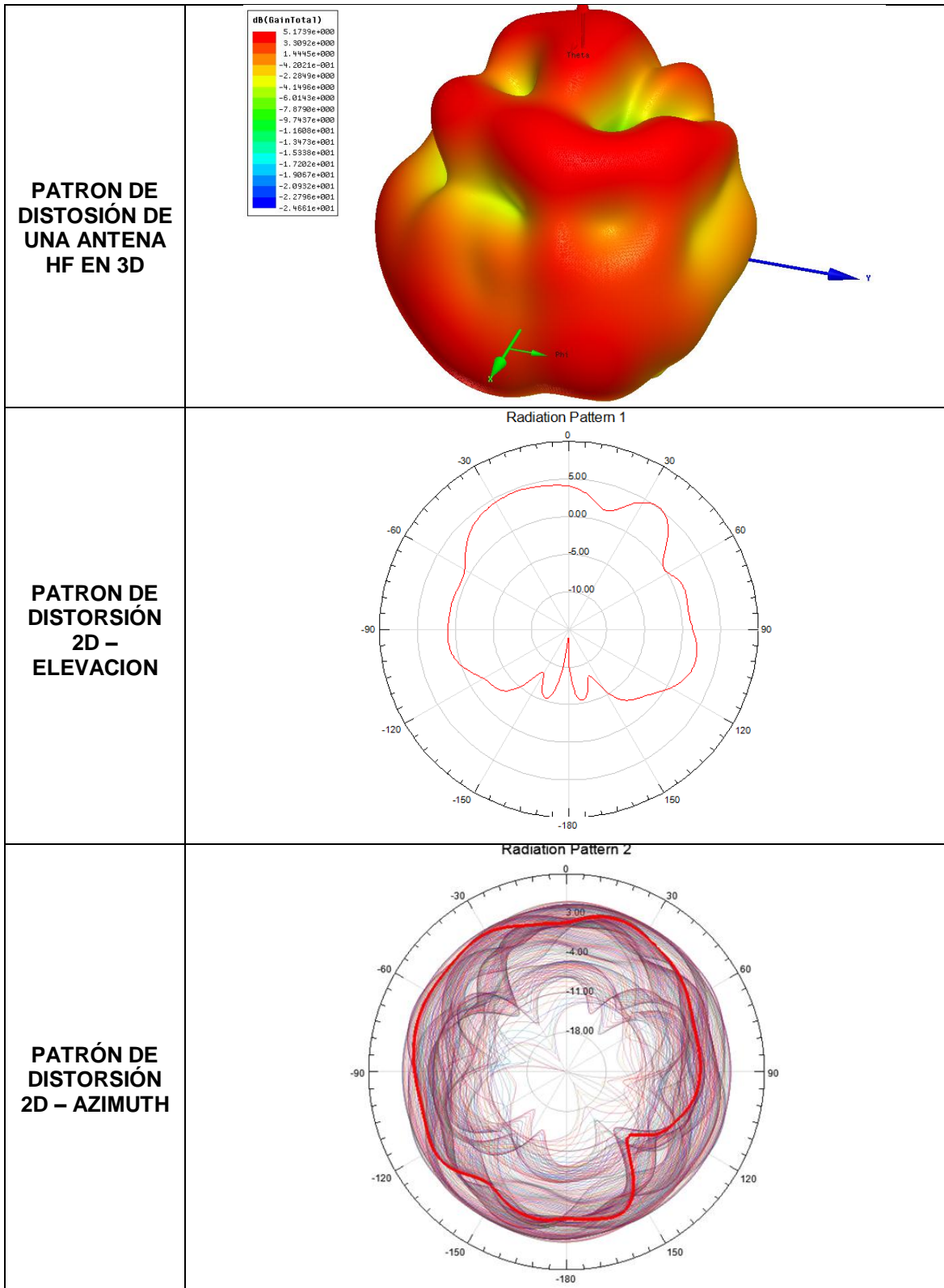
<p><b>MONOPOLOS HF EN COBRE UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO</b></p>	
<p><b>ASPECTO</b></p>	<p><b>RESULTADO</b></p>
<p><b>MODELO 3D DE LAS ANTENAS HF SOBRE EL BUQUE</b></p>	

Tabla 17. (Continuación).



Inclinación de cada antena:  $10^\circ$  (hacia atrás) con respecto a la vertical  
 Separación entre antenas: 6 metros.

En la tabla 18, aparecen los resultados obtenidos para la simulación combinada de 2 monopolos HF cuando su material es *PEC* y se encuentran sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de las antenas y su posición en el buque, patrón de radiación 3D y patrón de radiación 2D en azimuth y elevación. Los otros aspectos no presentan cambios radicales, por lo que no son tenidos en cuenta en esta sección.

Tabla 18. Antenas HF - PEC, sobre buque en acero. Separación de 6m.

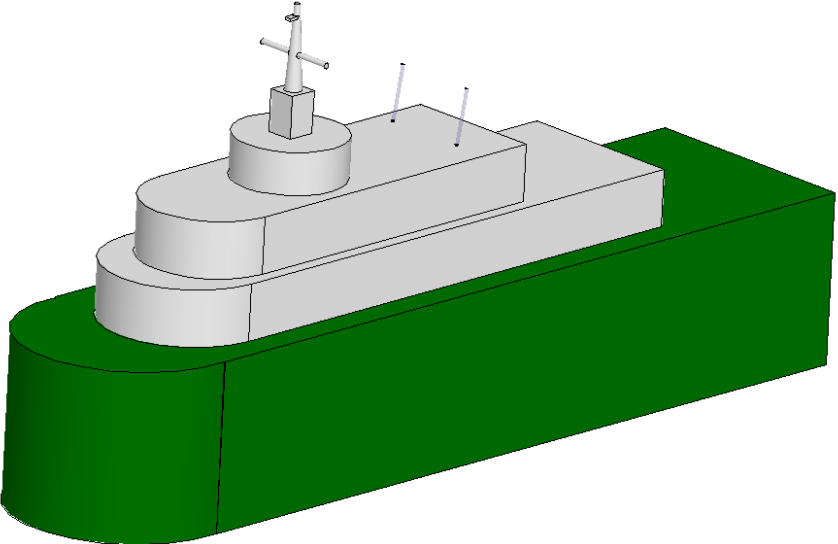
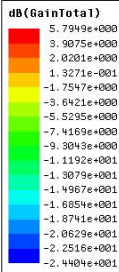
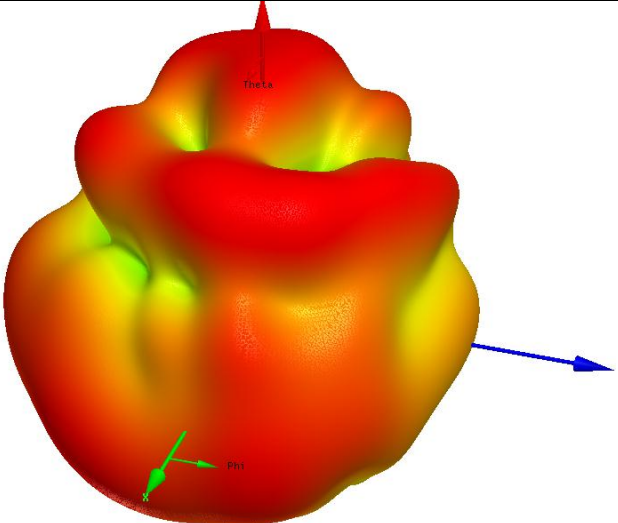
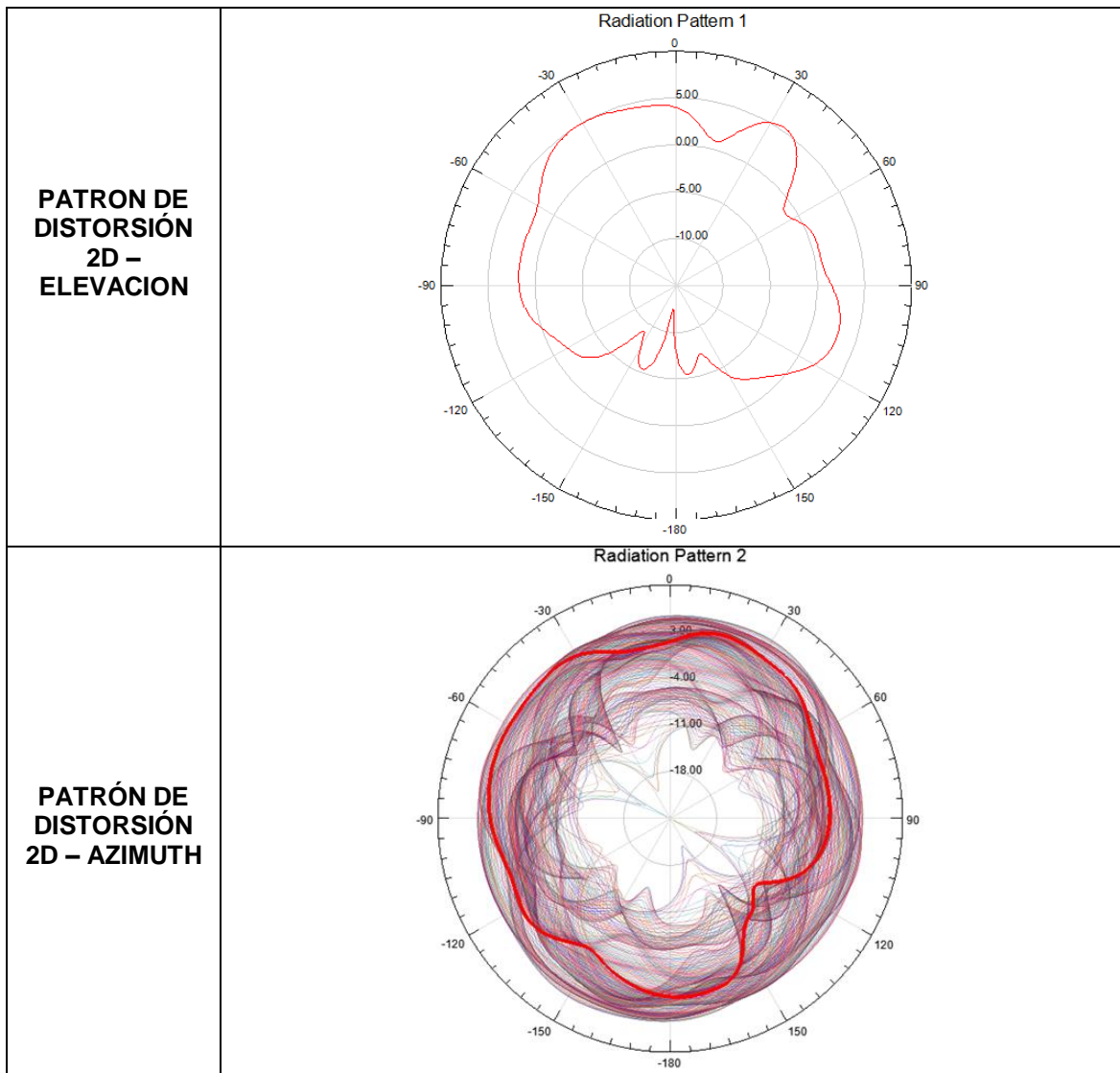
MONOPOLOS HF EN <i>PEC</i> SEPARADOS 6m, UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p><b>MODELO 3D DE LAS ANTENAS HF SOBRE EL BUQUE</b></p>	
<p><b>PATRON DE DISTOSIÓN DE UNA ANTENA HF EN 3D</b></p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>dB(GainTotal)</b></p>  </div> <div>  </div> </div>

Tabla 18. (Continuación).



En la tabla 19, aparecen los resultados obtenidos para la simulación combinada de 2 monopolos HF cuando su material es COBRE y se encuentran sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de las antenas y su posición en el buque, patrón de radiación 3D y patrón de radiación 2D en azimuth y elevación. Los otros aspectos no presentan cambios radicales, por lo que no son tenidos en cuenta en esta sección.

Tabla 19. Antenas HF - COBRE, sobre buque en acero. Separación de 6m.

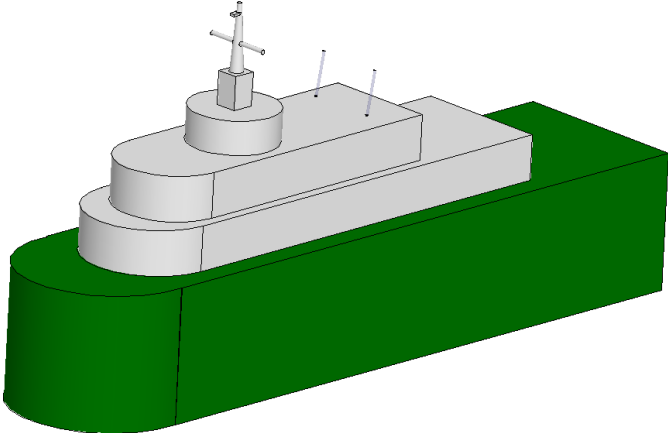
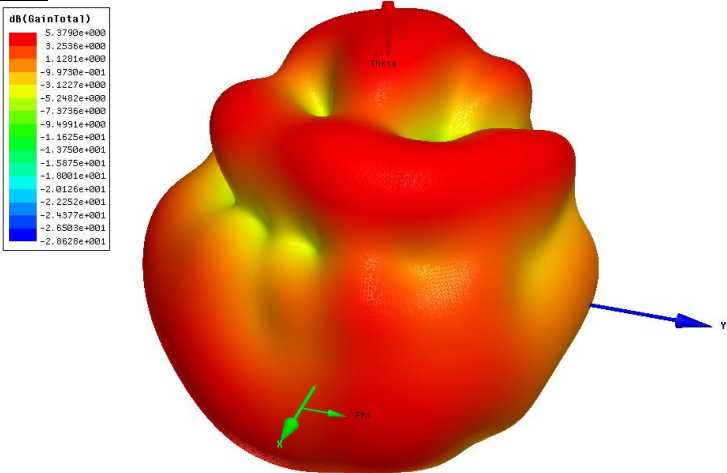
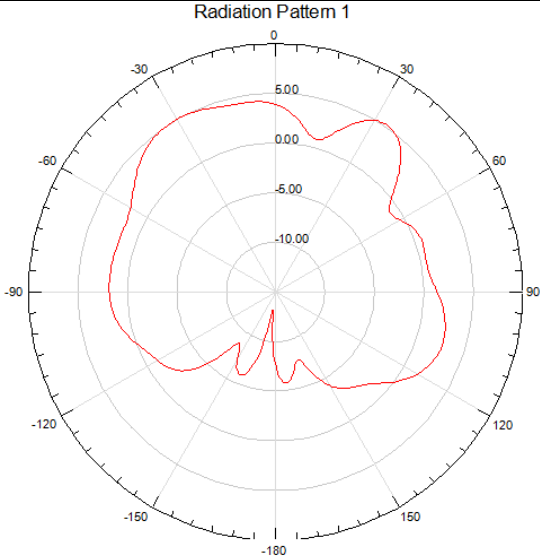
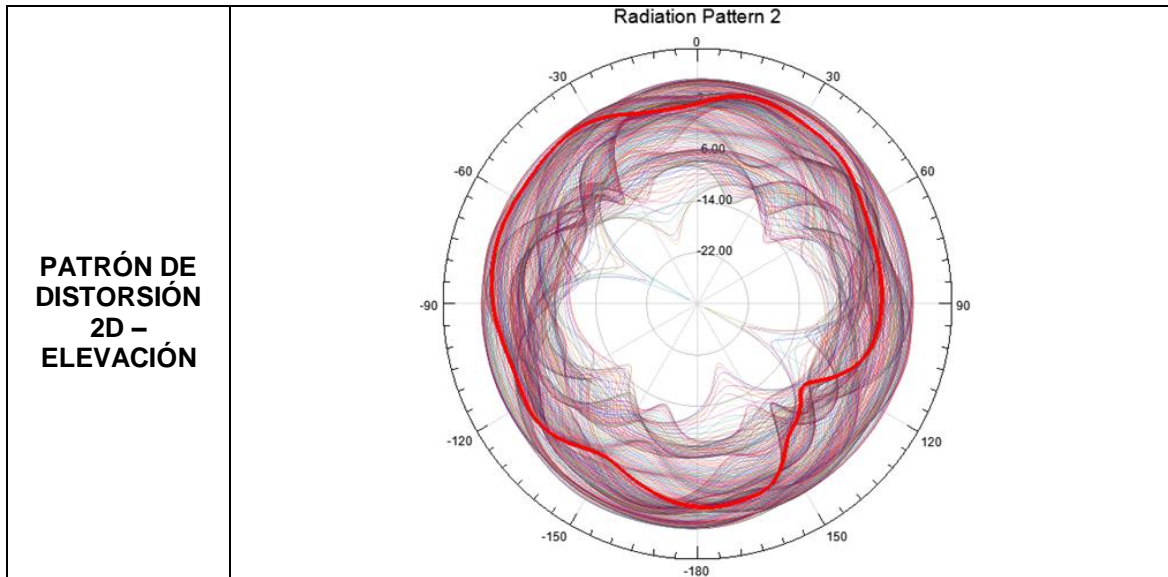
MONOPOLOS HF EN COBRE SEPARADOS 6m, UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
IMAGEN	
PATRON DE DISTORSIÓN DE UNA ANTENA HF EN 3D	
PATRON DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH	<p>Radiation Pattern 1</p> 

Tabla 19. (Continuación).



### 3.3.2 Antenas HF y Antena VHF combinadas

Inclinación de cada antena HF:  $10^\circ$  (hacia atrás) con respecto a la vertical

Inclinación de antena VHF:  $0^\circ$  (se encuentra completamente vertical)

Separación entre antenas HF: 6 metros.

Separación horizontal entre antenas HF y antena VHF: 13 metros

Antenas simuladas para una frecuencia de “Analysis Setup” = 21.5MHz

En la tabla 20, se muestran los resultados obtenidos para la simulación combinada de 2 monopolos HF y un dipolo VHF cuando su material es *PEC* y se encuentran sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de las antenas y su posición en el buque, patrón de radiación 3D y patrón de radiación 2D en azimuth y elevación. Los otros aspectos no presentan cambios radicales, por lo que no son tenidos en cuenta en esta sección.

Tabla 20. Antenas HF y VHF en PEC sobre buque en acero.

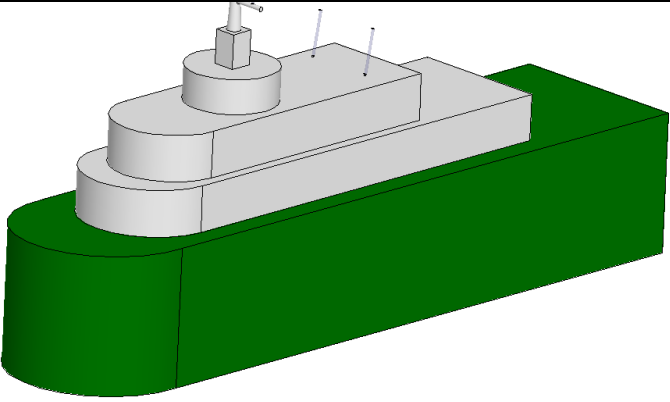
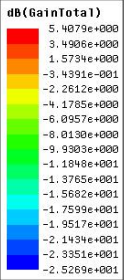
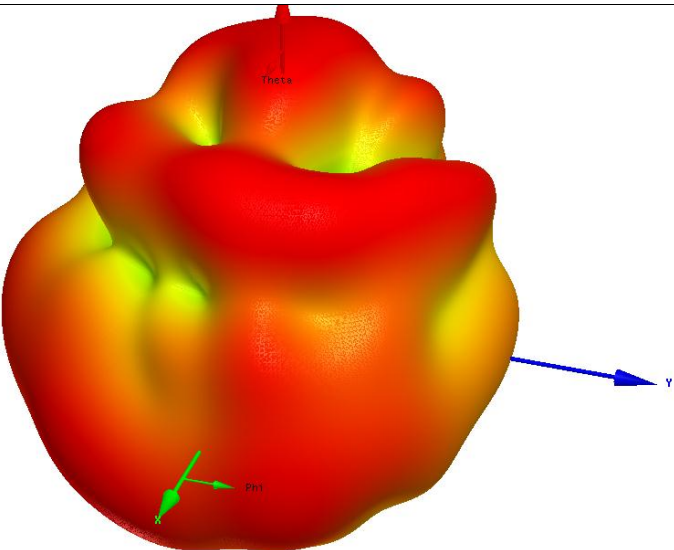
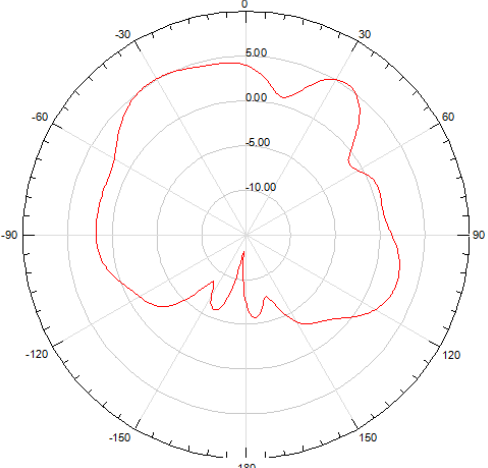
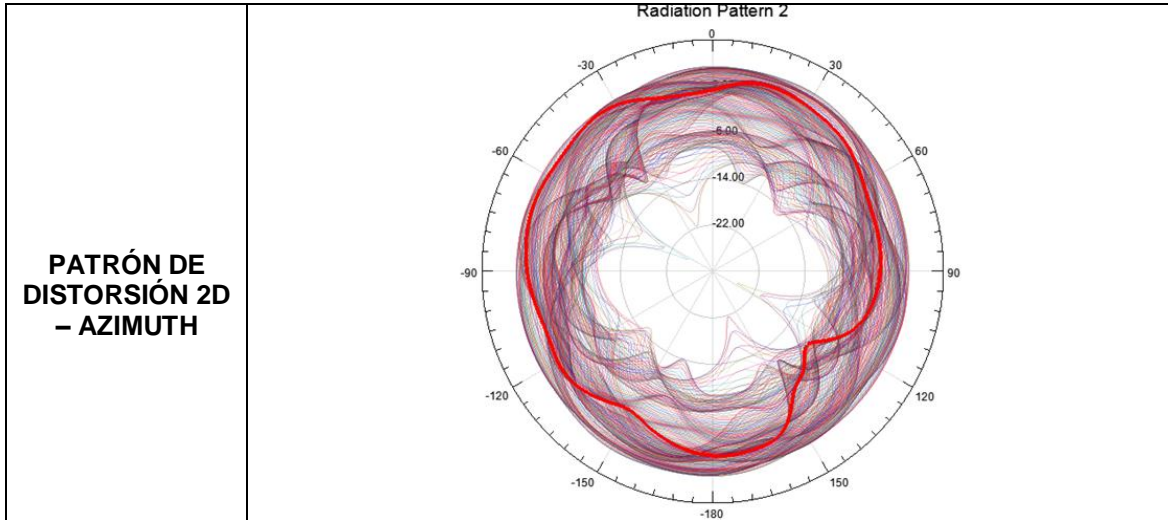
MONOPOLOS HF Y DIPOLO VHF EN PEC UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p>MODELO 3D DE LAS ANTENAS VHF Y HF EN LA EMBARCACION</p>	
<p>PATRON DE DISTORSIÓN DE LA ANTENA VHF EN 3D</p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>dB(GainTotal)</p>  </div> <div>  </div> </div>
<p>PATRON DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACION</p>	<p style="text-align: center;">Radiation Pattern 1</p> 

Tabla 20. (Continuación).



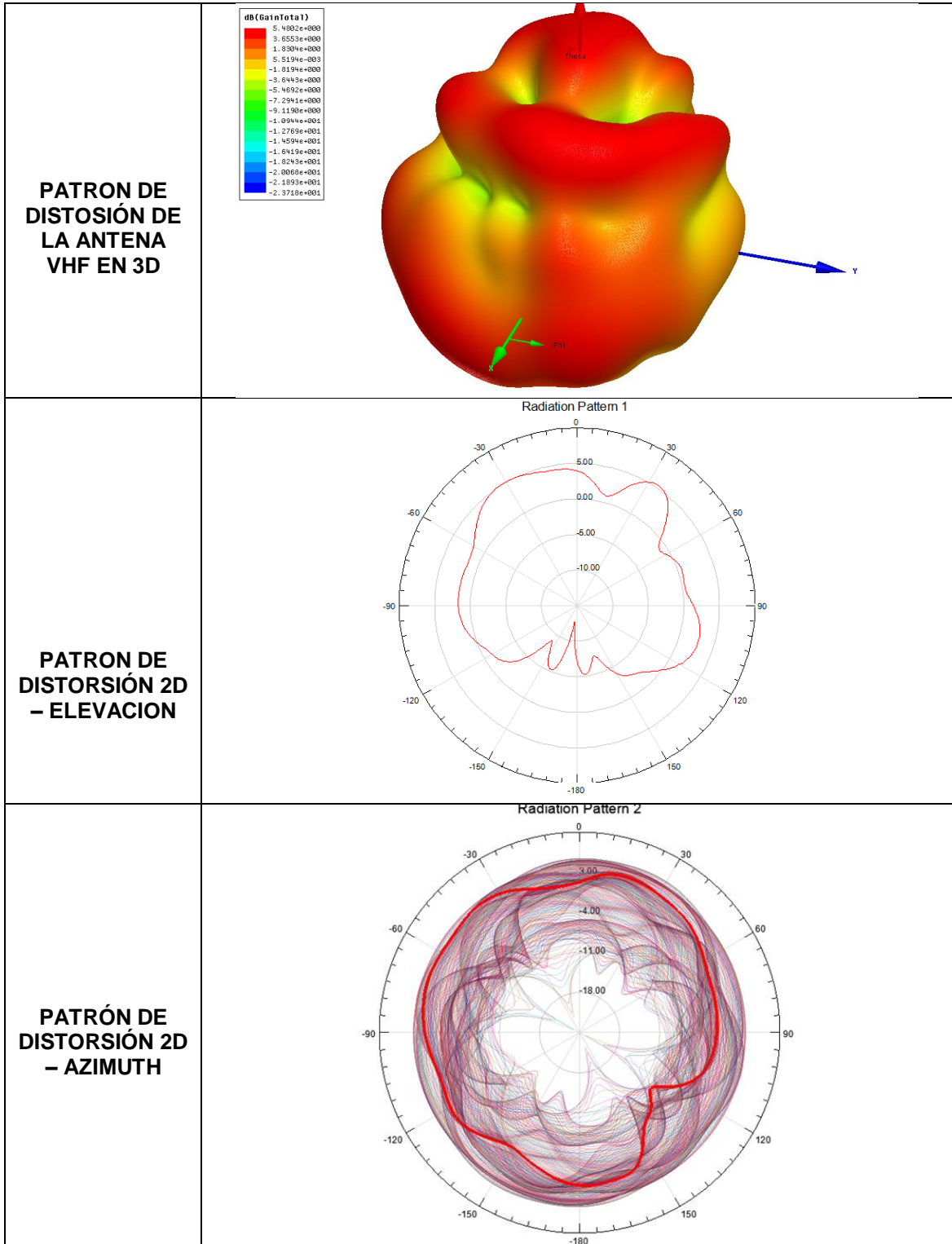
En la tabla 21, aparecen los resultados obtenidos para la simulación combinada de 2 monopolos HF y un dipolo VHF cuando su material es COBRE y se encuentran sobre el buque (en acero). Los aspectos que se detallan son: modelo 3D de las antenas y su posición en el buque, patrón de radiación 3D y patrón de radiación 2D en azimuth y elevación. Los otros aspectos no presentan cambios radicales, por lo que no son tenidos en cuenta en esta sección.

Tabla 21. Antenas HF y VHF en COBRE sobre buque en acero.

<b>MONOPOLOS HF Y DIPOLO VHF EN COBRE UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO</b>	
<b>ASPECTO</b>	<b>RESULTADO</b>
<p><b>MODELO 3D DE LAS ANTENAS VHF Y HF EN LA EMBARCACION</b></p>	



Tabla 21. (Continuación).



## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La evaluación de EMC se realiza a partir del análisis comparativo de los resultados obtenidos en el capítulo III para cada uno de los parámetros expuestos.

Los resultados del capítulo III evidenciaron diferencias en los valores obtenidos para cada parámetro de las antenas, a medida que se modificaban las condiciones de operación. El objetivo de este capítulo es evaluar cuantitativamente esas diferencias y analizar la influencia del entorno y de las propiedades físicas de la antena mientras se encuentra en operación.

Adicionalmente, son comparados los datos obtenidos en las simulaciones con los valores de referencia obtenidos a partir de literatura especializada, para los cuales se modifican uno o más factores del entorno o de la caracterización de la antena.

El capítulo está dividido en dos secciones, la primera, donde se analiza la degradación de los parámetros VSWR, pérdida por retorno, impedancia de entrada y patrón de radiación obtenidos para cada antena, y la segunda, donde se analiza la distribución de los campos eléctrico y magnético, así como la corriente inducida sobre el casco del buque como consecuencia de la radiación de las antenas.

Los análisis comparativos son realizados y cuantificados a partir de la correlación de los datos, utilizando el software Matlab para este fin.

### 4.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS

En esta sección se analizan inicialmente los resultados obtenidos para los parámetros “pérdidas por retorno”, “impedancia de entrada” y “VSWR”, para ambas antenas en *PEC* y *COBRE*, cuando se encuentran en entornos diferentes. Posteriormente se efectúa el análisis comparativo entre los patrones de radiación en 2D y los valores de ganancia máxima, para las mismas condiciones.

La finalidad de esta sección es analizar el “acople” que existe entre las antenas y su entorno, es decir, la forma en la que el barco interactúa con la antena formando parte de ella y alterando sus parámetros.

#### 4.1.1 Pérdidas por retorno y VSWR.

Como se explicó en el capítulo III, la pérdida por retorno indica la relación entre la potencia reflejada y la incidente (salida del Tx), en dB, mientras que el VSWR indica una relación entre picos y valles de tensión (máximo y mínimo).

Según el artículo Introducción a las medidas en Sistemas Radiantes: Análisis de Cables y Antenas, un sistema con una pérdida de retorno de 20dB se considera muy eficiente ya que solamente se refleja el 1% de la potencia, transmitiéndose el 99% restante. Por el contrario, si la pérdida fuese de 10dB se tendría un sistema poco eficiente pues se reflejaría el 10% de la señal. Aunque cada sistema tiene sus propias características puede afirmarse que una pérdida de retorno de 15dB, o mejor, es un valor aceptable para cualquier sistema.

Según el libro *Antennas: From theory to practice*, para la mayoría de las aplicaciones se requiere que el VSWR sea menor que 2. Aunque para la industria móvil el VSWR deseado debe ser menor que 3, debido a que se consideran los efectos del cuerpo humano en el desempeño de teléfonos móviles.

Las cifras anteriores (VSWR < 2 y PR > 15dB) se convierten, inicialmente, en el patrón de referencia para evaluar los resultados obtenidos para las simulaciones en vacío de las antenas, con ellos se verifica qué tan alejados están los resultados de las simulaciones, de los valores que presenta la literatura referenciada.

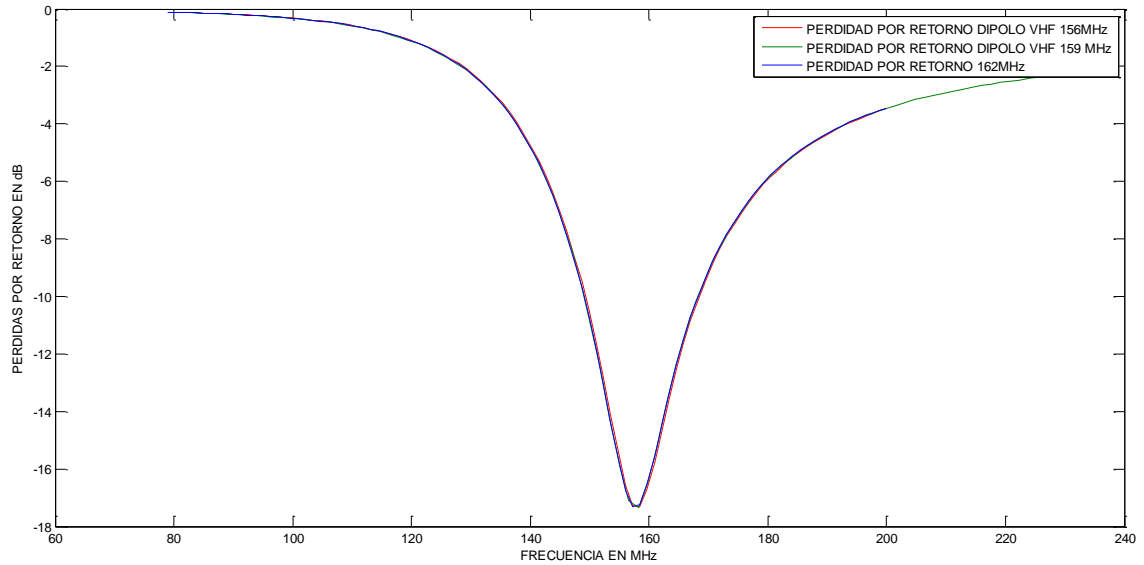
Tabla 22. Pérdidas por retorno (PR) y VSWR para las antenas en vacío.

CASO	FRECUENCIA	PR	VSWR
ANTENA VHF PEC EN VACÍO	159MHz	17.49dB	1.3690
ANTENA VHF COBRE EN VACÍO	159MHz	17.48dB	1.3602
ANTENA HF PEC EN VACÍO	21.5MHz	19.8dB	1.2570
ANTENA HF COBRE EN VACÍO	21.5MHz	18.5dB	1.2772

El objetivo de la tabla 22, es mostrar que de las cuatro simulaciones que se realizaron en vacío, el 100% cumple la condición mencionada para el VSWR, y la expuesta para las PR. Esto permite validar lo asumido en la sección 3.1, cuando se mencionó que la antena y su puerto de alimentación estaban acoplados, para la frecuencia de operación de cada antena.

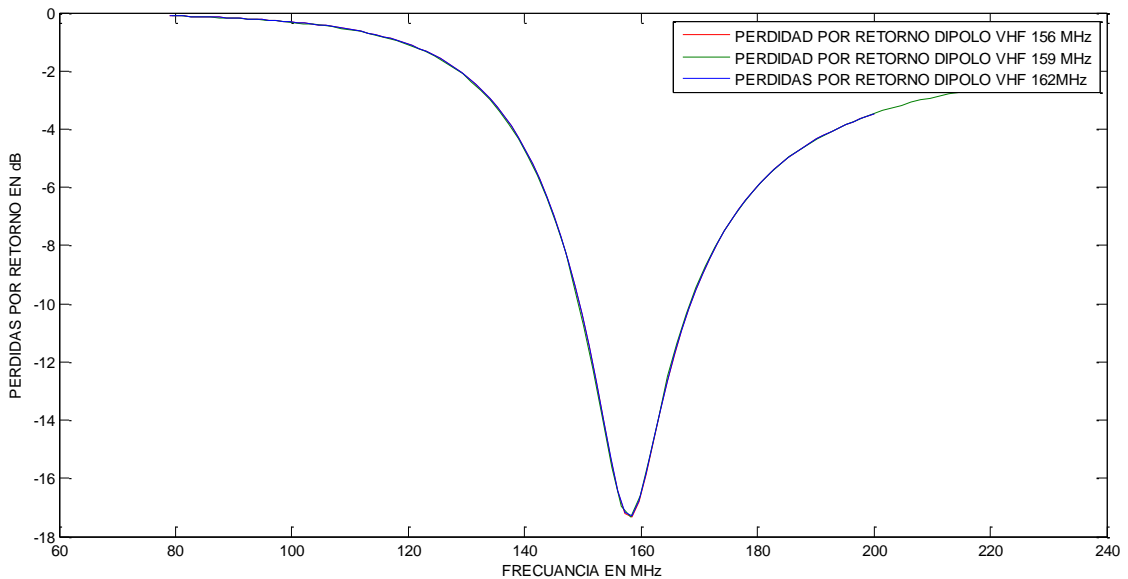
Sin embargo, las antenas seleccionadas tienen un rango de frecuencias dentro del cual pueden operar, sin que sus parámetros cambien significativamente, para el cual debe ser igualmente válido el “acople”. Para corroborar esto se simularon las antenas HF/VHF (en PEC y cobre) en vacío, a dos frecuencias diferentes incluidas en el rango especificado por el fabricante. Los resultados son mostrados en las Figuras 8, 9, 10 y 11.

**Figura 8. Perdidas por retorno dipolo VHF- PEC en vacío, para 156 MHz, 159 MHz y 162MHz**



La Figura 8, presenta la gráfica de PR para el dipolo VHF (*PEC*) en vacío para tres frecuencias diferentes incluidas en el rango dado por el fabricante: 156MHz, 159MHz (frec. de operación) y 162MHz. El valor mínimo obtenido para los tres casos es de 17.5dB

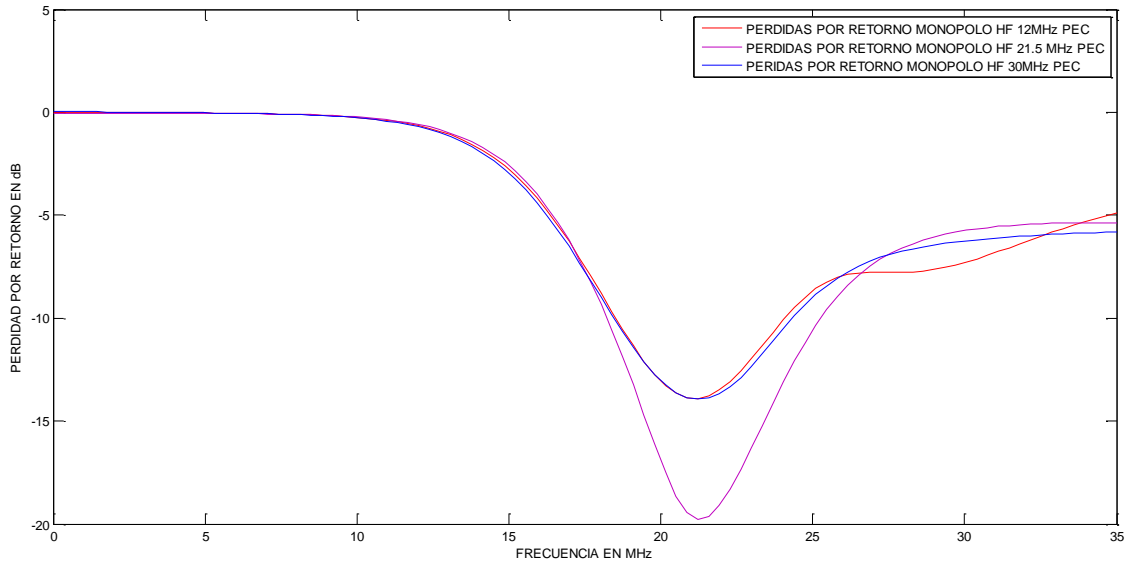
**Figura 9. Perdidas por retorno dipolo VHF- COBRE en vacío, para 156 MHz, 159 MHz y 162MHz.**



La Figura 9, presenta la gráfica de PR para el dipolo VHF (*COBRE*) en vacío para tres frecuencias diferentes incluidas en el rango dado por el fabricante: 156MHz,

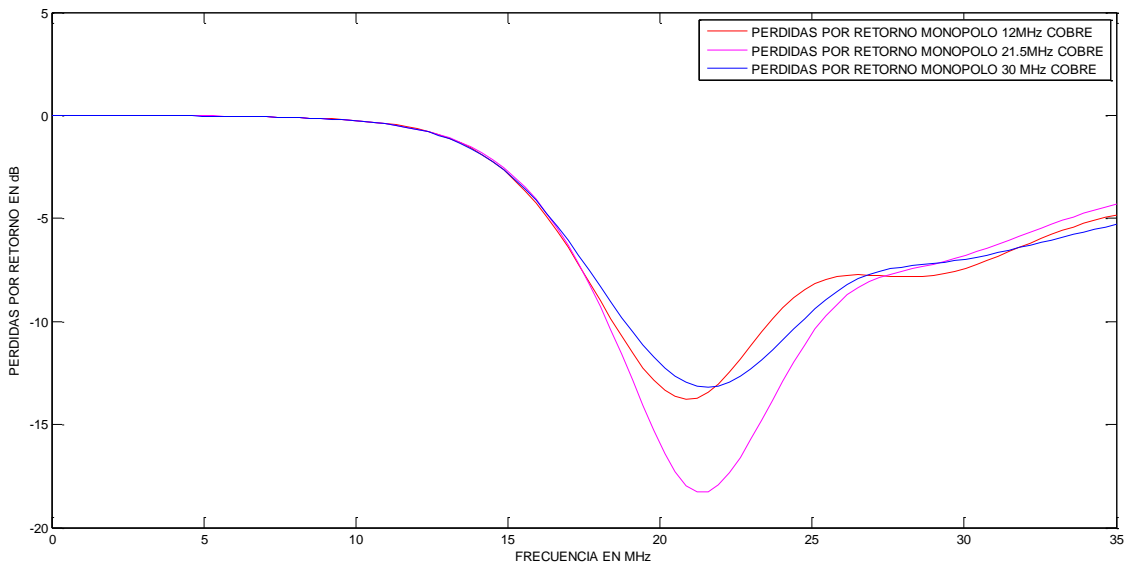
159MHz (frec. de operación) y 162MHz. El valor mínimo obtenido para los tres casos es de 17.5dB

Figura 10. Perdidas por retorno monopolo HF- PEC en vacío, para 12 MHz, 21.5 MHz y 30MHz.



La Figura 10, presenta la gráfica de PR para el monopolo HF (*PEC*) en vacío para tres frecuencias diferentes incluidas en el rango dado por el fabricante: 12MHz, 21.5MHz (frec. de operación) y 30MHz. Para la frecuencia de operación el mínimo valor obtenido es de 19.7dB, mientras que para las otras dos frecuencias, el mínimo valor obtenido es de 14.2dB.

Figura 11. Perdidas por retorno monopolo HF- COBRE en vacío, para 12 MHz, 21.5 MHz y 30MHz.



La Figura 11, presenta la gráfica de PR para el monopolo HF (COBRE) en vacío para tres frecuencias diferentes incluidas en el rango dado por el fabricante: 12MHz, 21.5MHz (frec. de operación) y 30MHz. Para la frecuencia de operación el mínimo valor obtenido es de 18dB, mientras que para las otras dos frecuencias, el mínimo valor obtenido es de 14.2dB y 13.8dB.

Por simple inspección se evidencia que las PR más bajas se presentan a la frecuencia de operación de la antena, es decir, para el caso del dipolo VHF en estudio están alrededor de los 159MHz, mientras que para el caso del monopolo HF alrededor de los 21.5MHz. Esto debido a que la frecuencia de operación es aquella a la cual tendrá mejor desempeño la antena y se radiará la mayor cantidad de potencia, ya que fue la frecuencia para la cual se caracterizó la antena en HFSS.

Ahora que se validó el acople entre cada antena y su puerto de alimentación, se analiza cómo afecta la geometría del entorno los parámetros de referencia que se mostraron en la tabla 22.

**Tabla 23. Pérdidas por retorno y VSWR.**

CASO		FRECUENCIA	PR	VSWR
ANTENA VHF PEC	MÁSTIL	159MHz	9.5dB	2.017
	MÁSTIL + PLATAFORMA		9.5dB	2.0329
ANTENA VHF COBRE	MÁSTIL	159MHz	9.5dB	2.067
	MÁSTIL + PLATAFORMA		9.5dB	2.0626
ANTENA HF PEC	PLATAFORMA	21.5MHz	12.8dB	1.5959
	BUQUE		10.8dB	1.6497
ANTENA HF COBRE	PLATAFORMA	21.5MHz	11.6dB	1.8860
	BUQUE		10.8dB	1.8697

Para el caso del dipolo VHF en PEC, se observa que las pérdidas por retorno pasaron de ser 17.49dB en vacío, a 9.5dB cuando se ubicó la antena sobre el mástil y sobre el mástil + plataforma. Son aproximadamente 8dB de diferencia entre ambos valores, lo que quiere decir que la potencia radiada por la antena se reduce a 1/6 de lo que radiaría en condiciones ideales. Para el caso del VSWR, el valor pasa de ser 1.3690 en vacío, a 2.017 y 2.0329 cuando se ubicó sobre el mástil y sobre el mástil + plataforma, respectivamente. Lo anterior implica que hay un incremento del coeficiente de reflexión, que pasa de ser 0.15 cuando el dipolo está en vacío, a 0.33 y 0.34 respectivamente, es decir, que la relación entre picos y valles de la onda de tensión estacionaria aumenta un 47.3% y 48.4%, respectivamente.

Para el dipolo VHF en COBRE, se observa que las pérdidas por retorno pasaron de ser 17.48dB en vacío, a 9.5dB cuando se ubicó la antena sobre el mástil y

sobre el mástil + plataforma. Son, igual que en el caso anterior, 8dB aprox. de diferencia entre ambos valores, lo que significa que la potencia radiada por la antena se reduce también a 1/6 de lo que radiaría en condiciones ideales. El valor del VSWR pasa de ser 1.3602 en vacío, a 2.067 y 2.0626 cuando se ubicó sobre el mástil y sobre el mástil + plataforma, respectivamente. Esto implica que hay un incremento del coeficiente de reflexión, que pasa de ser 0.15 cuando el dipolo está en vacío, a 0.34 y 0.35 respectivamente, es decir, que la relación entre picos y valles de la onda de tensión estacionaria aumenta un 51.9% y 51.6%, respectivamente.

Analizando ahora el monopolo HF en *PEC*, se observa que las pérdidas por retorno pasaron de ser 19.8dB en vacío, a 12.8dB y 10.8dB cuando se ubicó la antena sobre la plataforma y el buque, respectivamente. La diferencia entre valores es de 7dB y 9dB, lo que significa que la potencia radiada por la antena se reduce respectivamente a 1/5 y 1/8 de lo que radiaría en condiciones ideales. El valor del VSWR pasa de ser 1.2570 en vacío, a 1.5959 y 1.6497 cuando se ubicó sobre la plataforma y sobre el buque, respectivamente. Esto implica que hay un incremento del coeficiente de reflexión, que pasa de ser 0.11 cuando el monopolo está en vacío, a 0.22 y 0.24 respectivamente, es decir, que la relación entre picos y valles de la onda de tensión estacionaria aumenta un 26.9% y 31.2%, respectivamente.

Para el monopolo HF en *COBRE*, se observa que las pérdidas por retorno pasaron de ser 18.5dB en vacío, a 11.6dB y 10.8dB cuando se ubicó la antena sobre la plataforma y el buque, respectivamente. La diferencia entre valores es de 6.9dB y 7.7dB, lo que significa que la potencia radiada por la antena se reduce a aprox. 1/5 y 1/6 de lo que radiaría en condiciones ideales. El valor del VSWR pasa de ser 1.2772 en vacío, a 1.8860 y 1.8697 cuando se ubicó sobre la plataforma y sobre el buque, respectivamente. Lo anterior implica que hay un incremento del coeficiente de reflexión, que pasa de ser 0.12 cuando el monopolo está en vacío, a 0.31 y 0.30 respectivamente, es decir, que la relación entre picos y valles de la onda de tensión estacionaria aumenta un 47.6% y 46.3%, respectivamente.

#### **4.1.2 Impedancia de entrada**

Como se especificó en el capítulo anterior, la impedancia de entrada de una antena es un valor complejo (resistencia de antena + reactancia de antena). La reactancia de la antena es debida a los efectos capacitivos y/o inductivos de la antena, y debe minimizarse, pues la energía consumida por esta parte de la impedancia se pierde y no se radia.

Por otra parte, la resistencia de la antena se compone de resistencia de radiación y resistencia óhmica. En cuanto a la resistencia ohmica, la energía se pierde también en forma de calor, y es sólo la energía consumida por la resistencia de

radiación la que se emite. Así es que lo que interesa entonces en un proceso de diseño de antenas es maximizar esta resistencia, porque a mayor resistencia de radiación mayor será la potencia emitida para una misma señal inyectada en la antena.

Todos los valores de impedancia obtenidos a partir de las simulaciones realizadas en HFSS están normalizados a  $50\Omega$ . Éste es un parámetro que se especifica durante el proceso de caracterización de cada antena en el software. Es asignado como característica del puerto de alimentación de la antena. Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a calcular los valores de la impedancia de entrada de los casos expuestos en el Capítulo III. La tabla 24 contiene los resultados obtenidos.

Tabla 24. Impedancias de entrada.

CASO		FRECUENCIA	$Z_0$	$Z_{in}$
ANTENA VHF PEC	VACÍO	159MHz	50 $\Omega$ .	66.25 – j0.56
	MÁSTIL			98.13 – j14.66
	MÁSTIL + PLAT.			98.36 – j14.13
ANTENA VHF COBRE	VACÍO	159MHz		67.29 – j1.18
	MÁSTIL			97.82 – j15.07
	MÁSTIL + PLAT.			97.74 – j14.72
ANTENA HF PEC	VACÍO	21.5MHz		54.42 + j9.815
	PLATAFORMA			56.115 + j24.225
	BUQUE			30.275 + j15.52
ANTENA HF COBRE	VACÍO	21.5MHz	53.285+ j12.225	
	PLATAFORMA		50.735 + j25.465	
	BUQUE		30.735+ j15.835	

A partir de lo expuesto en la Tabla 24, es posible evidenciar que la reactancia del dipolo VHF es de tipo capacitivo, debido al signo negativo que antecede la parte imaginaria del número complejo, mientras que la reactancia del monopolo HF es de tipo inductivo.

Para todos los casos expuestos (exceptuando los casos en vacío) en la tabla 24 se presenta desacoplamiento entre el puerto de alimentación y la antena, dado que los valores de impedancia de entrada cambian a medida que varía el entorno de la antena. De acuerdo a lo evidenciado en la sección 4.1.1, las variaciones en el VSWR de las antenas podrían ser consecuencia del desacople que se presenta por efectos la energía reflejada en la antena.

Con el fin de corroborar que el valor de la impedancia de entrada varía cuando se cambia el parámetro  $Z_0$ , se realizaron las simulaciones de las antenas (PEC y cobre) en vacío, para un  $Z_0 = 75\Omega$ . Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 25.



Tabla 25. Impedancia de entrada para  $Z_0 = 75\Omega$ .

CASO		FRECUENCIA	$Z_0$	$Z_{in}$
ANTENA VHF	PEC	159MHz	75 $\Omega$ .	101.46– 0.84i
	COBRE			101.72 – 0.405i
ANTENA HF	PEC	21.25MHz		81.27 + 14.19i
	COBRE			79.92 + 18.37i

#### 4.1.3 Análisis de patrones de radiación en 2D.

En esta sección se exportaron a MATLAB, desde HFSS, los datos obtenidos a partir de los patrones de radiación mostrados en el capítulo III, con el fin de realizar una correlación de los datos y verificar porcentualmente qué tanto afecta el entorno y el tipo de material la radiación de cada antena.

##### 4.1.3.1 Correlación entre antenas en PEC y COBRE Vs. Ubicación

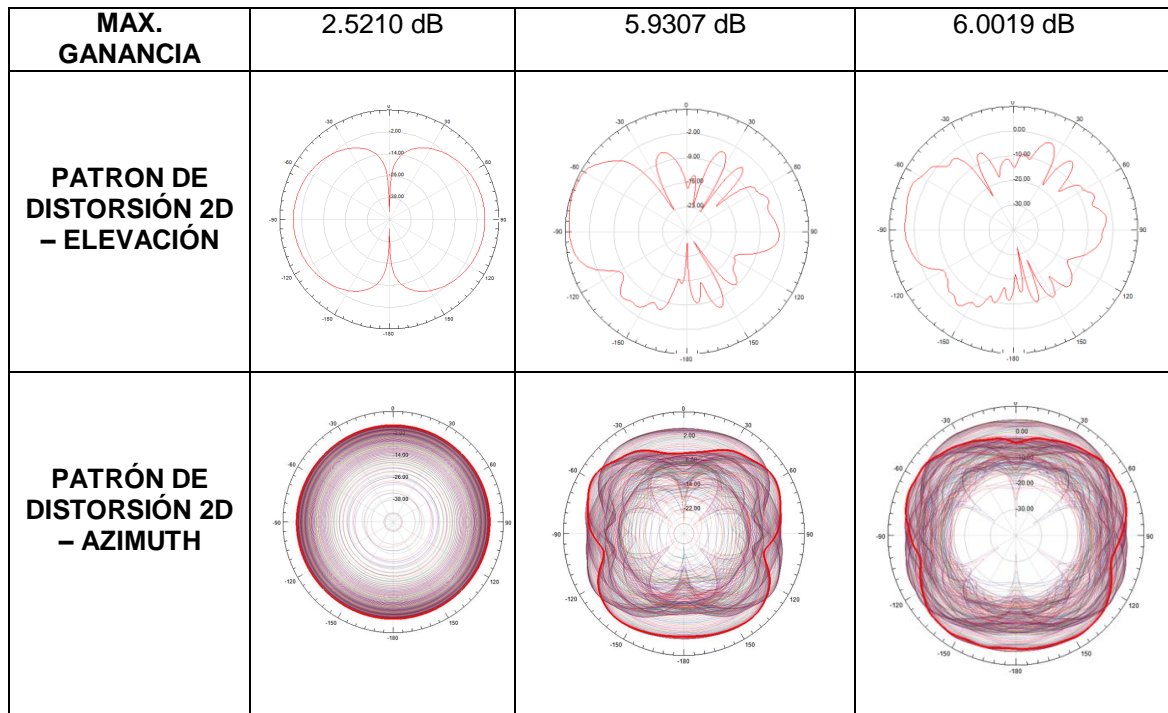
Se analizan los resultados obtenidos para cada antena (HF y VHF) cuando su material es *PEC* y su ubicación varía (en vacío y sobre el buque).

- Antena VHF

Tabla 26. Comparación - Antena VHF en *PEC* con variación de entorno.

VHF EN <i>PEC</i> . VARIANDO LA UBICACIÓN.			
ASPECTO	UBICACIÓN		
	VACÍO	MASTIL	MASTIL + PLATAFORMA
MODELO 3D			
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D			

Tabla 26. (Continuación)



La tabla 26 muestra la variación en el patrón de radiación 3D del dipolo en PEC, a medida que varían las condiciones del entorno en que está la antena. El patrón de radiación en condiciones “ideales” (Dipolo en vacío) se ve afectado por la estructura del mástil, por lo que la radiación de la antena se hace más directiva hacia el lugar del espacio donde no hay obstrucción física.

Es evidente que la ganancia de la antena, se duplica a medida que se modifica el entorno, pasando de ser 2.5210dB a 6.0019dB, una diferencia de aprox. 3.4dB. Es importante aclarar que el incremento en la ganancia sólo se aplica a las direcciones en las que la antena radia sin encontrar obstrucciones.

La estructura del mástil en este caso actúa como reflector de la energía radiada por la antena, lo que hace que se vuelva más directiva en unas regiones que en otras. Al incrementar la directividad de una antena, aumenta su ganancia en la zona donde es más directiva, tal como lo muestra el concepto matemático tomado del libro *Antenna Theory – Analysis and design*, mostrado en la ecuación 4.

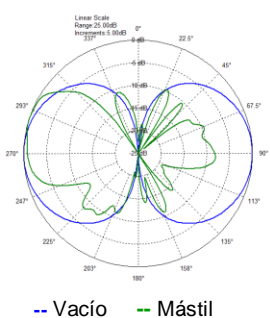
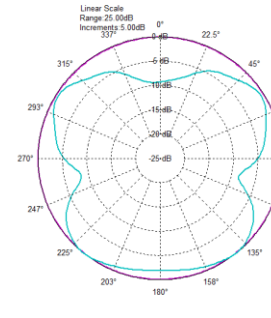
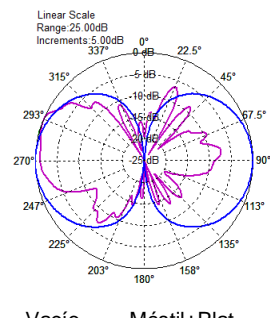
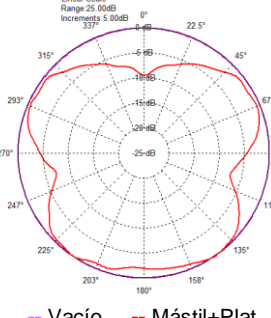
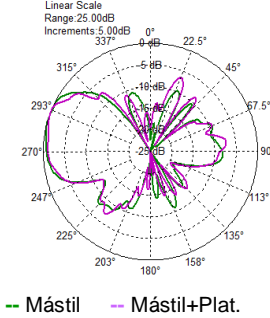
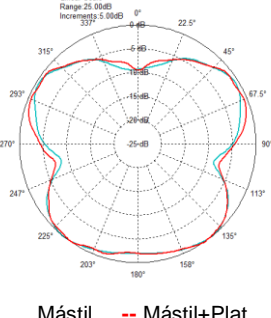
$$G_0 = e \cdot D_0 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde la ganancia es directamente proporcional a la directividad de la antena, afectada solamente por un factor de eficiencia “e” de la antena, que para el caso

del dipolo VHF se asume constante, pues no se han variado características de diseño del mismo.

La tabla 27 presenta los coeficientes de correlación que existen entre los resultados obtenidos para los patrones de radiación 2D mostrados en la tabla 26.

Tabla 27. Correlación entre datos para dipolo VHF en PEC variando el entorno.

DIPOLO VHF EN PEC				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
	Coef. Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
VACÍO Vs. MÁSTIL	0.6011	-0.1376		
	% de Relación entre datos.		36.13%	1.89%
VACÍO Vs. MASTIL + PLATAFORMA	0.5646	-0.0669		
	% de Relación entre datos.		31.87%	0.44%
MASTIL Vs. MÁSTIL + PLATAFORMA	0.8234	0.9837		
	% de Relación entre datos.		67.79%	96.76%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 31, para los casos en los que se compara la antena en vacío con los otros entornos, los datos de la radiación del dipolo en el plano  $\phi = 90^\circ$ , presentan las variaciones más drásticas, con porcentajes de relación de 1.89% y 0.44% para los casos en que se compara la condición ideal (antena en vacío) con las situaciones en las que se varía el entorno.

Tabla 28. Comparación - Antena VHF en cobre con variación de entorno

VHF EN COBRE. VARIANDO LA UBICACIÓN.			
ASPECTO	UBICACIÓN		
	VACÍO	MASTIL	MASTIL + PLATAFORMA
MODELO 3D			
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D			
MAX. GANANCIA	2.4873 dB	5.9136 dB	5.9229 dB
PATRON DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACIÓN			
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH			

La tabla 28, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del dipolo en COBRE, a medida que varían las condiciones del entorno en que está la antenna. El patrón de radiación en condiciones "ideales" (Dipolo en vacío en *PEC*) se ve afectado por la estructura del mástil, y la ganancia disminuye por efectos del material de la antenna.

Es evidente que la ganancia de la antenna, también se duplica a medida que se modifica el entorno, pasando de ser 2.4873dB a 5.9229dB, una diferencia de aprox. 3.4dB.

Tabla 29. Correlación entre datos para dipolo VHF en Cobre variando el entorno.

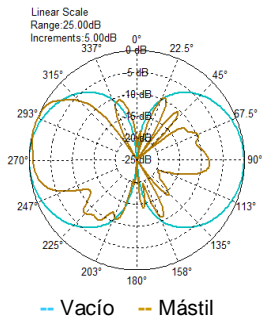
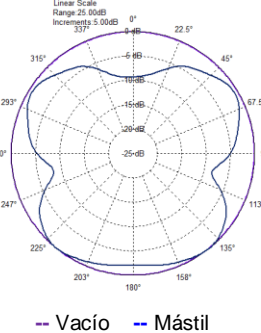
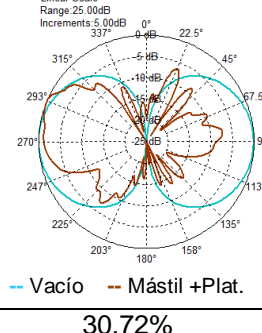
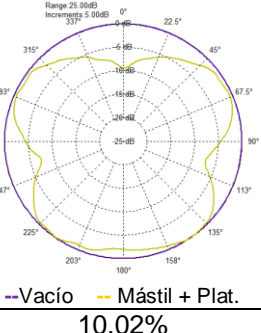
DIPOLO VHF EN COBRE				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
VACÍO Vs. MÁSTIL	Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
	0.5792	0.2912		
% de Relación entre datos.		33.54%	8.47%	
VACÍO Vs. MASTIL + PLATAFORMA	0.5543	0.3167		
			% de Relación entre datos.	

Tabla 29. (Continuación)

<b>MASTIL Vs. MÁSTIL + PLATAFORMA</b>	0.8223	0.9861		
	<b>% de Relación entre datos.</b>		67.61%	97.23%

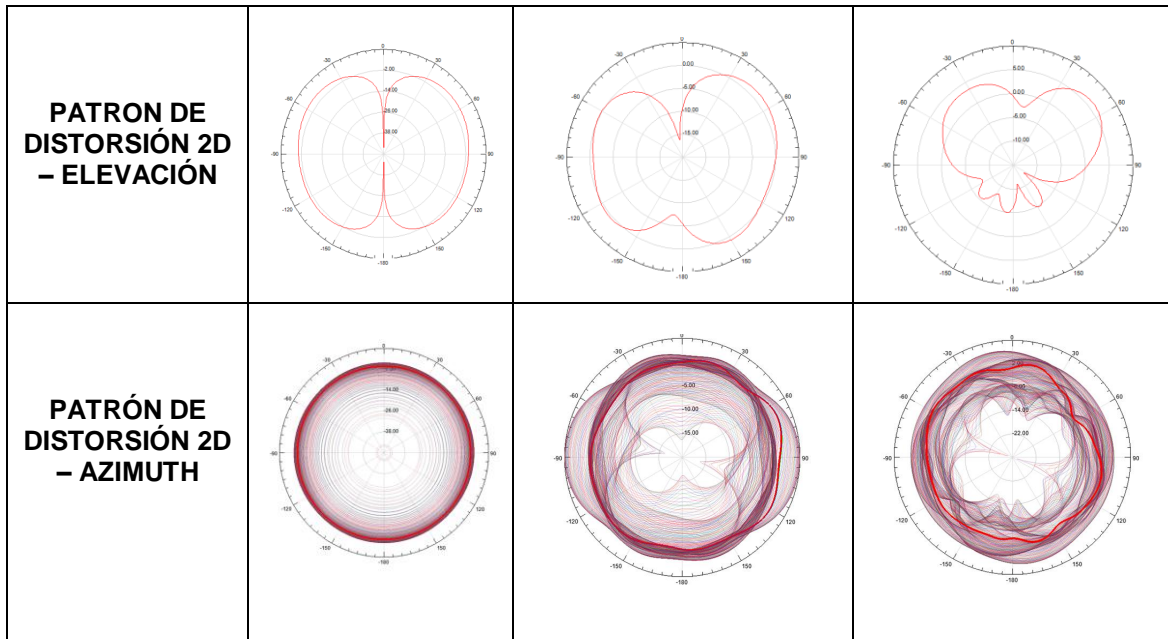
A partir de los resultados mostrados en la tabla 29, para los casos en los que se compara la antena en vacío con los otros entornos, los datos de la radiación del dipolo en el plano  $\phi = 90^\circ$ , presentan las variaciones más drásticas, con porcentajes de relación de 8.47% y 10.02% para los casos en que se compara la condición ideal (antena en vacío) con las situaciones en las que se varía el entorno.

- **Antena HF**

Tabla 30. Comparación - Antena HF en PEC con variación de entorno.

HF EN PEC. VARIANDO EL ENTORNO.			
ASPECTO	ENTORNO		
	VACÍO	PLATAFORMA	BUQUE COMPLETO
<b>MODELO 3D</b>			
<b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b>			
<b>MAX. GANANCIA</b>	1.7817 dB	4.9493 dB	6.5937 Db

Tabla 30. (Continuación)

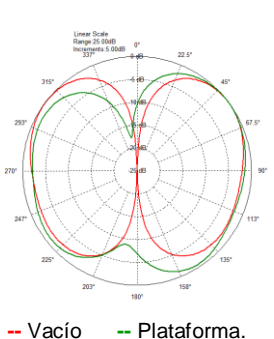
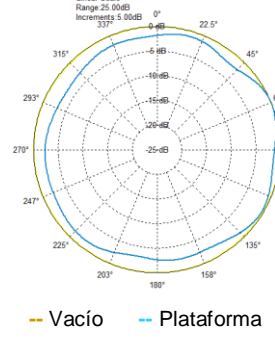
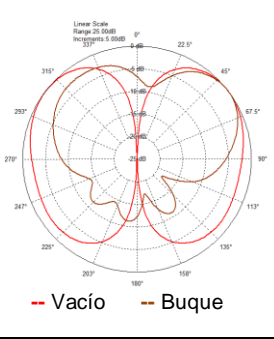
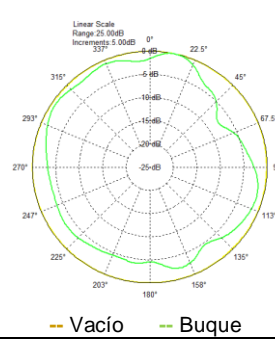
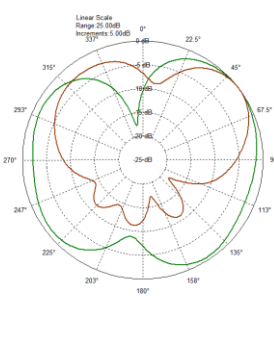
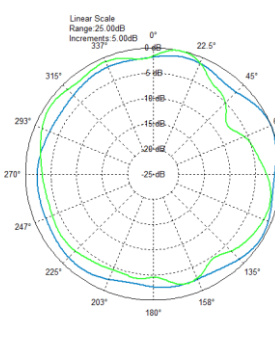


La tabla 30, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del monopolo en PEC, a medida que varían las condiciones del entorno en que está la antena. El patrón de radiación en condiciones “ideales” (Monopolo en vacío en *PEC*) se ve afectado por la estructura de la plataforma, por lo que la radiación de la antena se hace más directiva hacia el lugar del espacio donde no hay obstrucción física.

Es evidente que la ganancia de la antena aumenta a medida que se modifica el entorno, pasando de ser 1.7817 dB a 6.5937dB, una diferencia de aprox. 5dB. Lo que quiere decir que la ganancia prácticamente se triplica.

La estructura de la plataforma en este caso actúa como reflector de la energía radiada por la antena, lo que hace que se vuelva más directiva en unas regiones que en otras. Por la ecuación 4 se sabe que a mayor directividad de una antena en una zona, mayor será su ganancia en esta región, lo que explica tal incremento en la ganancia.

Tabla 31. Correlación entre datos para monopolo HF en PEC variando el entorno

MONOPOLO HF EN PEC				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
	Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
VACÍO Vs. PLATAFORMA	0.5930	0.0380		
	% de Relación entre datos.		35.16%	0.14%
VACÍO Vs. BUQUE	0.2516	0.0319		
	% de Relación entre datos.		6.33%	0.10%
PLATAFORMA Vs. BUQUE COMPLETO	0.0193	0.2193		
	% de Relación entre datos.		0.03%	4.88%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 31, para los casos en los que se compara la antena en vacío con los otros entornos, los datos de la radiación del



monopolo en el plano  $\phi = 90^\circ$ , presentan las variaciones más drásticas, con porcentajes de relación de 0.14% y 0.10% para los casos en que se compara la condición ideal (antena en vacío) con las situaciones en las que se varía el entorno. Así como también se aprecia un porcentaje de relación entre datos casi nulo, del 0.03% para el caso en el que  $\phi = 0^\circ$  y se comparan los entornos plataforma Vs buque.

Tabla 32. Comparación - Antena HF en cobre con variación de ubicación

HF EN COBRE. VARIANDO LA UBICACIÓN.			
ASPECTO	UBICACION		
	VACÍO	PLATAFORMA	BUQUE COMPLETO
MODELO 3D			
PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D			
MAX. GANANCIA	1.6646dB	4.9228 dB	6.7318 dB
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACIÓN			
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH			

La tabla 32, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del monopolo en COBRE, a medida que varían las condiciones del entorno en que está la antena. El patrón de radiación del Monopolo en vacío en Cobre se ve afectado por la estructura de la plataforma y por el buque, por lo que la radiación de la antena se hace más directiva hacia el lugar del espacio donde no hay obstrucción física.

Es evidente que la ganancia de la antena aumenta a medida que se modifica el entorno, pasando de ser 1.6646dB a 6.7318dB, una diferencia de aprox. 5dB. Lo que quiere decir que la ganancia prácticamente se triplica.

La estructura del buque, al igual que en caso anterior, actúa como reflector de la energía radiada por la antena, lo que hace que se vuelva más directiva en unas regiones que en otras. Como ya se explicó en la ecuación 4, a mayor directividad de una antena en una zona, mayor será su ganancia en esta región, lo que explica tal incremento en la ganancia.

Tabla 33. Correlación entre datos para monopolo HF en COBRE variando el entorno.

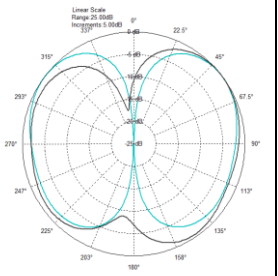
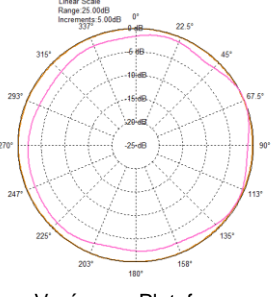
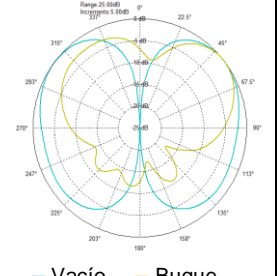
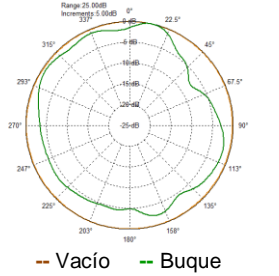
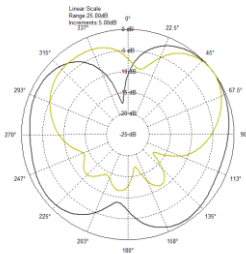
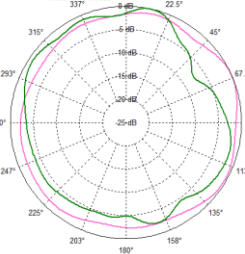
MONOPOLO HF EN COBRE				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
	Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
VACÍO Vs. PLATAFORMA	0.6106	-0.0886		
	% de Relación entre datos.		37.28%	0.78%
VACÍO Vs. BUQUE	0.2782	0.1408		
	% de Relación entre datos.		7.73%	1.98%

Tabla 33. (Continuación)

<b>PLATAFORMA Vs. BUQUE COMPLETO</b>	-0.0036	-0.2473	 <p>-- Plataforma    -- Buque</p>	 <p>-- Plataforma    -- Buque</p>
	<b>% de Relación entre datos.</b>		0.001%	6.11%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 33, para los casos en los que se compara la antena en vacío con los otros entornos, los datos de la radiación del monopolo en el plano  $\phi = 90^\circ$ , presentan las variaciones más drásticas, con porcentajes de relación de 0.78% y 1.98% para los casos en que se compara la condición ideal (antena en vacío) con las situaciones en las que se varía el entorno. Así como también se aprecia un porcentaje de relación entre datos casi nulo, del 0.001% para el caso en el que  $\phi = 0^\circ$  y se comparan los entornos plataforma Vs buque.

#### 4.1.3.2 Correlación entre Antenas en PEC Vs. Antenas en Cobre

Se analizan los resultados obtenidos para cada antena (HF y VHF) cuando su ubicación es constante y varía el material del que está elaborada la antena (*PEC* ó cobre), con el fin de verificar cómo afecta la caracterización física de la antena su la operación.

- **Antena VHF.**

Tabla 34. Comparación - Dipolo VHF ubicado en vacío, variando el material.

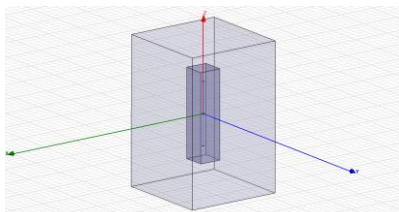
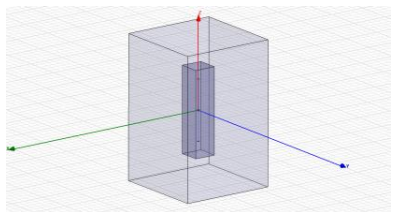
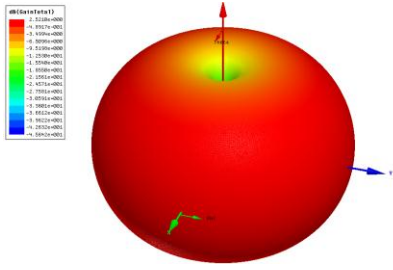
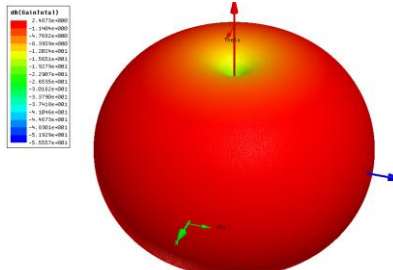
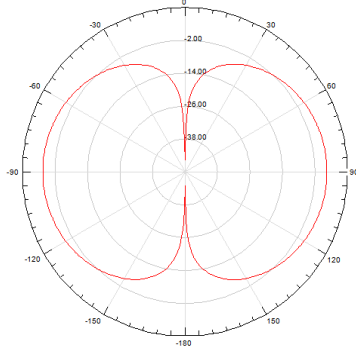
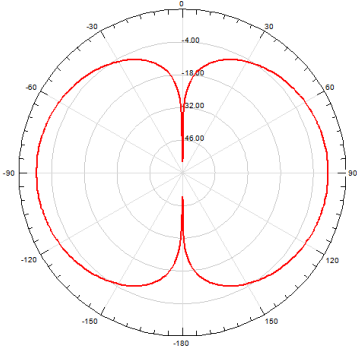
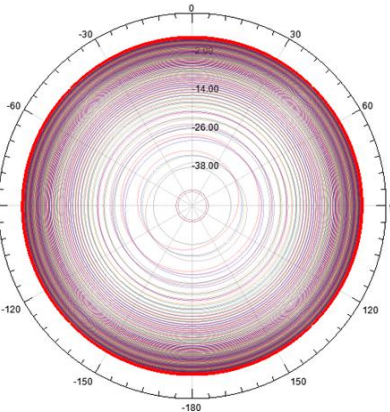
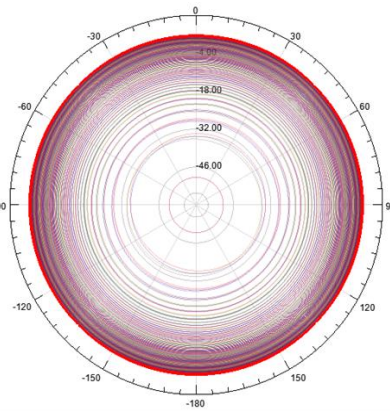
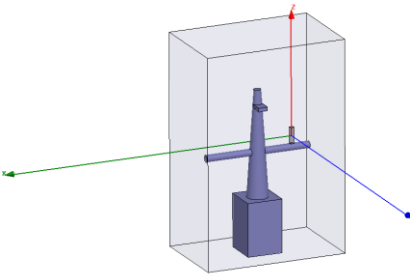
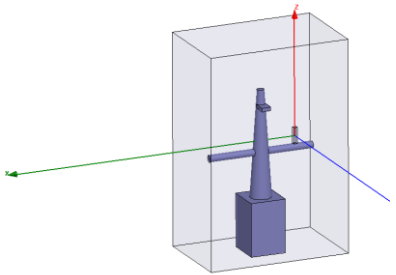
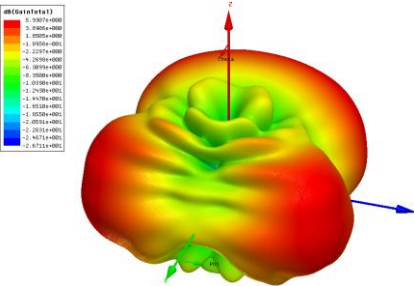
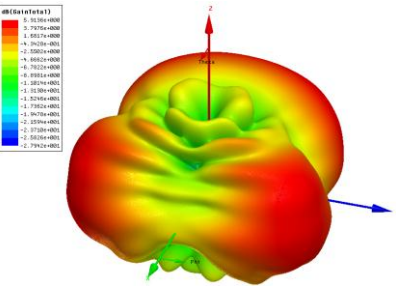
VHF EN VACÍO		
ASPECTO	MATERIAL	
	PEC	COBRE
<b>MODELO 3D</b>		

Tabla 34. (Continuación)

<p><b>PATRON DE RADIACION EN 3D</b></p>		
<p><b>MAX. GANANCIA</b></p>	<p>2.5210 dB</p>	<p>2.4873 dB</p>
<p><b>PATRON DE DISTORSION 2D - ELEVACION</b></p>		
<p><b>PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH</b></p>		

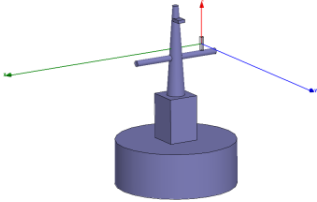
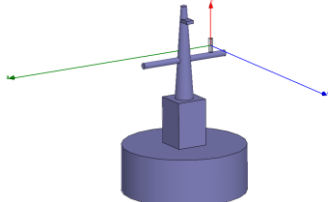
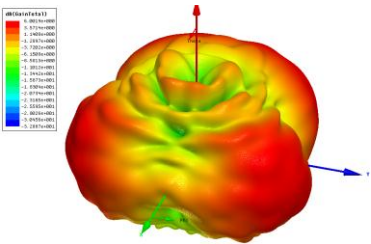
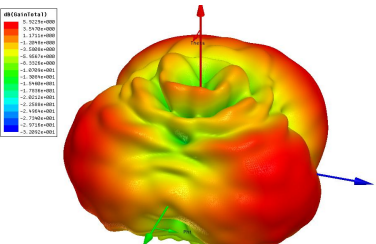
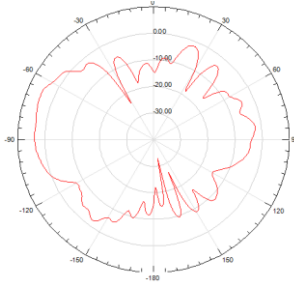
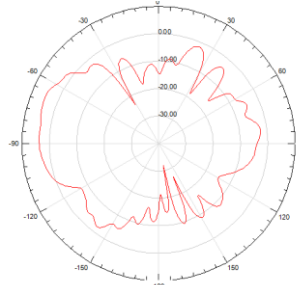
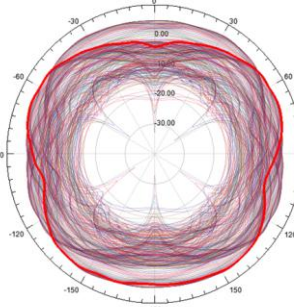
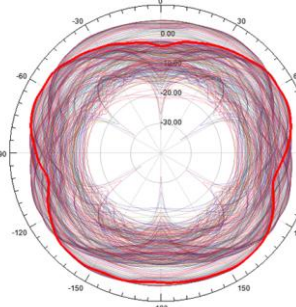
La tabla 34, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del dipolo en vacío, a medida que varía el material del que está elaborado. La ganancia del dipolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.033dB.

Tabla 35. Comparación - Dipolo VHF ubicado en el mástil, variando el material

ASPECTO	VHF EN MÁSTIL	
	PEC	COBRE
MODELO 3D		
PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D	 <div style="font-size: small;"> <p>dB(dBi) (total)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.31071+000</li> <li>0.31064+000</li> <li>0.31057+000</li> <li>-1.01054+001</li> <li>-2.22071+000</li> <li>-4.24088+000</li> <li>-6.26105+000</li> <li>-8.28122+000</li> <li>-10.30139+000</li> <li>-12.32156+000</li> <li>-14.34173+000</li> <li>-16.36190+000</li> <li>-18.38207+000</li> <li>-20.40224+000</li> <li>-22.42241+000</li> <li>-24.44258+000</li> <li>-26.46275+000</li> <li>-28.48292+000</li> <li>-30.50309+000</li> <li>-32.52326+000</li> <li>-34.54343+000</li> <li>-36.56360+000</li> <li>-38.58377+000</li> <li>-40.60394+000</li> <li>-42.62411+000</li> <li>-44.64428+000</li> <li>-46.66445+000</li> <li>-48.68462+000</li> <li>-50.70479+000</li> <li>-52.72496+000</li> <li>-54.74513+000</li> <li>-56.76530+000</li> <li>-58.78547+000</li> <li>-60.80564+000</li> <li>-62.82581+000</li> <li>-64.84598+000</li> <li>-66.86615+000</li> <li>-68.88632+000</li> <li>-70.90649+000</li> <li>-72.92666+000</li> <li>-74.94683+000</li> <li>-76.96700+000</li> <li>-78.98717+000</li> <li>-81.00734+000</li> <li>-83.02751+000</li> <li>-85.04768+000</li> <li>-87.06785+000</li> <li>-89.08802+000</li> <li>-91.10819+000</li> <li>-93.12836+000</li> <li>-95.14853+000</li> <li>-97.16870+000</li> <li>-99.18887+000</li> <li>-101.20904+000</li> <li>-103.22921+000</li> <li>-105.24938+000</li> <li>-107.26955+000</li> <li>-109.28972+000</li> <li>-111.30989+000</li> <li>-113.33006+000</li> <li>-115.35023+000</li> <li>-117.37040+000</li> <li>-119.39057+000</li> <li>-121.41074+000</li> <li>-123.43091+000</li> <li>-125.45108+000</li> <li>-127.47125+000</li> <li>-129.49142+000</li> <li>-131.51159+000</li> <li>-133.53176+000</li> <li>-135.55193+000</li> <li>-137.57210+000</li> <li>-139.59227+000</li> <li>-141.61244+000</li> <li>-143.63261+000</li> <li>-145.65278+000</li> <li>-147.67295+000</li> <li>-149.69312+000</li> <li>-151.71329+000</li> <li>-153.73346+000</li> <li>-155.75363+000</li> <li>-157.77380+000</li> <li>-159.79397+000</li> <li>-161.81414+000</li> <li>-163.83431+000</li> <li>-165.85448+000</li> <li>-167.87465+000</li> <li>-169.89482+000</li> <li>-171.91499+000</li> <li>-173.93516+000</li> <li>-175.95533+000</li> <li>-177.97550+000</li> <li>-179.99567+000</li> <li>-182.01584+000</li> <li>-184.03601+000</li> <li>-186.05618+000</li> <li>-188.07635+000</li> <li>-190.09652+000</li> <li>-192.11669+000</li> <li>-194.13686+000</li> <li>-196.15703+000</li> <li>-198.17720+000</li> <li>-200.19737+000</li> <li>-202.21754+000</li> <li>-204.23771+000</li> <li>-206.25788+000</li> <li>-208.27805+000</li> <li>-210.29822+000</li> <li>-212.31839+000</li> <li>-214.33856+000</li> <li>-216.35873+000</li> <li>-218.37890+000</li> <li>-220.39907+000</li> <li>-222.41924+000</li> <li>-224.43941+000</li> <li>-226.45958+000</li> <li>-228.47975+000</li> <li>-230.50000+000</li> <li>-232.52017+000</li> <li>-234.54034+000</li> <li>-236.56051+000</li> <li>-238.58068+000</li> <li>-240.60085+000</li> <li>-242.62102+000</li> <li>-244.64119+000</li> <li>-246.66136+000</li> <li>-248.68153+000</li> <li>-250.70170+000</li> <li>-252.72187+000</li> <li>-254.74204+000</li> <li>-256.76221+000</li> <li>-258.78238+000</li> <li>-260.80255+000</li> <li>-262.82272+000</li> <li>-264.84289+000</li> <li>-266.86306+000</li> <li>-268.88323+000</li> <li>-270.90340+000</li> <li>-272.92357+000</li> <li>-274.94374+000</li> <li>-276.96391+000</li> <li>-278.98408+000</li> <li>-281.00425+000</li> <li>-283.02442+000</li> <li>-285.04459+000</li> <li>-287.06476+000</li> <li>-289.08493+000</li> <li>-291.10510+000</li> <li>-293.12527+000</li> <li>-295.14544+000</li> <li>-297.16561+000</li> <li>-299.18578+000</li> <li>-301.20595+000</li> <li>-303.22612+000</li> <li>-305.24629+000</li> <li>-307.26646+000</li> <li>-309.28663+000</li> <li>-311.30680+000</li> <li>-313.32697+000</li> <li>-315.34714+000</li> <li>-317.36731+000</li> <li>-319.38748+000</li> <li>-321.40765+000</li> <li>-323.42782+000</li> <li>-325.44799+000</li> <li>-327.46816+000</li> <li>-329.48833+000</li> <li>-331.50850+000</li> <li>-333.52867+000</li> <li>-335.54884+000</li> <li>-337.56901+000</li> <li>-339.58918+000</li> <li>-341.60935+000</li> <li>-343.62952+000</li> <li>-345.64969+000</li> <li>-347.66986+000</li> <li>-349.69003+000</li> <li>-351.71020+000</li> <li>-353.73037+000</li> <li>-355.75054+000</li> <li>-357.77071+000</li> <li>-359.79088+000</li> <li>-361.81105+000</li> <li>-363.83122+000</li> <li>-365.85139+000</li> <li>-367.87156+000</li> <li>-369.89173+000</li> <li>-371.91190+000</li> <li>-373.93207+000</li> <li>-375.95224+000</li> <li>-377.97241+000</li> <li>-379.99258+000</li> <li>-382.01275+000</li> <li>-384.03292+000</li> <li>-386.05309+000</li> <li>-388.07326+000</li> <li>-390.09343+000</li> <li>-392.11360+000</li> <li>-394.13377+000</li> <li>-396.15394+000</li> <li>-398.17411+000</li> <li>-400.19428+000</li> <li>-402.21445+000</li> <li>-404.23462+000</li> <li>-406.25479+000</li> <li>-408.27496+000</li> <li>-410.29513+000</li> <li>-412.31530+000</li> <li>-414.33547+000</li> <li>-416.35564+000</li> <li>-418.37581+000</li> <li>-420.39598+000</li> <li>-422.41615+000</li> <li>-424.43632+000</li> <li>-426.45649+000</li> <li>-428.47666+000</li> <li>-430.49683+000</li> <li>-432.51700+000</li> <li>-434.53717+000</li> <li>-436.55734+000</li> <li>-438.57751+000</li> <li>-440.59768+000</li> <li>-442.61785+000</li> <li>-444.63802+000</li> <li>-446.65819+000</li> <li>-448.67836+000</li> <li>-450.69853+000</li> <li>-452.71870+000</li> <li>-454.73887+000</li> <li>-456.75904+000</li> <li>-458.77921+000</li> <li>-460.79938+000</li> <li>-462.81955+000</li> <li>-464.83972+000</li> <li>-466.85989+000</li> <li>-468.88006+000</li> <li>-470.90023+000</li> <li>-472.92040+000</li> <li>-474.94057+000</li> <li>-476.96074+000</li> <li>-478.98091+000</li> <li>-481.00108+000</li> <li>-483.02125+000</li> <li>-485.04142+000</li> <li>-487.06159+000</li> <li>-489.08176+000</li> <li>-491.10193+000</li> <li>-493.12210+000</li> <li>-495.14227+000</li> <li>-497.16244+000</li> <li>-499.18261+000</li> <li>-501.20278+000</li> <li>-503.22295+000</li> <li>-505.24312+000</li> <li>-507.26329+000</li> <li>-509.28346+000</li> <li>-511.30363+000</li> <li>-513.32380+000</li> <li>-515.34397+000</li> <li>-517.36414+000</li> <li>-519.38431+000</li> <li>-521.40448+000</li> <li>-523.42465+000</li> <li>-525.44482+000</li> <li>-527.46499+000</li> <li>-529.48516+000</li> <li>-531.50533+000</li> <li>-533.52550+000</li> <li>-535.54567+000</li> <li>-537.56584+000</li> <li>-539.58601+000</li> <li>-541.60618+000</li> <li>-543.62635+000</li> <li>-545.64652+000</li> <li>-547.66669+000</li> <li>-549.68686+000</li> <li>-551.70703+000</li> <li>-553.72720+000</li> <li>-555.74737+000</li> <li>-557.76754+000</li> <li>-559.78771+000</li> <li>-561.80788+000</li> <li>-563.82805+000</li> <li>-565.84822+000</li> <li>-567.86839+000</li> <li>-569.88856+000</li> <li>-571.90873+000</li> <li>-573.92890+000</li> <li>-575.94907+000</li> <li>-577.96924+000</li> <li>-579.98941+000</li> <li>-582.00958+000</li> <li>-584.02975+000</li> <li>-586.04992+000</li> <li>-588.07009+000</li> <li>-590.09026+000</li> <li>-592.11043+000</li> <li>-594.13060+000</li> <li>-596.15077+000</li> <li>-598.17094+000</li> <li>-600.19111+000</li> <li>-602.21128+000</li> <li>-604.23145+000</li> <li>-606.25162+000</li> <li>-608.27179+000</li> <li>-610.29196+000</li> <li>-612.31213+000</li> <li>-614.33230+000</li> <li>-616.35247+000</li> <li>-618.37264+000</li> <li>-620.39281+000</li> <li>-622.41298+000</li> <li>-624.43315+000</li> <li>-626.45332+000</li> <li>-628.47349+000</li> <li>-630.49366+000</li> <li>-632.51383+000</li> <li>-634.53400+000</li> <li>-636.55417+000</li> <li>-638.57434+000</li> <li>-640.59451+000</li> <li>-642.61468+000</li> <li>-644.63485+000</li> <li>-646.65502+000</li> <li>-648.67519+000</li> <li>-650.69536+000</li> <li>-652.71553+000</li> <li>-654.73570+000</li> <li>-656.75587+000</li> <li>-658.77604+000</li> <li>-660.79621+000</li> <li>-662.81638+000</li> <li>-664.83655+000</li> <li>-666.85672+000</li> <li>-668.87689+000</li> <li>-670.89706+000</li> <li>-672.91723+000</li> <li>-674.93740+000</li> <li>-676.95757+000</li> <li>-678.97774+000</li> <li>-681.00000+000</li> </ul> </div>	 <div style="font-size: small;"> <p>dB(dBi) (total)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.31100+000</li> <li>0.31094+000</li> <li>0.31088+000</li> <li>-1.01095+001</li> <li>-2.22112+000</li> <li>-4.24129+000</li> <li>-6.26146+000</li> <li>-8.28163+000</li> <li>-10.30180+000</li> <li>-12.32197+000</li> <li>-14.34214+000</li> <li>-16.36231+000</li> <li>-18.38248+000</li> <li>-20.40265+000</li> <li>-22.42282+000</li> <li>-24.44299+000</li> <li>-26.46316+000</li> <li>-28.48333+000</li> <li>-30.50350+000</li> <li>-32.52367+000</li> <li>-34.54384+000</li> <li>-36.56401+000</li> <li>-38.58418+000</li> <li>-40.60435+000</li> <li>-42.62452+000</li> <li>-44.64469+000</li> <li>-46.66486+000</li> <li>-48.68503+000</li> <li>-50.70520+000</li> <li>-52.72537+000</li> <li>-54.74554+000</li> <li>-56.76571+000</li> <li>-58.78588+000</li> <li>-60.80605+000</li> <li>-62.82622+000</li> <li>-64.84639+000</li> <li>-66.86656+000</li> <li>-68.88673+000</li> <li>-70.90690+000</li> <li>-72.92707+000</li> <li>-74.94724+000</li> <li>-76.96741+000</li> <li>-78.98758+000</li> <li>-81.00775+000</li> <li>-83.02792+000</li> <li>-85.04809+000</li> <li>-87.06826+000</li> <li>-89.08843+000</li> <li>-91.10860+000</li> <li>-93.12877+000</li> <li>-95.14894+000</li> <li>-97.16911+000</li> <li>-99.18928+000</li> <li>-101.20945+000</li> <li>-103.22962+000</li> <li>-105.24979+000</li> <li>-107.26996+000</li> <li>-109.29013+000</li> <li>-111.31030+000</li> <li>-113.33047+000</li> <li>-115.35064+000</li> <li>-117.37081+000</li> <li>-119.39098+000</li> <li>-121.41115+000</li> <li>-123.43132+000</li> <li>-125.45149+000</li> <li>-127.47166+000</li> <li>-129.49183+000</li> <li>-131.51200+000</li> <li>-133.53217+000</li> <li>-135.55234+000</li> <li>-137.57251+000</li> <li>-139.59268+000</li> <li>-141.61285+000</li> <li>-143.63302+000</li> <li>-145.65319+000</li> <li>-147.67336+000</li> <li>-149.69353+000</li> <li>-151.71370+000</li> <li>-153.73387+000</li> <li>-155.75404+000</li> <li>-157.77421+000</li> <li>-159.79438+000</li> <li>-161.81455+000</li> <li>-163.83472+000</li> <li>-165.85489+000</li> <li>-167.87506+000</li> <li>-169.89523+000</li> <li>-171.91540+000</li> <li>-173.93557+000</li> <li>-175.95574+000</li> <li>-177.97591+000</li> <li>-179.99608+000</li> <li>-182.01625+000</li> <li>-184.03642+000</li> <li>-186.05659+000</li> <li>-188.07676+000</li> <li>-190.09693+000</li> <li>-192.11710+000</li> <li>-194.13727+000</li> <li>-196.15744+000</li> <li>-198.17761+000</li> <li>-200.19778+000</li> <li>-202.21795+000</li> <li>-204.23812+000</li> <li>-206.25829+000</li> <li>-208.27846+000</li> <li>-210.29863+000</li> <li>-212.31880+000</li> <li>-214.33897+000</li> <li>-216.35914+000</li> <li>-218.37931+000</li> <li>-220.39948+000</li> <li>-222.41965+000</li> <li>-224.43982+000</li> <li>-226.46000+000</li> <li>-228.48017+000</li> <li>-230.50034+000</li> <li>-232.52051+000</li> <li>-234.54068+000</li> <li>-236.56085+000</li> <li>-238.58102+000</li> <li>-240.60119+000</li> <li>-242.62136+000</li> <li>-244.64153+000</li> <li>-246.66170+000</li> <li>-248.68187+000</li> <li>-250.70204+000</li> <li>-252.72221+000</li> <li>-254.74238+000</li> <li>-256.76255+000</li> <li>-258.78272+000</li> <li>-260.80289+000</li> <li>-262.82306+000</li> <li>-264.84323+000</li> <li>-266.86340+000</li> <li>-268.88357+000</li> <li>-270.90374+000</li> <li>-272.92391+000</li> <li>-274.94408+000</li> <li>-276.96425+000</li> <li>-278.98442+000</li> <li>-281.00459+000</li> <li>-283.02476+000</li> <li>-285.04493+000</li> <li>-287.06510+000</li> <li>-289.08527+000</li> <li>-291.10544+000</li> <li>-293.12561+000</li> <li>-295.14578+000</li> <li>-297.16595+000</li> <li>-299.18612+000</li> <li>-301.20629+000</li> <li>-303.22646+000</li> <li>-305.24663+000</li> <li>-307.26680+000</li> <li>-309.28697+000</li> <li>-311.30714+000</li> <li>-313.32731+000</li> <li>-315.34748+000</li> <li>-317.36765+000</li> <li>-319.38782+000</li> <li>-321.40799+000</li> <li>-323.42816+000</li> <li>-325.44833+000</li> <li>-327.46850+000</li> <li>-329.48867+000</li> <li>-331.50884+000</li> <li>-333.52901+000</li> <li>-335.54918+000</li> <li>-337.56935+000</li> <li>-339.58952+000</li> <li>-341.60969+000</li> <li>-343.62986+000</li> <li>-345.65003+000</li> <li>-347.67020+000</li> <li>-349.69037+000</li> <li>-351.71054+000</li> <li>-353.73071+000</li> <li>-355.75088+000</li> <li>-357.77105+000</li> <li>-359.79122+000</li> <li>-361.81139+000</li> <li>-363.83156+000</li> <li>-365.85173+000</li> <li>-367.87190+000</li> <li>-369.89207+000</li> <li>-371.91224+000</li> <li>-373.93241+000</li> <li>-375.95258+000</li> <li>-377.97275+000</li> <li>-379.99292+000</li> <li>-382.01309+000</li> <li>-384.03326+000</li> <li>-386.05343+000</li> <li>-388.07360+000</li> <li>-390.09377+000</li> <li>-392.11394+000</li> <li>-394.13411+000</li> <li>-396.15428+000</li> <li>-398.17445+000</li> <li>-400.19462+000</li> <li>-402.21479+000</li> <li>-404.23496+000</li> <li>-406.25513+000</li> <li>-408.27530+000</li> <li>-410.29547+000</li> <li>-412.31564+000</li> <li>-414.33581+000</li> <li>-416.35598+000</li> <li>-418.37615+000</li> <li>-420.39632+000</li> <li>-422.41649+000</li> <li>-424.43666+000</li> <li>-426.45683+000</li> <li>-428.47700+000</li> <li>-430.49717+000</li> <li>-432.51734+000</li> <li>-434.53751+000</li> <li>-436.55768+000</li> <li>-438.57785+000</li> <li>-440.59802+000</li> <li>-442.61819+000</li> <li>-444.63836+000</li> <li>-446.65853+000</li> <li>-448.67870+000</li> <li>-450.69887+000</li> <li>-452.71904+000</li> <li>-454.73921+000</li> <li>-456.75938+000</li> <li>-458.77955+000</li> <li>-460.79972+000</li> <li>-462.81989+000</li> <li>-464.84006+000</li> <li>-466.86023+000</li> <li>-468.88040+000</li> <li>-470.90057+000</li> <li>-472.92074+000</li> <li>-474.94091+000</li> <li>-476.96108+000</li> <li>-478.98125+000</li> <li>-481.00142+000</li> <li>-483.02159+000</li> <li>-485.04176+000</li> <li>-487.06193+000</li> <li>-489.08210+000</li> <li>-491.10227+000</li> <li>-493.12244+000</li> <li>-495.14261+000</li> <li>-497.16278+000</li> <li>-499.18295+000</li> <li>-501.20312+000</li> <li>-503.22329+000</li> <li>-505.24346+000</li> <li>-507.26363+000</li> <li>-509.28380+000</li> <li>-511.30397+000</li> <li>-513.32414+000</li> <li>-515.34431+000</li> <li>-517.36448+000</li> <li>-519.38465+000</li> <li>-521.40482+000</li> <li>-523.42499+000</li> <li>-525.44516+000</li> <li>-527.46533+000</li> <li>-529.48550+000</li> <li>-531.50567+000</li> <li>-533.52584+000</li> <li>-535.54601+000</li> <li>-537.56618+000</li> <li>-539.58635+000</li> <li>-541.60652+000</li> <li>-543.62669+000</li> <li>-545.64686+000</li> <li>-547.66703+000</li> <li>-549.68720+000</li> <li>-551.70737+000</li> <li>-553.72754+000</li> <li>-555.74771+000</li> <li>-557.76788+000</li> <li>-559.78805+000</li> <li>-561.80822+000</li> <li>-563.82839+000</li> <li>-565.84856+000</li> <li>-567.86873+000</li> <li>-569.88890+000</li> <li>-571.90907+000</li> <li>-573.92924+000</li> <li>-575.94941+000</li> <li>-577.96958+000</li> <li>-579.98975+000</li> <li>-582.00992+000</li> <li>-584.03009+00</li></ul></div>

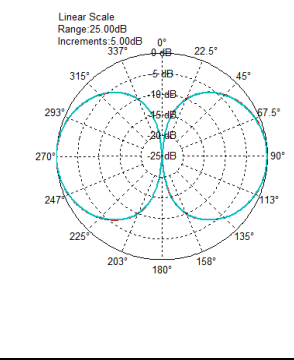
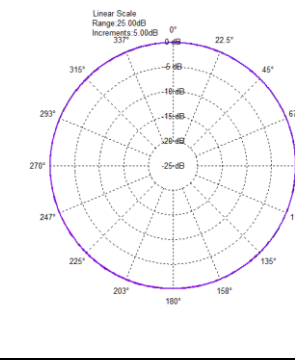
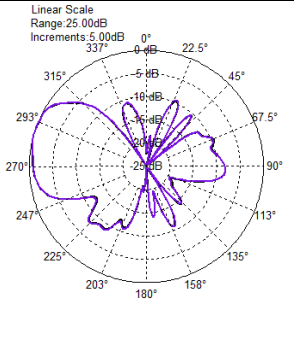
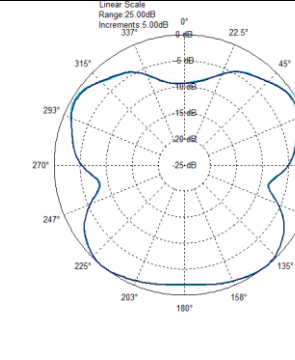
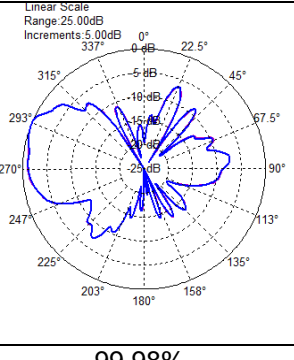
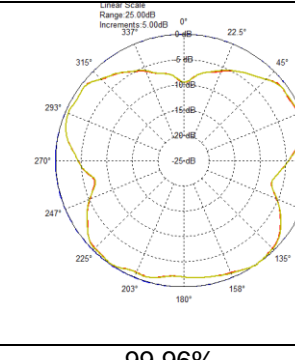
La tabla 35, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del dipolo en el mástil, a medida que varía el material del que está elaborado. La ganancia del dipolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.017dB.

Tabla 36. Comparación - Dipolo VHF ubicado en mástil + plataforma, variando el material.

VHF EN MÁSTIL+PLATAFORMA		
ASPECTO	MATERIAL	
	PEC	COBRE
MODELO 3D		
PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D		
MAX. GANANCIA	6.0019 dB	5.9229 dB
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACIÓN		
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH		

La tabla 36, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del dipolo en el mástil + plataforma, a medida que varía el material del que está elaborado. La ganancia del dipolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.079dB.

Tabla 37. Correlación para el dipolo VHF PEC Vs COBRE, en sus diferentes entornos.

DIPOLO VHF PEC Vs COBRE				
UBICACION	RESULTADOS			
	Coef. Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
VACÍO	0.9979	0.9976		
	% de Relación entre datos.		99.58%	99.52%
MÁSTIL	0.9985	0.9996		
	% de Relación entre datos.		99.97%	99.92%
MÁSTIL + PLATAFORMA	0.9999	0.9998		
	% de Relación entre datos.		99.98%	99.96%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 37, para los casos en los que se compara la antena en *PEC* con la misma antena en cobre, los datos de la radiación del dipolo tanto en el plano  $\phi = 0^\circ$  como en el plano  $\phi = 90^\circ$  presentan las variaciones poco drásticas, con porcentajes de relación entre 99.52% y 99.98%.

- Antena HF.

Tabla 38. Comparación - Monopolo HF ubicado en vacío, variando el material.

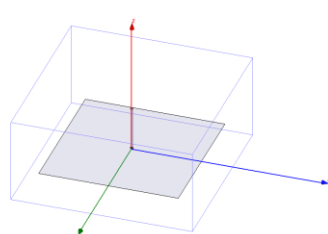
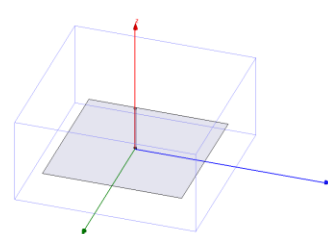
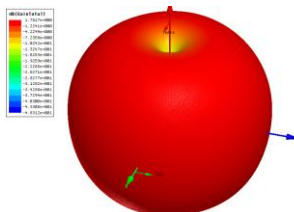
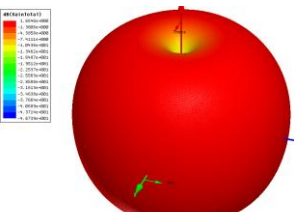
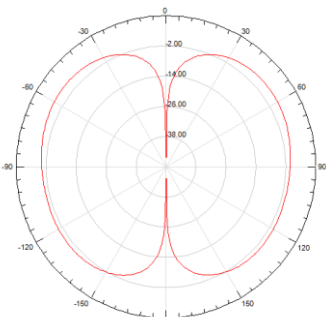
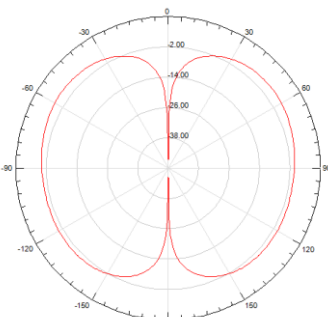
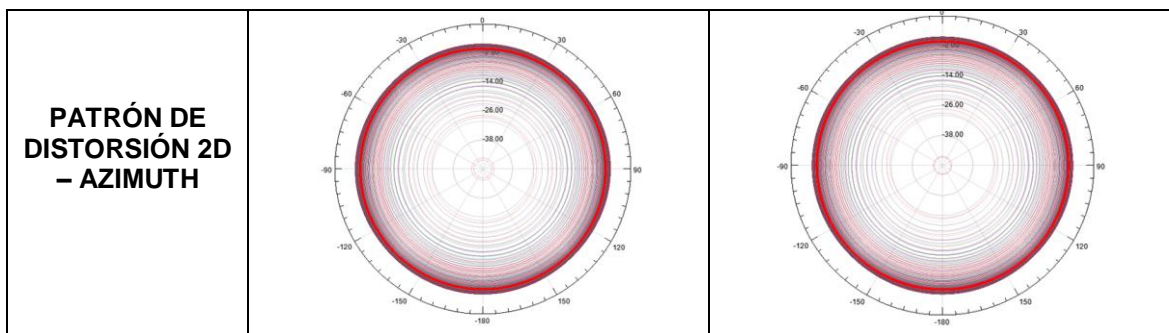
HF EN VACÍO		
ASPECTO	MATERIAL	
	PEC	COBRE
MODELO 3D		
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D		
MAX. GANANCIA	1.7817 dB	1.6646dB
PATRON DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACIÓN		



Tabla 38. (Continuación)



La tabla 38 , muestra la variación en el patrón de radiación 3D del monopolo en el vacío, a medida que varía el material del que está elaborado. La ganancia del monopolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.117dB.

Tabla 39. Comparación - Monopolo HF ubicado en Plataforma, variando el material.

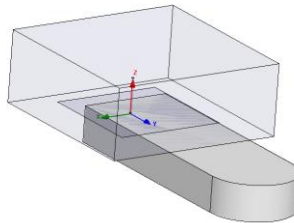
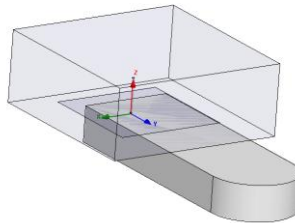
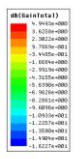
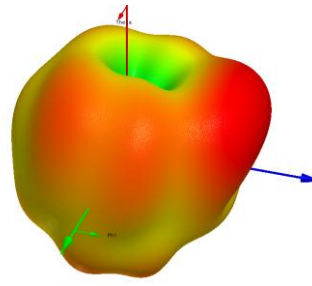
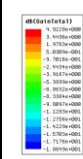
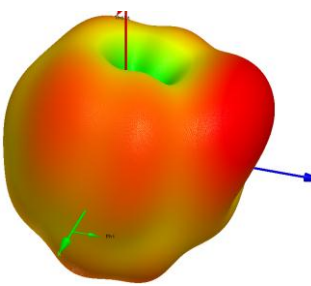
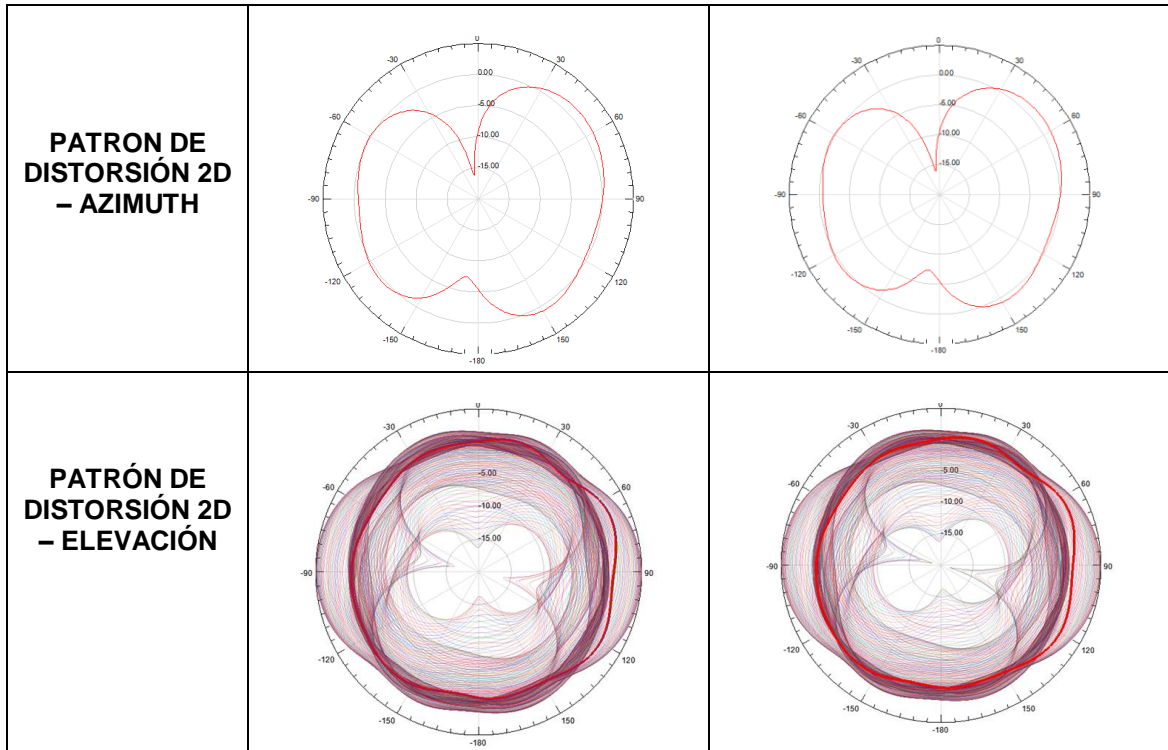
HF EN PLATAFORMA		
ASPECTO	MATERIAL	
MODELO 3D	<p style="text-align: center;"><b>PEC</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>COBRE</b></p> 
	<p><b>PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="568 1344 649 1501"> <p><b>dB(GainFactor)</b></p>  </div> <div data-bbox="665 1344 974 1627">  </div> <div data-bbox="1006 1344 1088 1501"> <p><b>dB(GainFactor)</b></p>  </div> <div data-bbox="1104 1344 1412 1627">  </div> </div>
<p><b>MAX. GANANCIA</b></p>	<p style="text-align: center;">4.9493 dB</p>	<p style="text-align: center;">4.9228 dB</p>

Tabla 39. (Continuación)



La tabla 39, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del monopolo en la plataforma, a medida que varía el material del que está elaborado. La ganancia del monopolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.026dB.

Tabla 40. Comparación - Monopolo HF ubicado en el buque, variando el material.

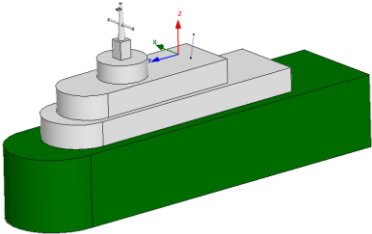
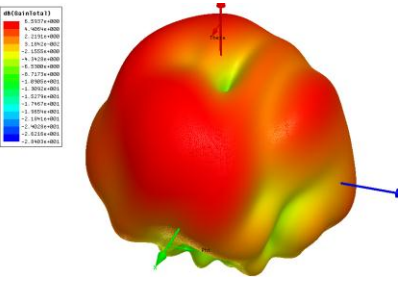
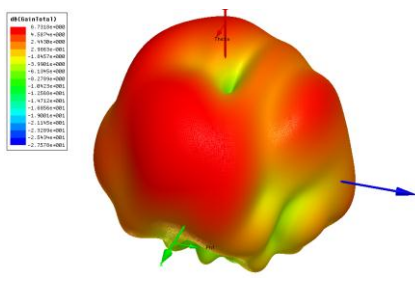
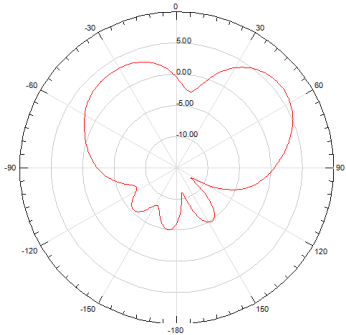
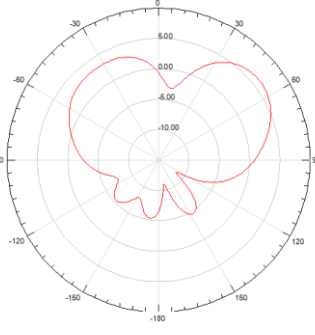
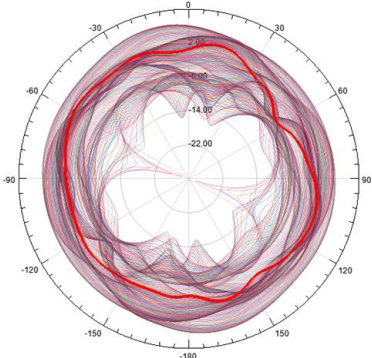
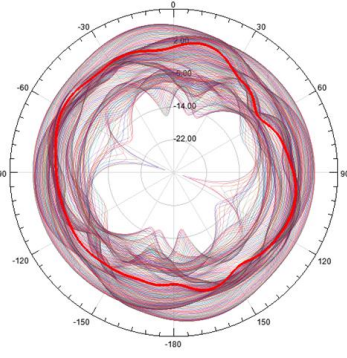
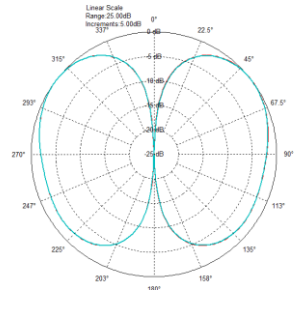
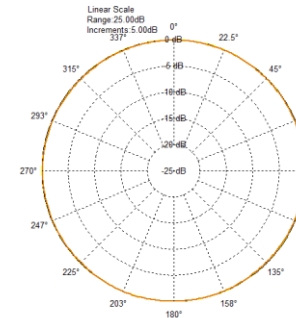
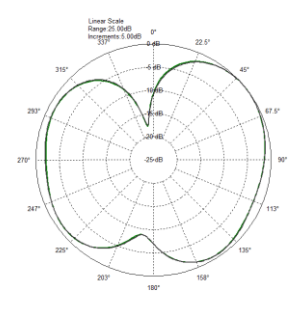
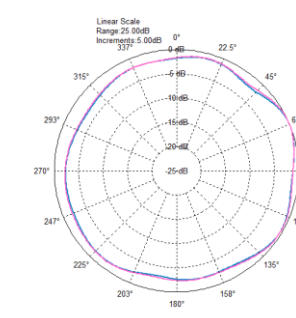
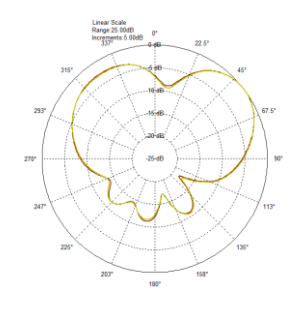
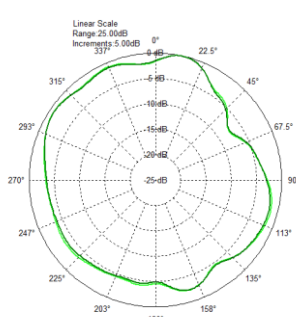
HF EN BUQUE		
ASPECTO	MATERIAL	
	PEC	COBRE
	<p><b>MODELO 3D</b></p>	

Tabla 40. (Continuación)

<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>		
<p><b>MAX. GANANCIA</b></p>	<p>6.5937 dB</p>	<p>6.7318 dB</p>
<p><b>PATRON DE DISTORSIÓN 2D – ELEVACIÓN</b></p>		
<p><b>PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>		

La tabla 40, muestra la variación en el patrón de radiación 3D del monopolo en el buque, a medida que varía el material del que está elaborado. La ganancia del monopolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.138dB.

Tabla 41. Correlación para el Monopolo HF *PEC* Vs COBRE, para las diferentes entornos.

MONOPOLO HF <i>PEC</i> Vs COBRE				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
	Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
VACÍO	0.9995	0.9403		
	% de Relación entre datos.		99.90%	88.41%
PLATAFORMA	0.9992	0.9929		
	% de Relación entre datos.		99.84%	98.58%
BUQUE	0.9989	0.9944		
	% de Relación entre datos.		99.78%	98.88%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 41, para los casos en los que se compara la antena en *PEC* con la misma antena en cobre, los datos de la

radiación del monopolo tanto en el plano  $\phi = 0^\circ$  como en el plano  $\phi = 90^\circ$  presentan las variaciones poco drásticas, con porcentajes de relación entre 88.41% y 99.90%.

#### 4.1.3 Correlación entre datos cuando varias antenas HF y VHF en PEC Vs COBRE operan simultáneamente.

Se analizan los resultados obtenidos para cada arreglo de antenas (HF y VHF) variando el material del que están elaboradas las antenas (PEC ó cobre)

Tabla 42. Comparación - Arreglo de antenas HF sobre el buque a 3m de separación, variando el material.

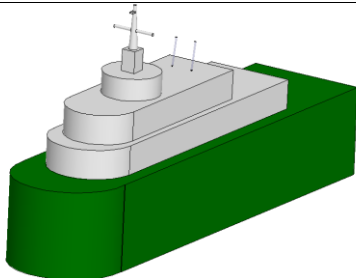
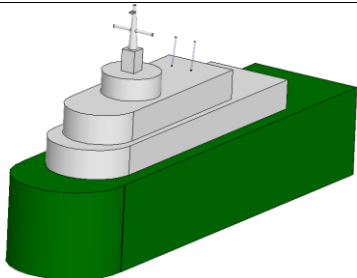
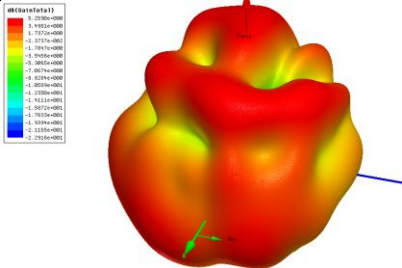
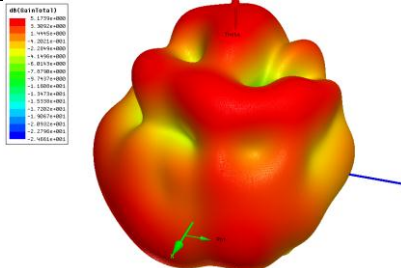
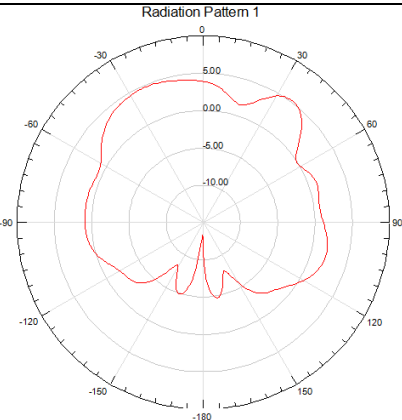
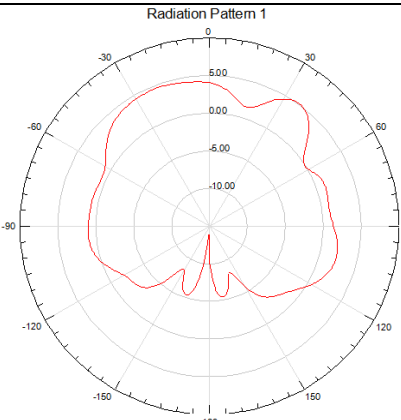
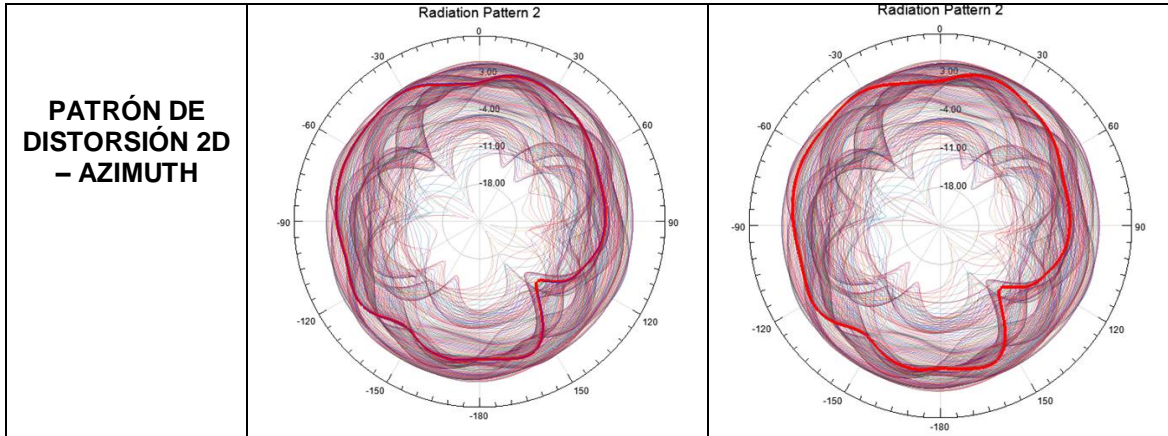
ANTENAS HF EN BUQUE. SEPARACIÓN DE 3m		
ASPECTO	MATERIAL	
	PEC	COBRE
MODELO 3D		
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D		
MAX. GANANCIA	5.2590 dB	5.1739 dB
PATRON DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACIÓN		

Tabla 42. (Continuación)



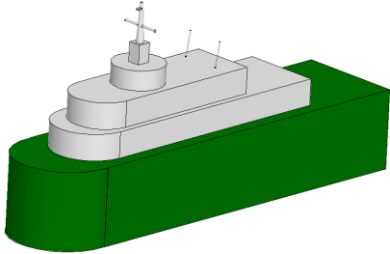
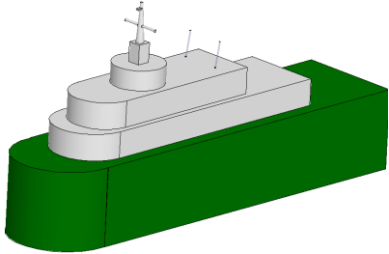
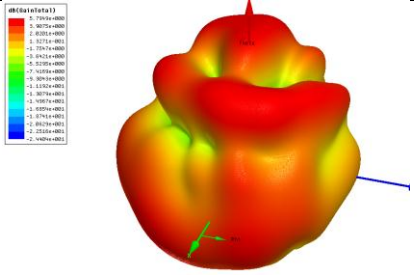
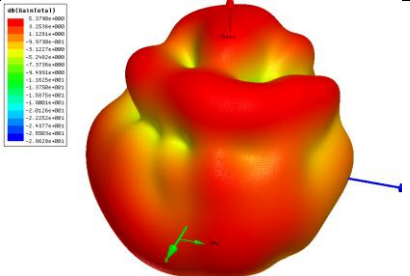
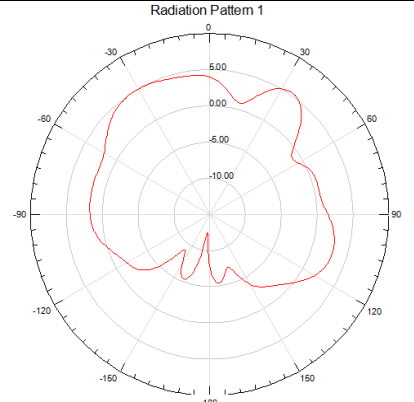
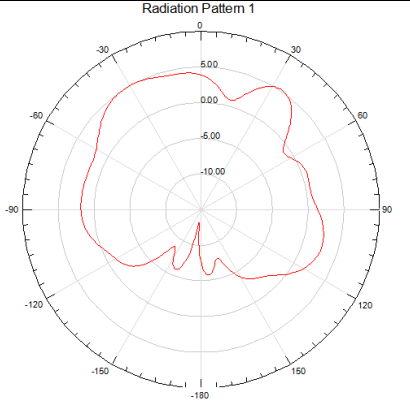
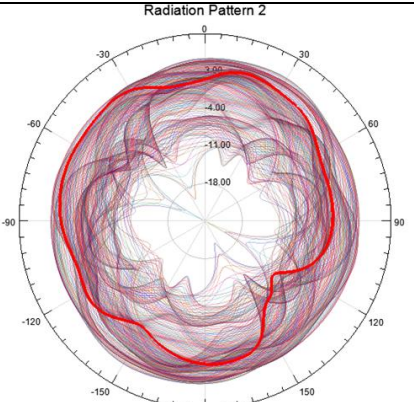
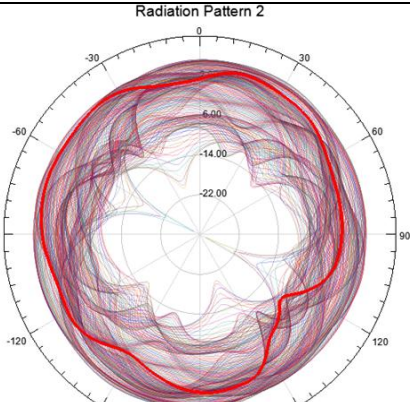
La tabla 42, muestra la variación en el patrón de radiación 3D de uno de los monopolos en el buque, cuando hay un arreglo de dos de ellos separados 3 metros uno del otro. La simulación se realiza para dos condiciones diferentes: cuando las antenas están en *PEC* y cuando están en *COBRE*. La ganancia del monopolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.085dB.

Tabla 43. Correlación para Monopolos HF *PEC* Vs *COBRE* ubicados en el buque separados 3m.

MONOPOLOS HF <i>PEC</i> Vs <i>COBRE</i> SEPARADOS 3m				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
	Coef. Correlación		Gráfica	
BUQUE	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
	0.9990	0.9992		
	% de Relación entre datos.		99.80%	99.84%

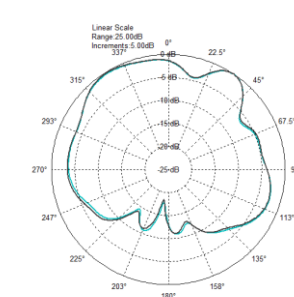
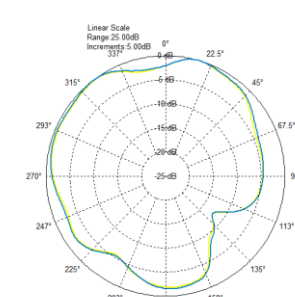
A partir de los resultados mostrados en la tabla 43, para el caso en que se compara la antena en *PEC* con la misma antena en cobre, los datos de la radiación del monopolo tanto en el plano  $\phi = 0^\circ$  como en el plano  $\phi = 90^\circ$  presentan variaciones poco drásticas, con porcentajes de relación de 99.80% y 99.84%.

Tabla 44. Comparación - Arreglo de antenas HF a 6m sobre el buque. Separadas 6m.

ANTENAS HF EN BUQUE. SEPARCIÓN DE 6m		
ASPECTO	MATERIAL	
	PEC	COBRE
MODELO 3D		
PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D		
MAX. GANANCIA	5.7949 dB	5.3790 dB
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - ELEVACIÓN		
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D - AZIMUTH		

La tabla 44, muestra la variación en el patrón de radiación 3D de uno de los monopolos en el buque, cuando hay un arreglo de dos de ellos separados 6 metros uno del otro. La simulación también se realiza para dos condiciones diferentes: cuando las antenas están en *PEC* y cuando están en *COBRE*. La ganancia del monopolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.415dB.

Tabla 45. Correlación para Monopolos HF *PEC* Vs *COBRE* ubicados en el buque separados 6m.

MONOPOLOS HF <i>PEC</i> Vs <i>COBRE</i> SEPARADOS 6m				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
BUQUE	Coef. Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
	0.9970	0.9984		
% de Relación entre datos.		99.40%	99.68%	

A partir de los resultados mostrados en la tabla 37, para los casos en los que se compara la antena en *PEC* con la misma antena en cobre, los datos de la radiación del monopolo tanto en el plano  $\phi = 0^\circ$  como en el plano  $\phi = 90^\circ$  presentan las variaciones poco drásticas, con porcentajes de relación de 99.40% y 99.68%.

Tabla 46. Comparación - Arreglo de antenas HF separadas 6m y VHF sobre el buque. Influencia sobre monopolo HF.

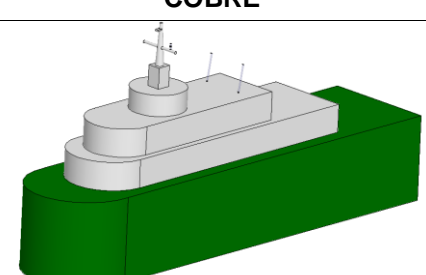
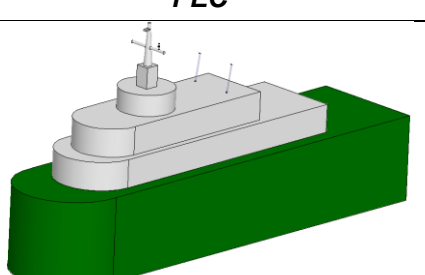
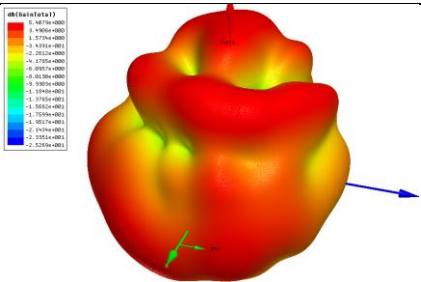
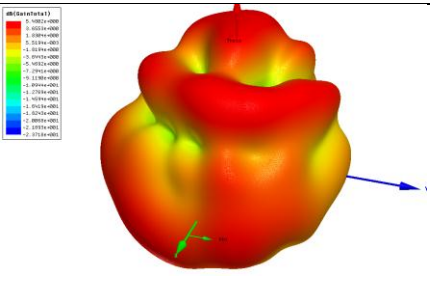
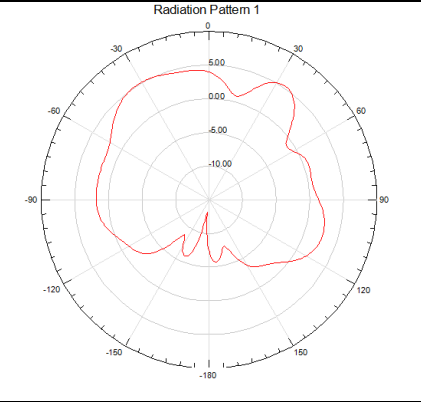
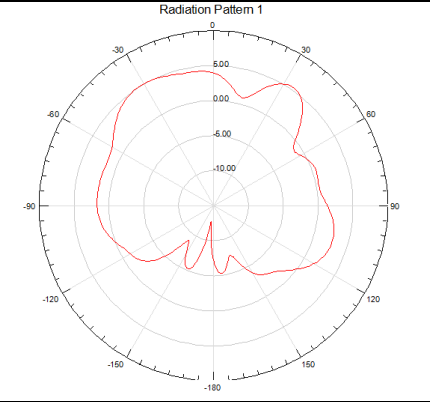
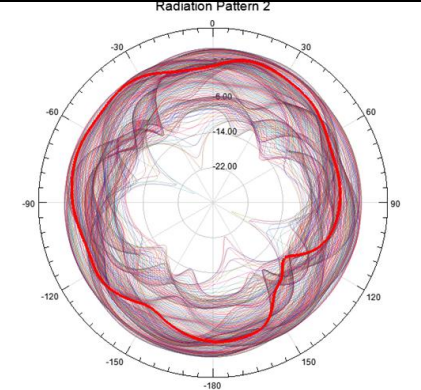
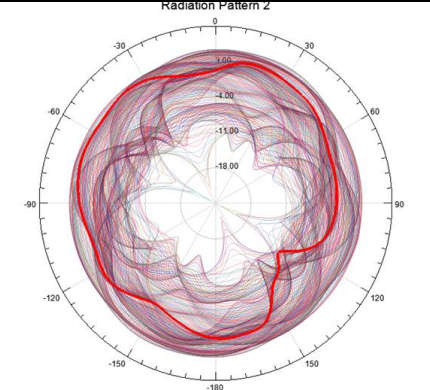
ANTENAS HF Y VHF SOBRE BUQUE – INFLUENCIA SOBRE MONOPOLO HF		
ASPECTO	MATERIAL	
MODELO 3D	COBRE	<i>PEC</i>
		

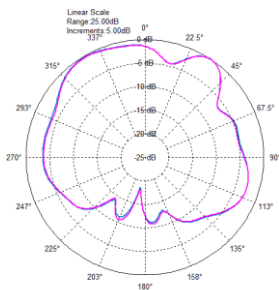
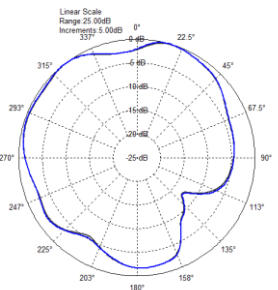


Tabla 46. (Continuación)

<p><b>PATRON DE RADIACIÓN EN 3D</b></p>		
<p><b>MAX. GANANCIA</b></p>	<p>5.4079 dB</p>	<p>5.4802 dB</p>
<p><b>PATRON DE DISTORSIÓN 2D – ELEVACIÓN</b></p>		
<p><b>PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D – AZIMUTH</b></p>		

La tabla 46, muestra la variación en el patrón de radiación 3D de uno de los monopolos en el buque, cuando hay un arreglo de dos de ellos separados 6 metros uno del otro y un dipolo VHF ubicado a 13 metros de los monopolos. La simulación también se realiza para dos condiciones diferentes: cuando las antenas están en *PEC* y cuando están en *COBRE*. La ganancia del monopolo en Cobre se ve ligeramente afectada por el material de la antena, siendo la diferencia de tan sólo 0.072dB.

Tabla 47. Correlación para Monopolos HF separados 6m y dipolo VHF PEC Vs COBRE ubicados en el buque. Influencia sobre el dipolo VHF

MONOPOLOS HF Y DIPOLO VHF PEC Vs COBRE – INFLUENCIA SOBRE MONOPOLO HF				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
BUQUE	Coef. Correlación		Gráfica	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
	0.9988	0.9994		
	% de Relación entre datos.		99.76%	99.88%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 47, para los casos en los que se compara la antena en PEC con la misma antena en cobre, los datos de la radiación del monopolo tanto en el plano  $\phi = 0^\circ$  como en el plano  $\phi = 90^\circ$  presentan variaciones poco drásticas, con porcentajes de relación de 99.76% y 99.88%.

Tabla 48. Variación del patrón de radiación y de la ganancia de la antena HF en PEC.

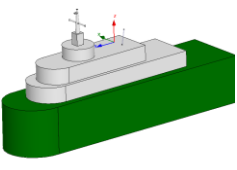
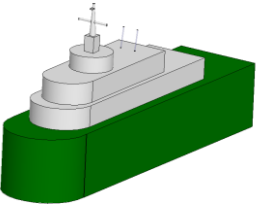
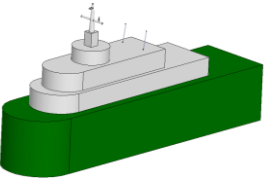
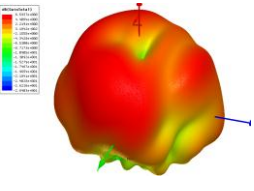
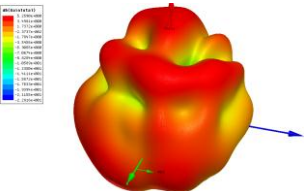
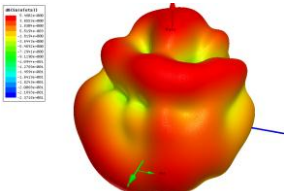
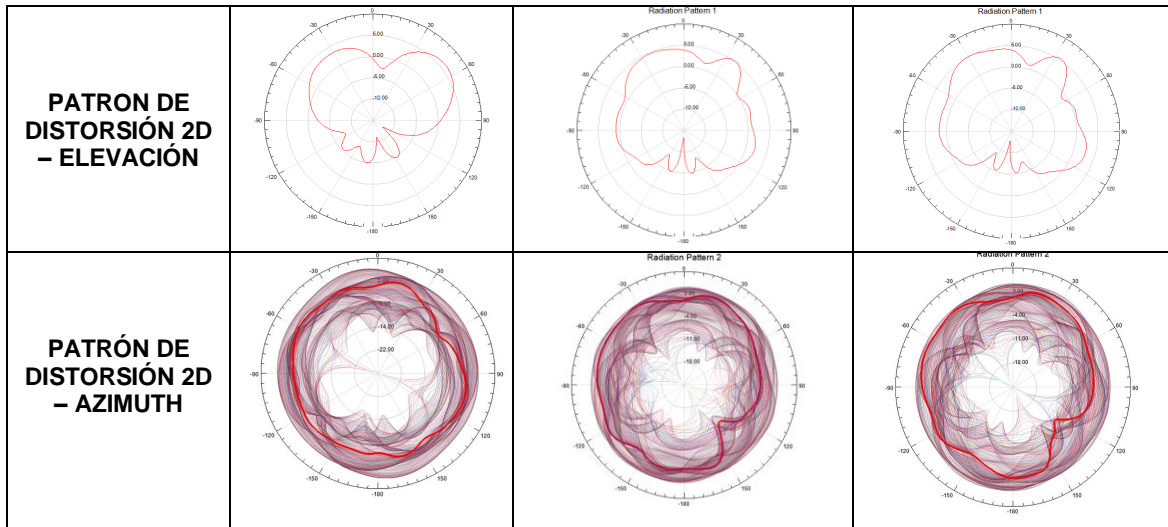
VARIACIÓN PATRON DE RADIACIÓN Y GANANCIA DE LA ANTENA HF en PEC			
ASPECTO	DESCRIPCIÓN		
	Monopolo sobre buque	Monopolos separados 3m	Monopolos separados 6m + dipolo
MODELO 3D			
PATRON DE RADIACIÓN EN 3D			
MAX. GANANCIA	6.5937 dB	5.2590 dB	5.4802 dB

Tabla 48. (Continuación)

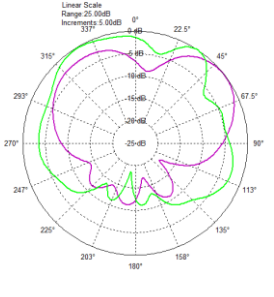
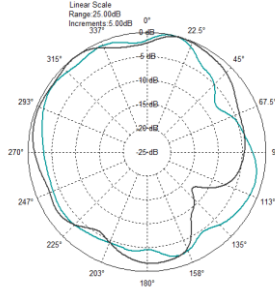
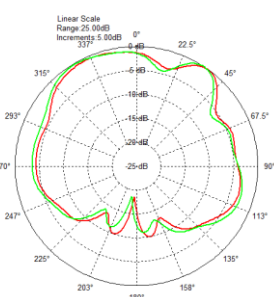
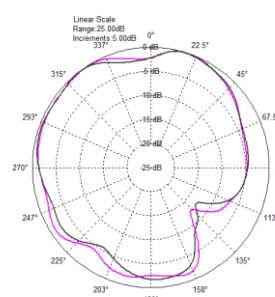


La tabla 48, muestra la variación del patrón de radiación de la antena HF en *PEC* y la disminución en la ganancia, como consecuencia de la operación de otras antenas en su entorno. La ganancia pasa de ser 6.5937dB a 5.2590dB, una diferencia de 1.3dB aproximadamente. Es importante resaltar que la ganancia aumenta a medida que aumenta la separación entre los dipolos, lo que se demuestra por el incremento de la ganancia, que pasa de ser 5.2590dB a 5.4802dB cuando la distancia entre las antenas HF pasa de 3m a 6m respectivamente.

Tabla 49. Correlación entre datos para de la antena HF, cuando varias antenas están ubicadas sobre el buque

MONOPOLO HF Y OTRAS ANTENAS EN <i>PEC</i> UBICADAS EN EL BUQUE				
UBICACIÓN	RESULTADOS			
	Correlación		Gráfica	
<p><b>HF Vs. HF separadas 3m</b></p>	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
	0.6814	0.2500		
	% de Relación entre datos.		46.43%	6.25%

Tabla 49. (Continuación).

HF Vs. HF separadas 6m	0.6321	0.2225	 <p>Linear Scale Range 25.00dB Increment 5.00dB 337°</p> <p>0° 22.5° 45° 67.5° 90° 113° 135° 158° 180° 203° 225° 247° 270° 293° 315°</p> <p>-- HF -- HF a 6 metros</p>	 <p>Linear Scale Range 25.00dB Increment 5.00dB 337°</p> <p>0° 22.5° 45° 67.5° 90° 113° 135° 158° 180° 203° 225° 247° 270° 293° 315°</p> <p>-- HF -- HF a 6 metros</p>
	% de Relación entre datos.		39.95%	4.95%
HF separadas 3m Vs. HF separadas 6m	0.9635	0.9552	 <p>Linear Scale Range 25.00dB Increment 5.00dB 337°</p> <p>0° 22.5° 45° 67.5° 90° 113° 135° 158° 180° 203° 225° 247° 270° 293° 315°</p> <p>-- HF a 3metros -- HF a 6 metros</p>	 <p>Linear Scale Range 25.00dB Increment 5.00dB 337°</p> <p>0° 22.5° 45° 67.5° 90° 113° 135° 158° 180° 203° 225° 247° 270° 293° 315°</p> <p>-- HF a 3metros -- HF a 6 metros</p>
	% de Relación entre datos.		92.83%	91.24%

A partir de la tabla 49, es posible evidenciar que la mayor variación entre los datos se presenta para el plano  $\phi = 90^\circ$ , los casos en que se compara la antena HF sola, ubicada sobre el buque, Vs los casos en que hay más antenas, teniendo porcentajes de relación entre datos de tan solo 6.25% y 4.95%.

Figura 12. Comparación de los patrones de radiación 2D de elevación (izquierda) y azimuth (derecha), de los tres casos expuestos en la tabla 48.

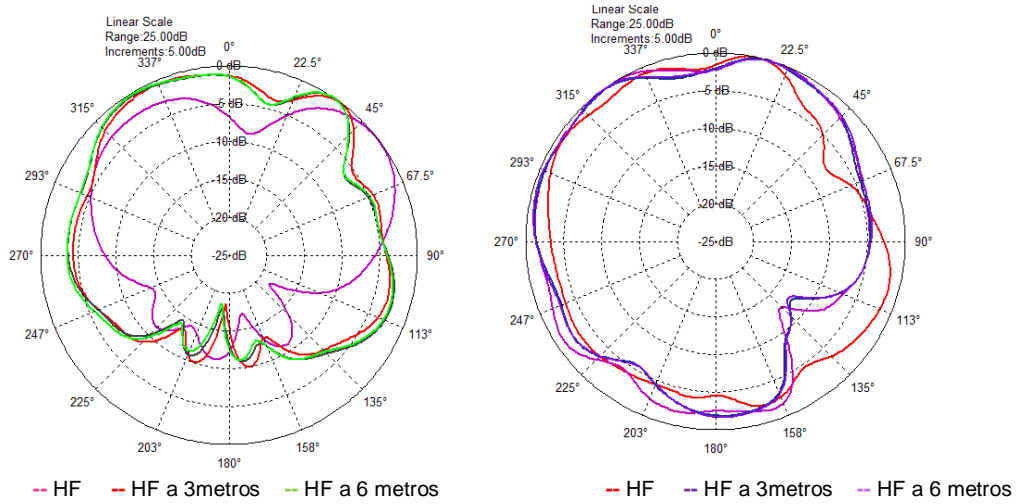
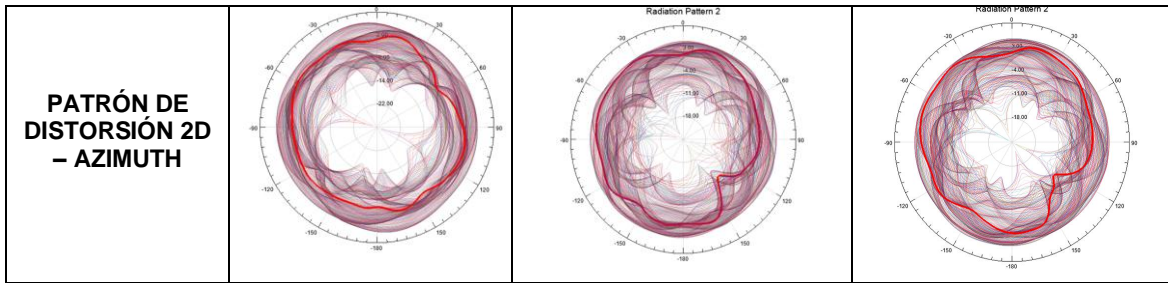


Tabla 50. Variación del patrón de radiación y de la ganancia de la antena HF en cobre.

VARIACIÓN PATRON DE RADIACIÓN Y GANANCIA DE LA ANTENA HF en COBRE			
ASPECTO	DESCRIPCIÓN		
	Monopolo sobre buque	Monopolos separados 3m	Monopolos separados 6m + dipolo
MODELO 3D			
PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D			
MAX. GANANCIA	6.7318 dB	5.1739 dB	5.4079 dB
PATRÓN DE DISTORSIÓN 2D – ELEVACIÓN			

Tabla 50. (Continuación)

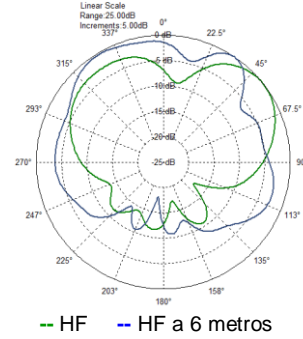
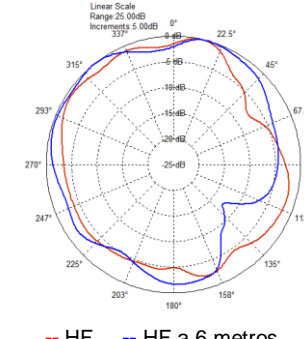
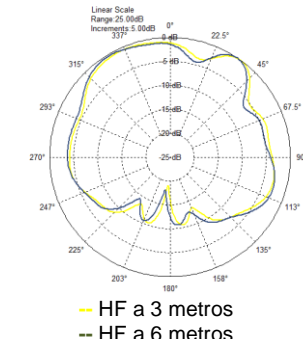
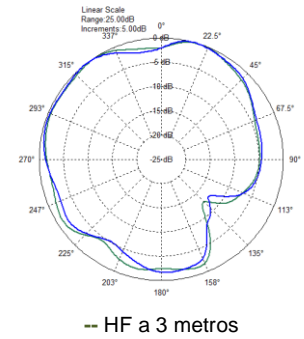


La tabla 50 muestra la variación del patrón de radiación de la antena HF en Cobre y la disminución en la ganancia, como consecuencia de la operación de otras antenas en su entorno. La ganancia pasa de ser 6.7318 dB a 5.1739dB, una diferencia de 1.5dB aproximadamente. Para este caso también es evidente que la ganancia aumenta a medida que aumenta la separación entre los dipolos, lo que se demuestra por el incremento de la ganancia, que pasa de ser 5.1739dB a 5.4079dB cuando la distancia entre las antenas HF pasa de 3m a 6m respectivamente.

Tabla 51. Correlación entre datos para de la antena HF, cuando varias antenas están ubicadas sobre el buque.

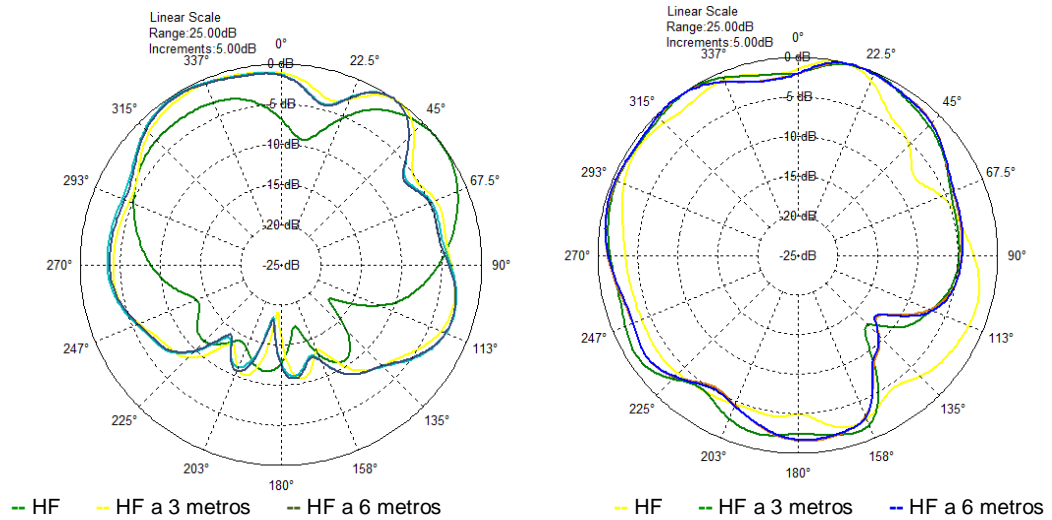
<b>MONOPOLO HF Y OTRAS ANTENAS EN COBRE UBICADAS EN EL BUQUE</b>				
<b>UBICACIÓN</b>	<b>RESULTADOS</b>			
<b>HF Vs. HF separadas 3m</b>	<b>Correlación</b>		<b>Gráfica</b>	
	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$
	0.6847	0.2315		
	<b>% de Relación entre datos.</b>		46.88%	5.35%

Tabla 51. (Continuación)

<b>HF Vs. HF separadas 6m</b>	0.6432	0.2219	 -- HF -- HF a 6 metros	 -- HF -- HF a 6 metros
	<b>% de Relación entre datos.</b>		<b>41.37%</b>	<b>4.92%</b>
<b>HF separadas 3m Vs. HF separadas 6m</b>	0.9799	0.9603	 -- HF a 3 metros -- HF a 6 metros	 -- HF a 3 metros -- HF a 6 metros
	<b>% de Relación entre datos.</b>		<b>96.02%</b>	<b>92.21%</b>

A partir de la tabla 51, es posible evidenciar que la mayor variación entre los datos se presenta para el plano  $\phi = 90^\circ$ , los casos en que se compara la antena HF sola, ubicada sobre el buque, Vs los casos en que hay mas antenas, teniendo porcentajes de relación entre datos de tan solo 5.35% y 4.92%.

Figura 13. Comparación de los patrones de radiación 2D de elevación (izquierda) y azimuth (derecha), de los tres casos expuestos en la tabla 50.



## 4.2 ANÁLISIS DE CAMPOS ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO Y CORRIENTES INDUCIDAS.

En esta sección se analizan los resultados de campos Eléctrico y magnético, así como también la corriente superficial en el casco del buque, para ambas antenas en *PEC* y *COBRE*, cuando se encuentran en ubicadas en el buque. Se muestran los valores e imágenes obtenidas para cada caso.

### 4.2.1 Antena VHF

Figura 14. Corriente superficial de la Antena VHF – *PEC* ubicada sobre mástil + plataforma

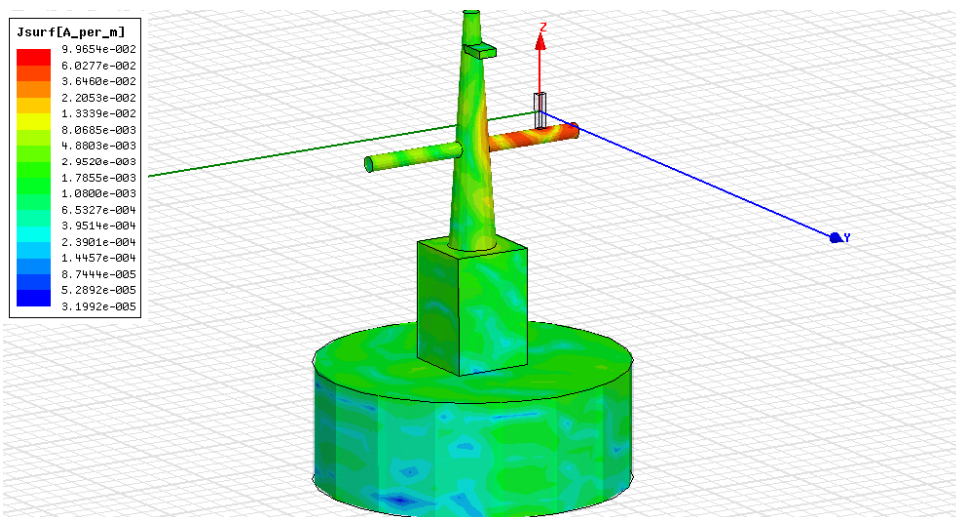
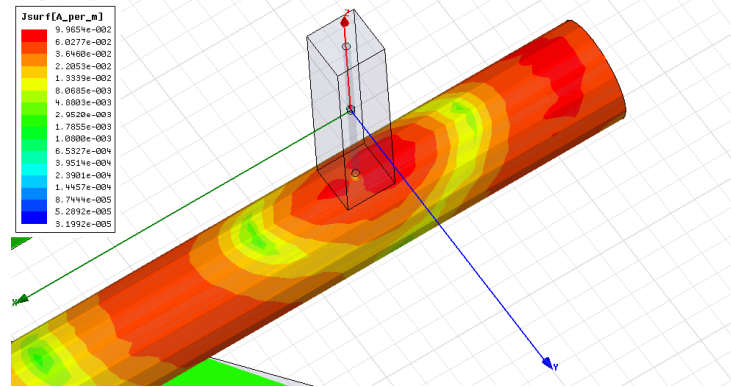


Figura 14. (Continuación)





La Figura 14, muestra la corriente superficial que se induce sobre el casco del buque como consecuencia de la energía radiada por el dipolo en *PEC*. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2.5 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de corriente superficial es de 0.099654 A/m.

Figura 15. Campo eléctrico generado por la Antena VHF – *PEC* ubicada sobre mástil + plataforma

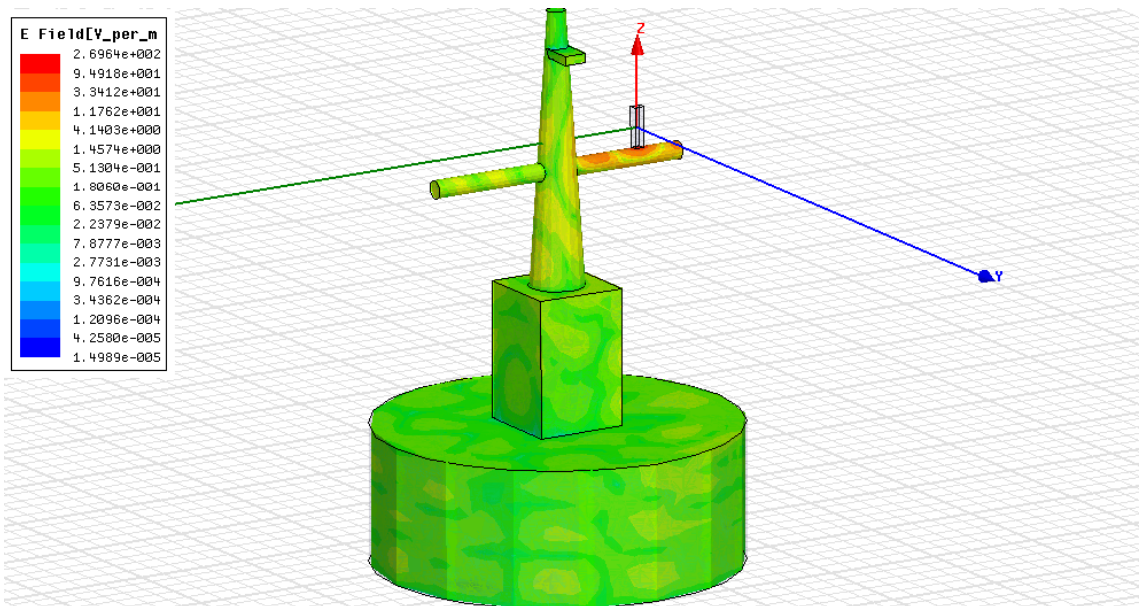
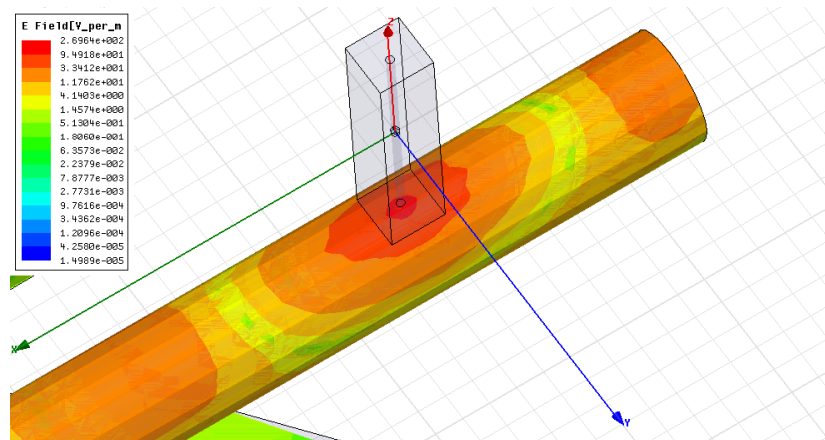


Figura 15. (Continuación)



La Figura 15, muestra la distribución de campo eléctrico alrededor de la antena en *PEC*. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2.5 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo eléctrico se presenta unos 10 cm alrededor de la base de la antena y es de 269.64 V/m.

Figura 16. Campo magnético generado por la Antena VHF – *PEC* ubicada sobre mástil + plataforma

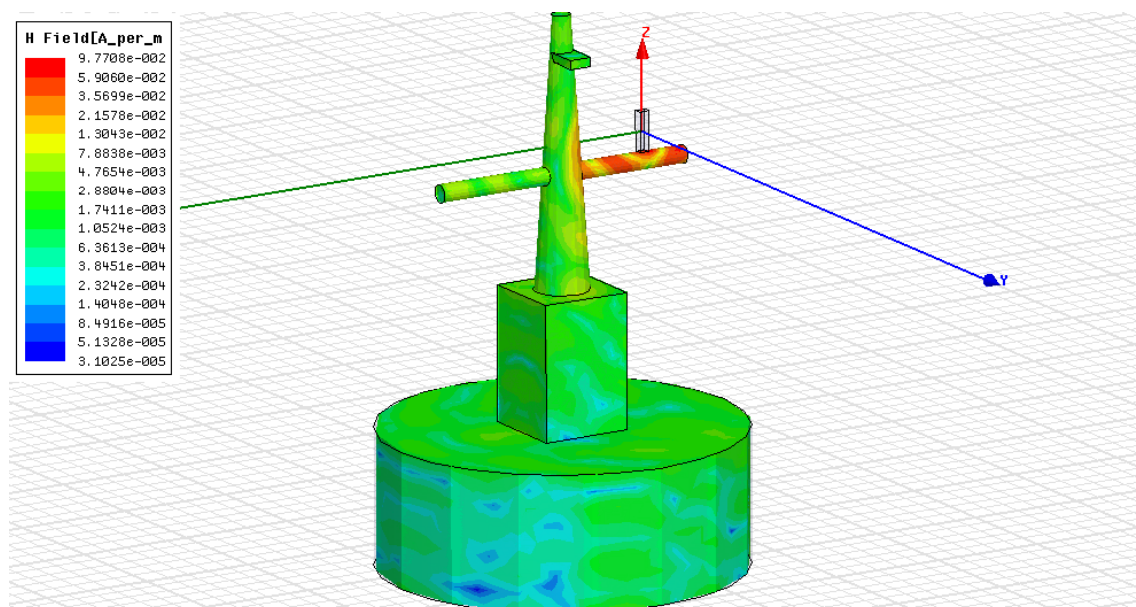
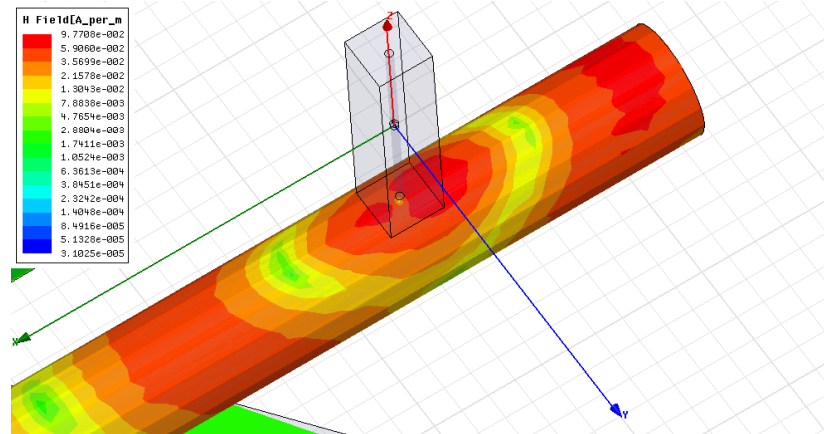


Figura 16. (Continuación)



La Figura 16, muestra la distribución de campo magnético alrededor de la antena en *PEC*. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2.5 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo magnético es de 0.097708 A/m.

Figura 17. Corriente superficial de la Antena VHF – COBRE ubicada sobre mástil + plataforma

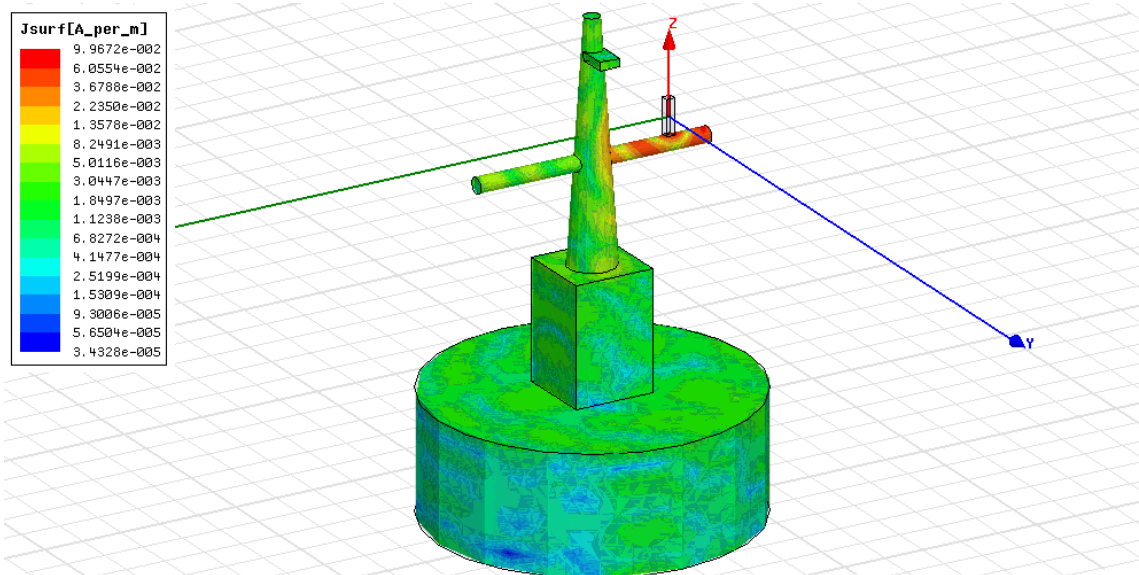
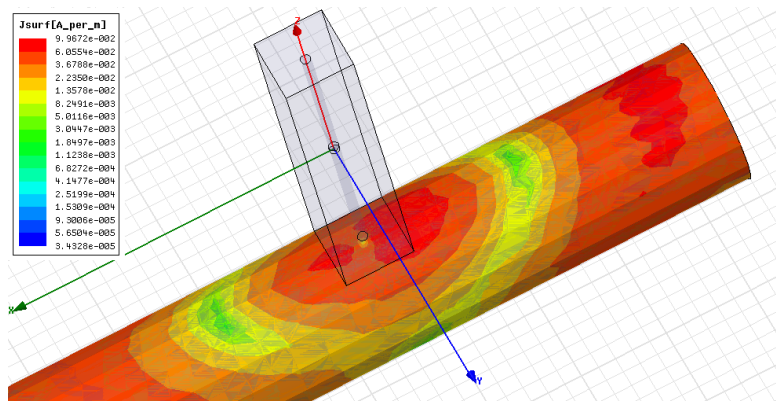
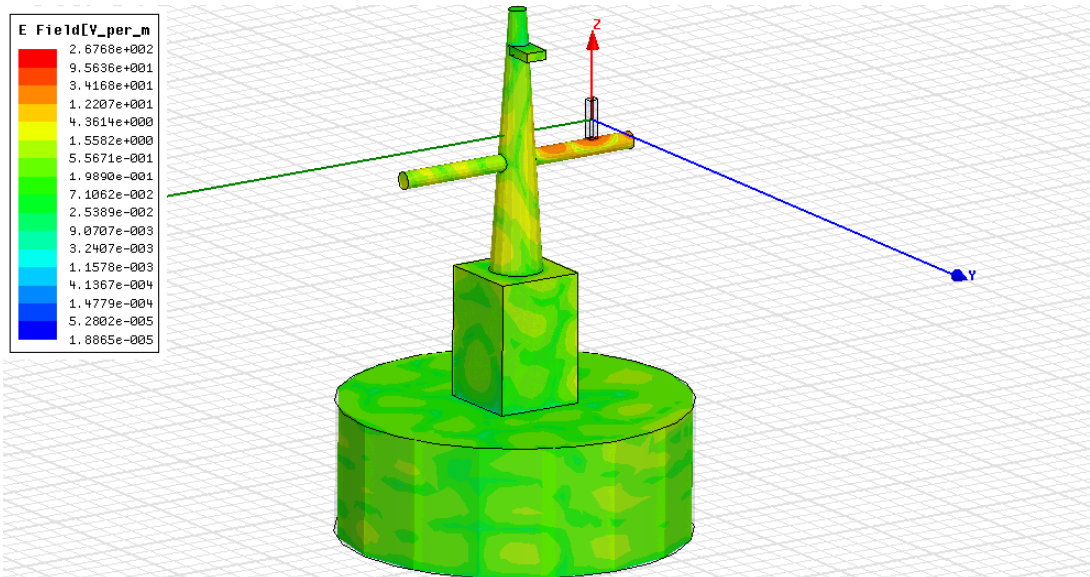


Figura 17. (Continuación)

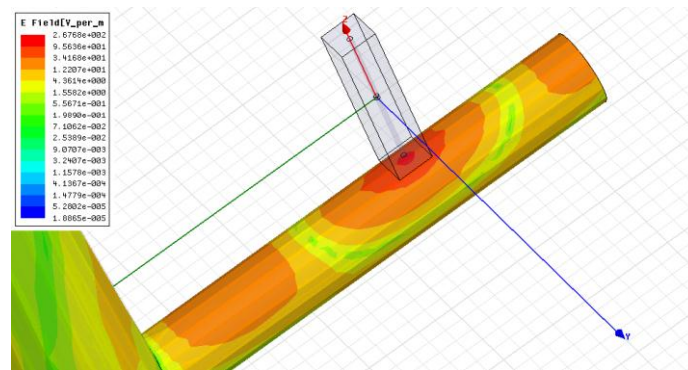


La Figura 17 muestra la corriente superficial que se induce sobre el casco del buque como consecuencia de la energía radiada por el dipolo en Cobre. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2.5 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de corriente superficial es de 0.099672 A/m.

**Figura 18. Campo eléctrico generado por la Antena VHF – COBRE ubicada sobre mástil + plataforma**

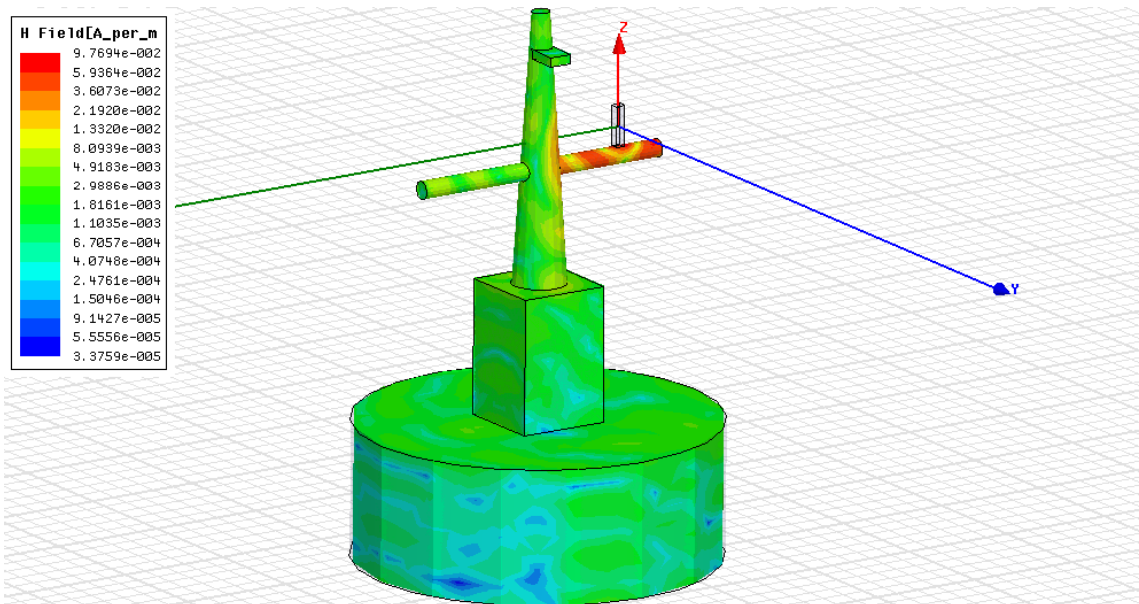


**Figura 18. (Continuación)**

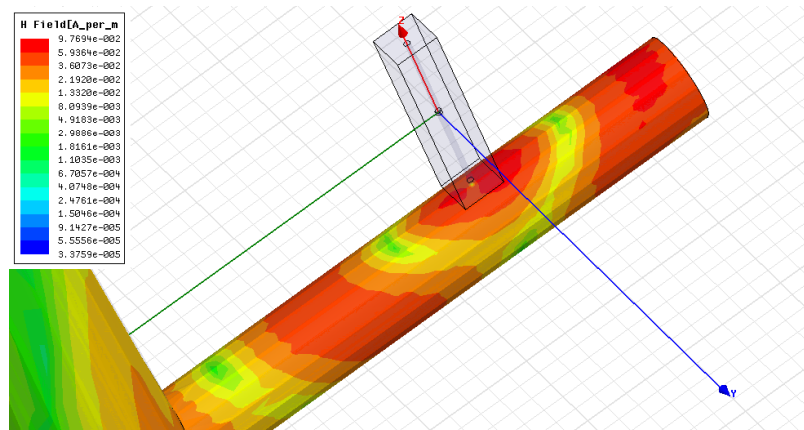


La Figura 18, muestra la distribución de campo eléctrico alrededor de la antena en Cobre. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2.5 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo eléctrico se presenta unos 10 cm alrededor de la base de la antena y es de 267.68 V/m.

**Figura 19. Campo magnético generado por la Antena VHF – COBRE ubicada sobre mástil + plataforma**



**Figura 19. (Continuación)**



La Figura 19, muestra la distribución de campo magnético alrededor de la antena en Cobre. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2.5 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo magnético es de 0.097694 A/m.

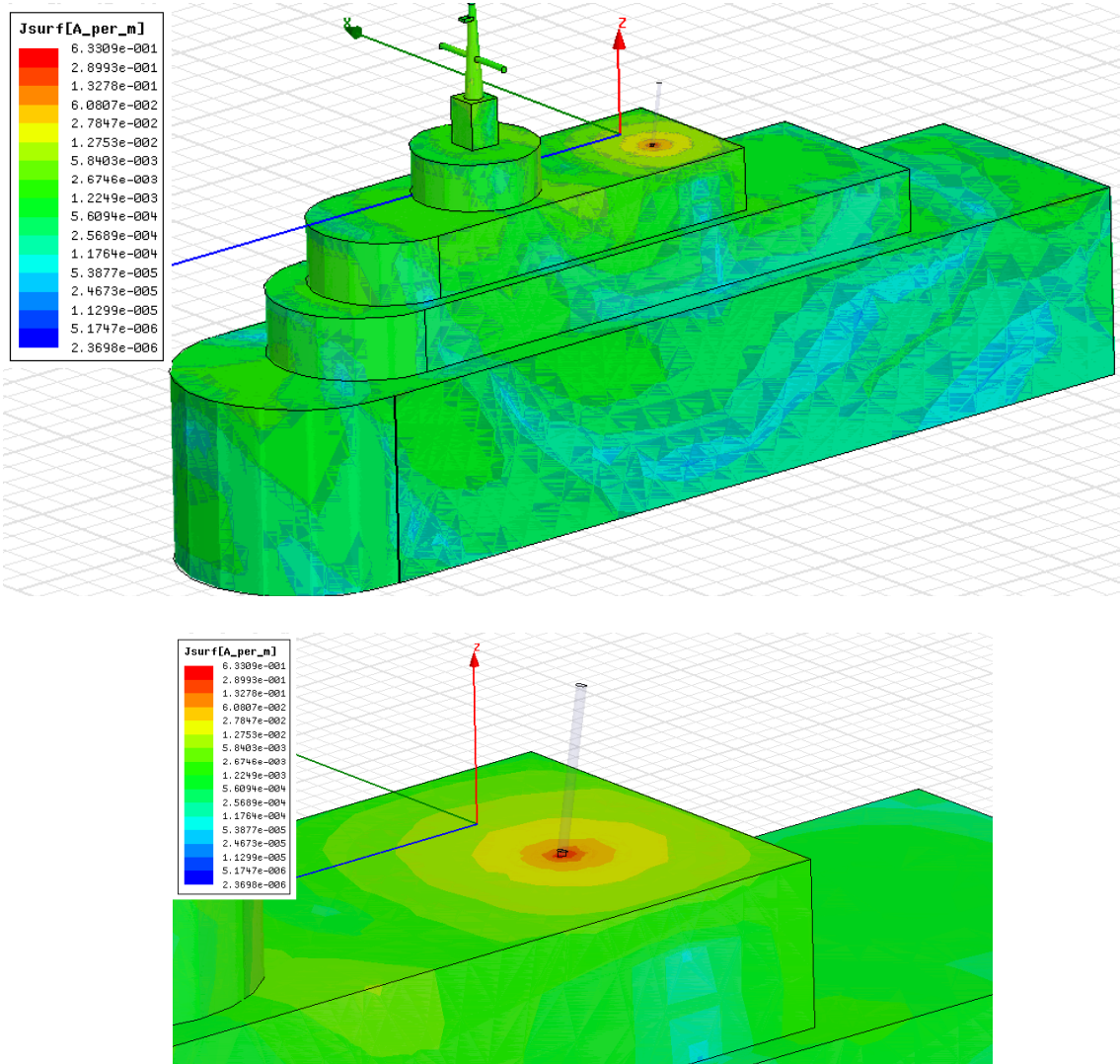
Tabla 52. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del dipolo VHF PEC Vs. COBRE.

	PEC	COBRE
<b>PARÁMETRO MEDIDO</b>		
Corriente superficial (A/m)	0.099654	0.099672
Campo eléctrico (V/m)	269.64	267.68
Campo magnético (A/m)	0.097708	0.097694

La tabla 52, muestra que cuando cambia el material del que está hecha la antena, también varían los valores para E, H y J. Para el caso de la corriente superficial (J) hay un ligero incremento de 0.000018 A/m cuando el dipolo es de cobre, con respecto al valor obtenido para el mismo parámetro cuando el dipolo es de PEC. Los campos eléctrico (E) y magnético (H) disminuyen cuando se cambia el material de PEC a Cobre. Siendo los decrementos de 1.96 V/m y 0.000014 A/m respectivamente.

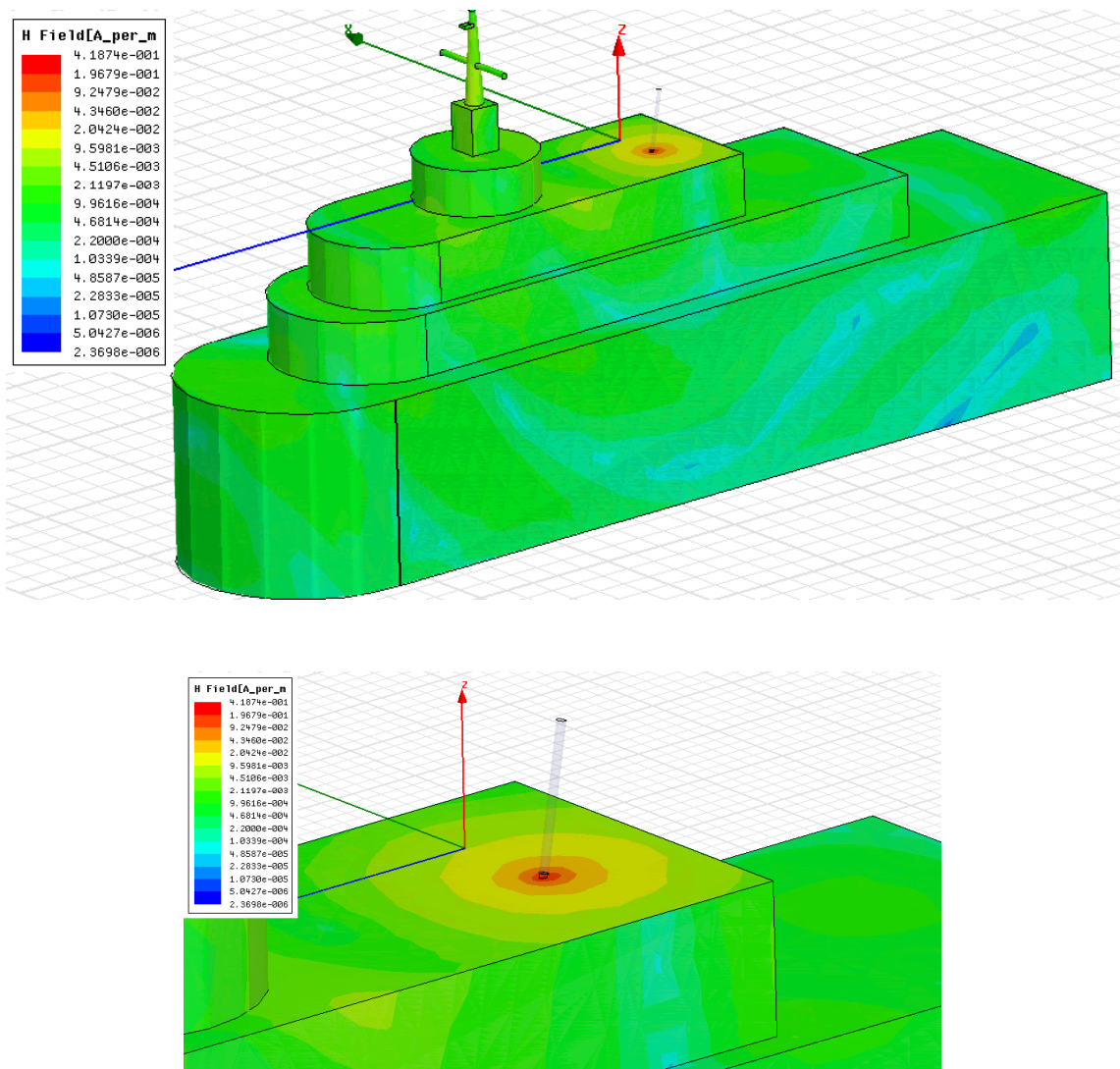
## 4.2.2 Antena HF

Figura 20. Corriente superficial de la Antena HF –PEC ubicada sobre buque.



La Figura 20, muestra la corriente superficial que se induce sobre el casco del buque como consecuencia de la energía radiada por el monopolo en *PEC*. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de corriente superficial es de 0.63309 A/m.

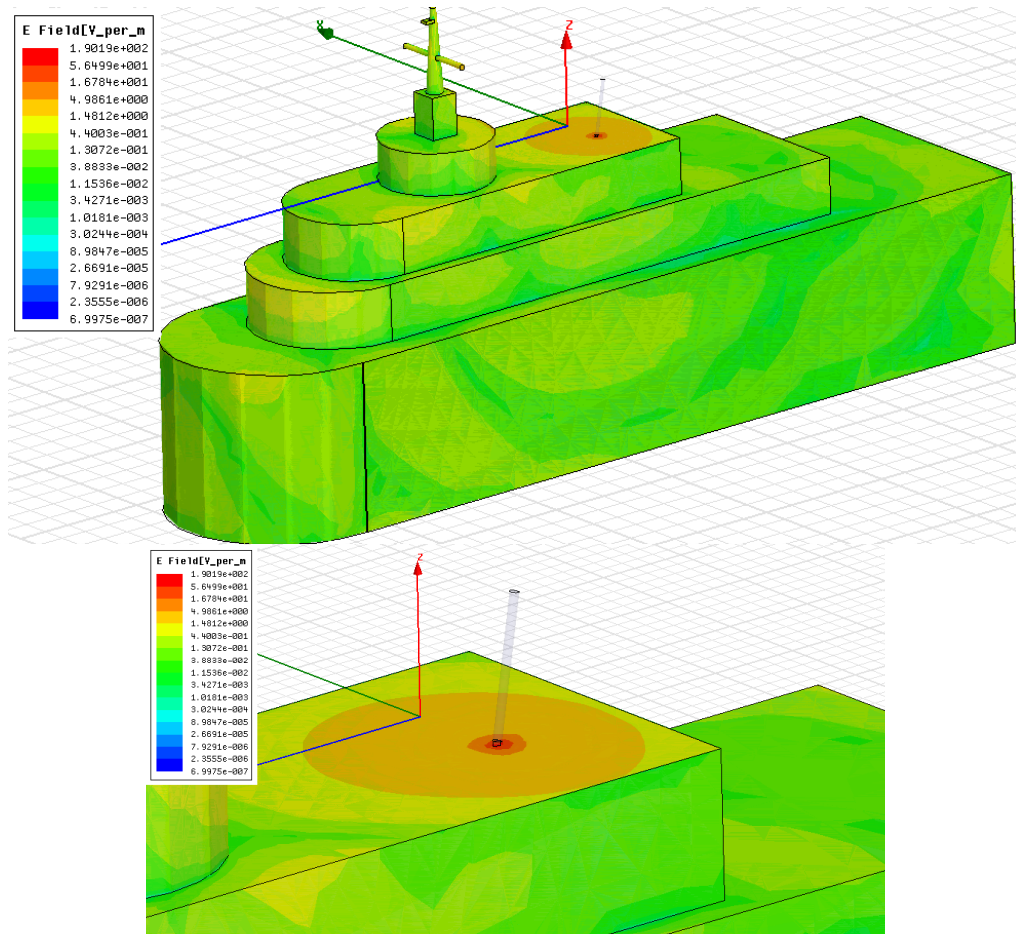
Figura 21. Campo magnético generado por la Antena HF – PEC ubicada sobre el buque.



La Figura 21 muestra la distribución de campo magnético alrededor de la antena en *PEC*. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo magnético es de 0.41874 A/m.

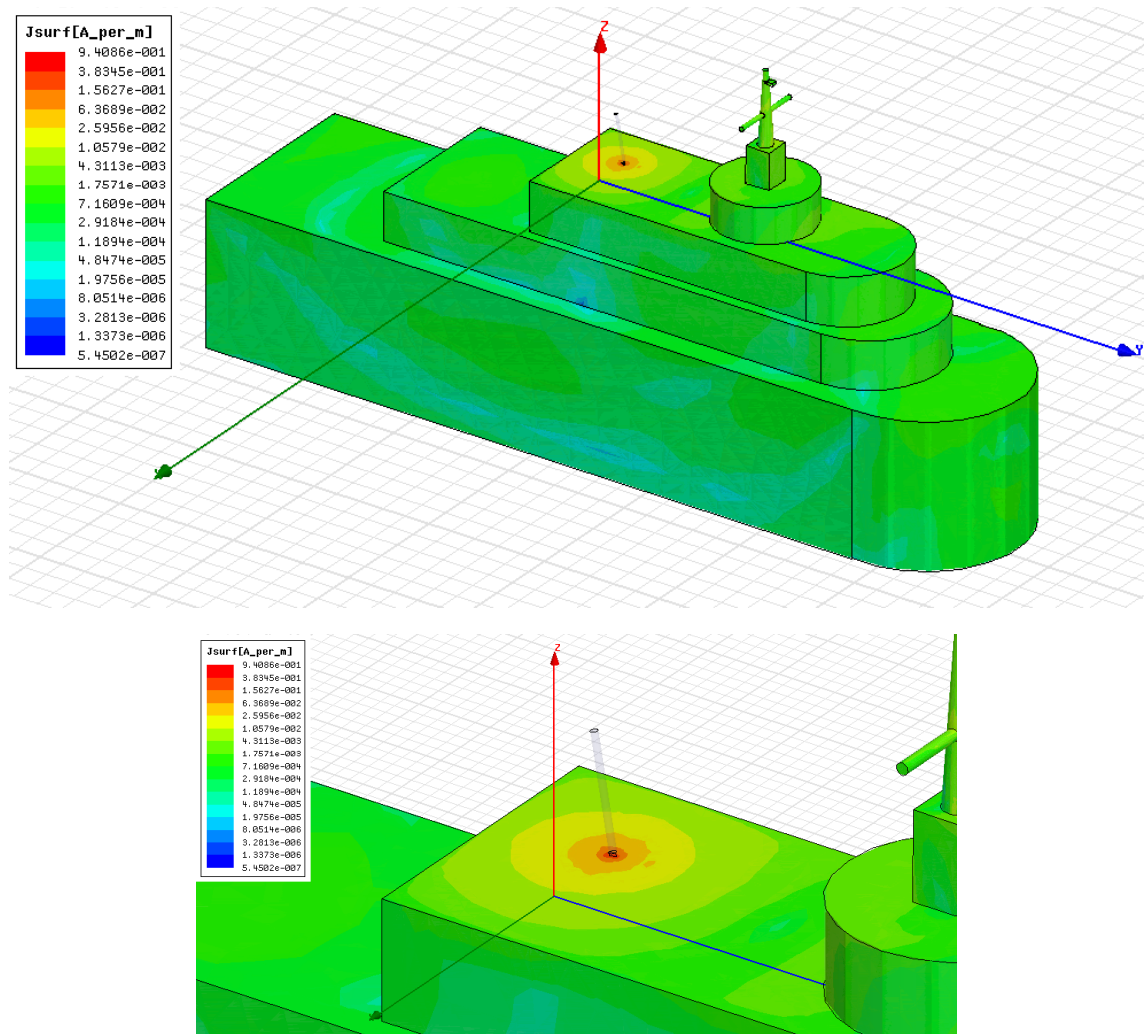


Figura 22. Campo eléctrico generado por la Antena HF – PEC ubicada sobre el buque



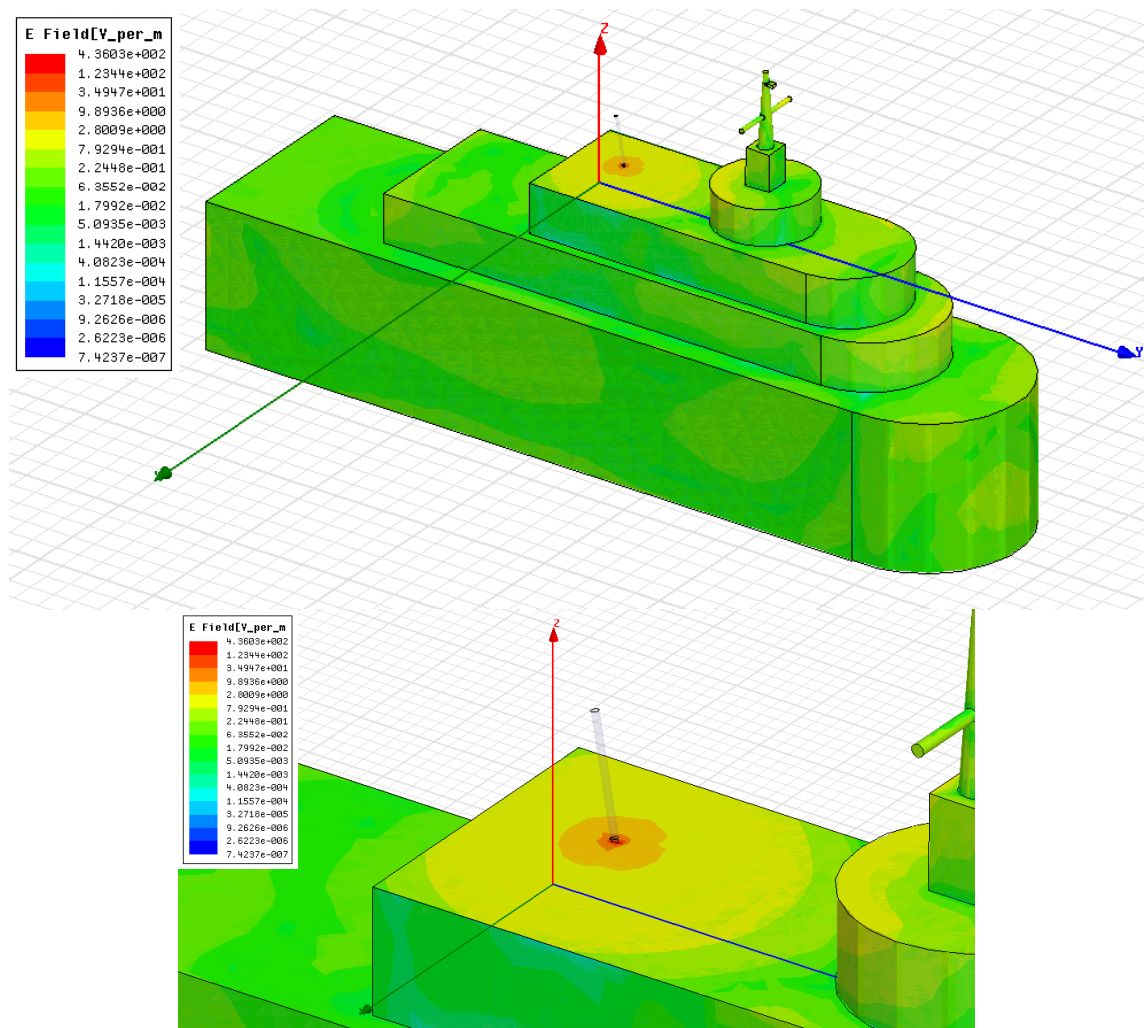
La Figura 22 muestra la distribución de campo eléctrico alrededor de la antena en *PEC*. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo eléctrico se presenta unos 10 cm alrededor de la base de la antena y es de 190.19 V/m.

Figura 23. Corriente superficial de la Antena HF –COBRE ubicada sobre buque.



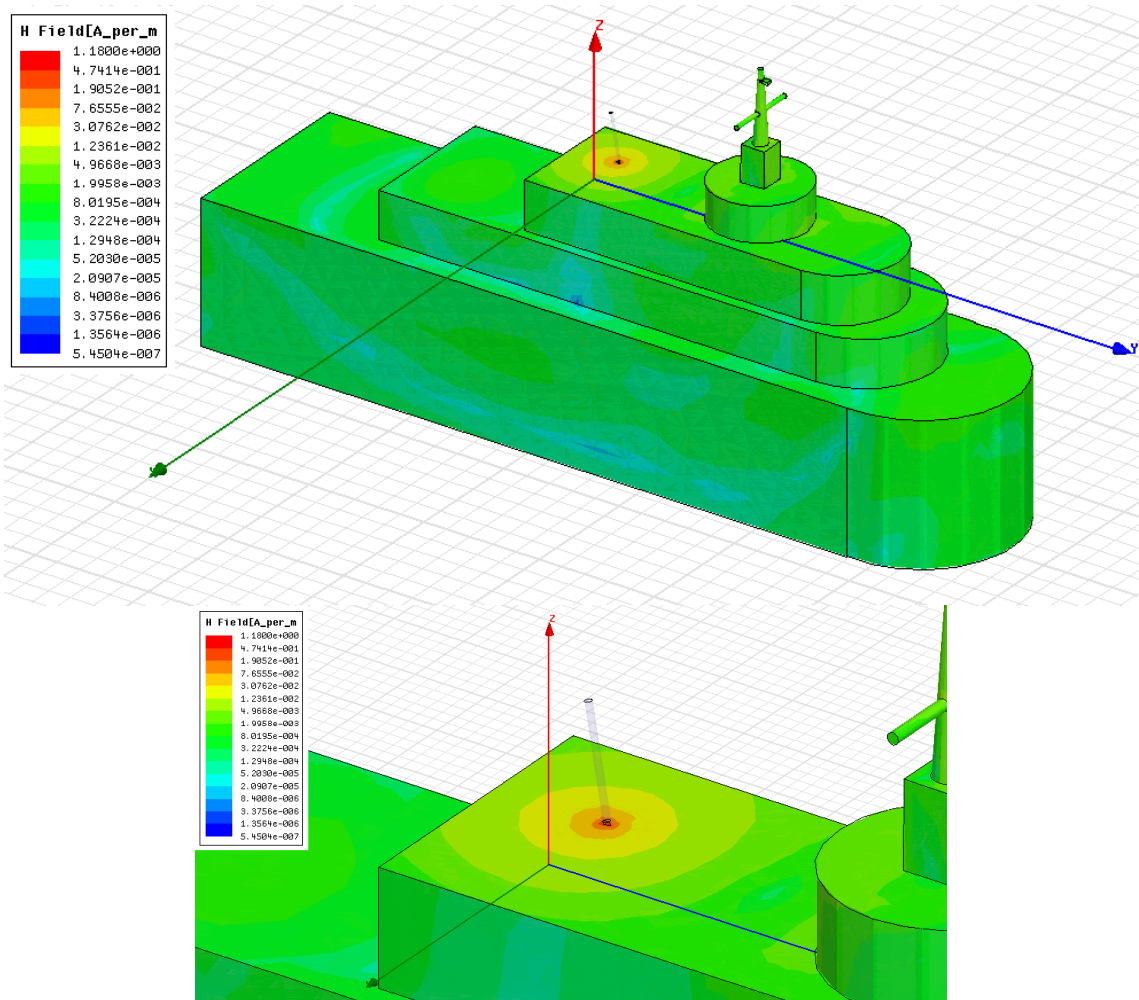
La Figura 23 muestra la corriente superficial que se induce sobre el casco del buque como consecuencia de la energía radiada por el monopolo en cobre. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de corriente superficial es de 0.94086 A/m.

Figura 24. Campo eléctrico generado por la Antena HF – COBRE ubicada sobre el buque



La Figura 24 muestra la distribución de campo eléctrico alrededor de la antena en cobre. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo eléctrico se presenta unos 10 cm alrededor de la base de la antena y es de 436.03 V/m.

Figura 25. Campo magnético generado por la Antena HF – COBRE ubicada sobre el buque.



La Figura 25, muestra la distribución de campo magnético alrededor de la antena en cobre. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo magnético es de 1.1800 A/m.

Tabla 53. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF PEC Vs. COBRE.

	PEC	COBRE
<b>PARÁMETRO MEDIDO</b>		
Corriente superficial (A/m)	0.63309	0.94086
Campo eléctrico (V/m)	190.19	436.03
Campo magnético (A/m)	0.41874	1.1800

La tabla 53, muestra que cuando cambia el material del que está hecha la antena, también varían los valores para E, H y J. Para el caso de la corriente superficial (J) hay un incremento de 0.30777 A/m cuando el dipolo es de cobre, con respecto al valor obtenido para el mismo parámetro cuando el dipolo es de PEC.

Los campos eléctrico (E) y magnético (H) aumentan cuando se cambia el material de PEC a Cobre. Siendo los incrementos de 245.84 V/m y 0.76126 A/m respectivamente.

### 4.2.3 Antenas HF/VHF en el buque

El espectro de colores que indica la intensidad de la corriente sólo es válido para la antena HF sobre la cual se está evaluando el modelo. Las otras dos antenas están operando, pero no se muestra su espectro debido a que no es sobre ellas que recae el estudio, es decir, no es a ellas las que se les verifica el patrón de distorsión por efecto de la radiación de las otras dos antenas. Su operación se evidencia en la variación de los valores obtenidos para cada caso (H, E y J) con respecto a los obtenidos para la antena HF en la sección 4.2.2.

**Figura 26. Corriente superficial de la Antena HF –PEC ubicada sobre buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.**

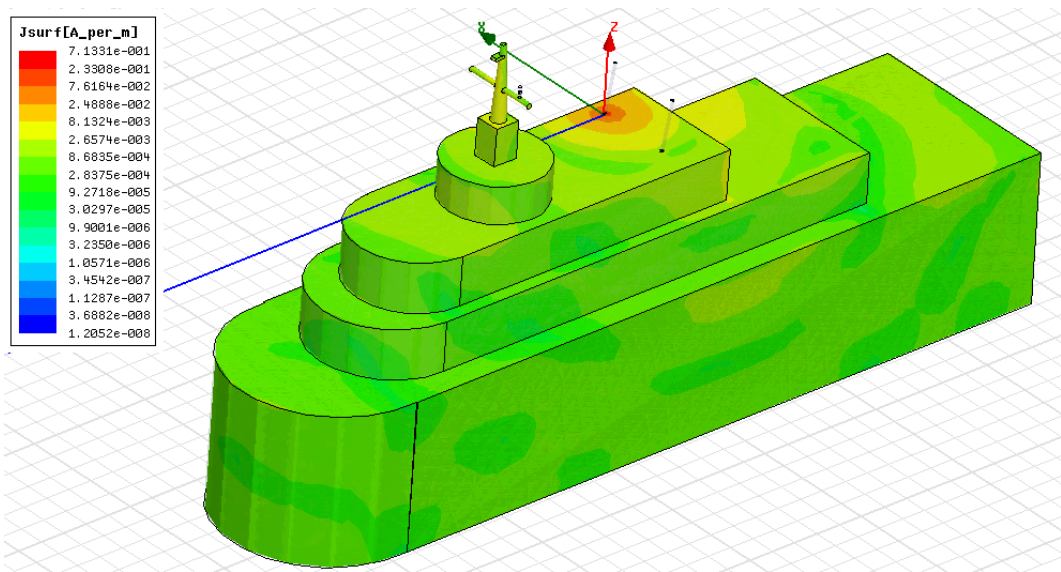
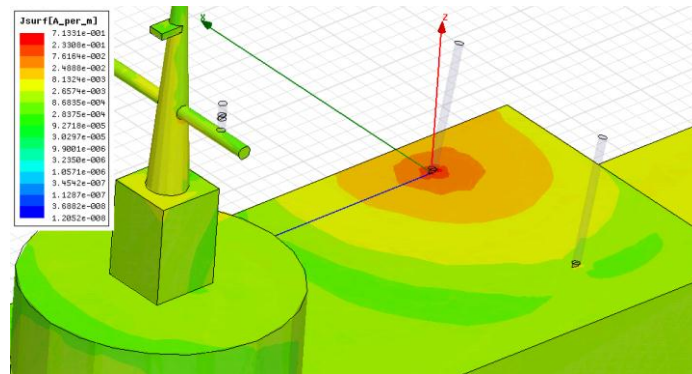


Figura 26. (Continuación)



La Figura 26, muestra la corriente superficial que se induce sobre el casco del buque como consecuencia de la energía radiada por el monopolo en *PEC*, cuando hay dos antenas mas operando. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de corriente superficial es de 0.71331 A/m.

Figura 27. Campo eléctrico generado por la Antena HF – *PEC* ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando

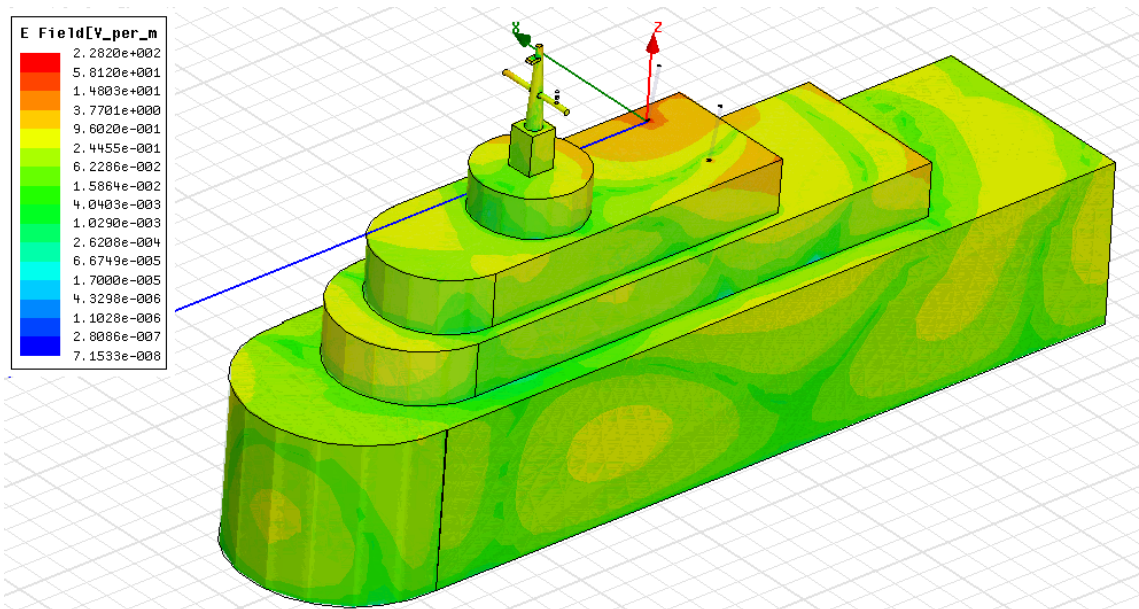
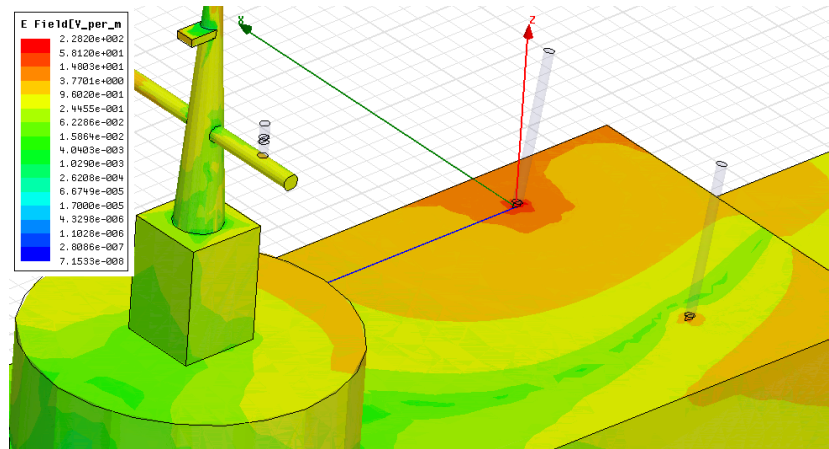


Figura 27. (Continuación)



La Figura 27, muestra la distribución de campo eléctrico alrededor de la antena en *PEC*, cuando están operando dos antenas más. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo eléctrico se presenta unos 30 cm alrededor de la base de la antena y es de 228.20 V/m.

Figura 28. Campo magnético generado por la Antena HF – *PEC* ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando

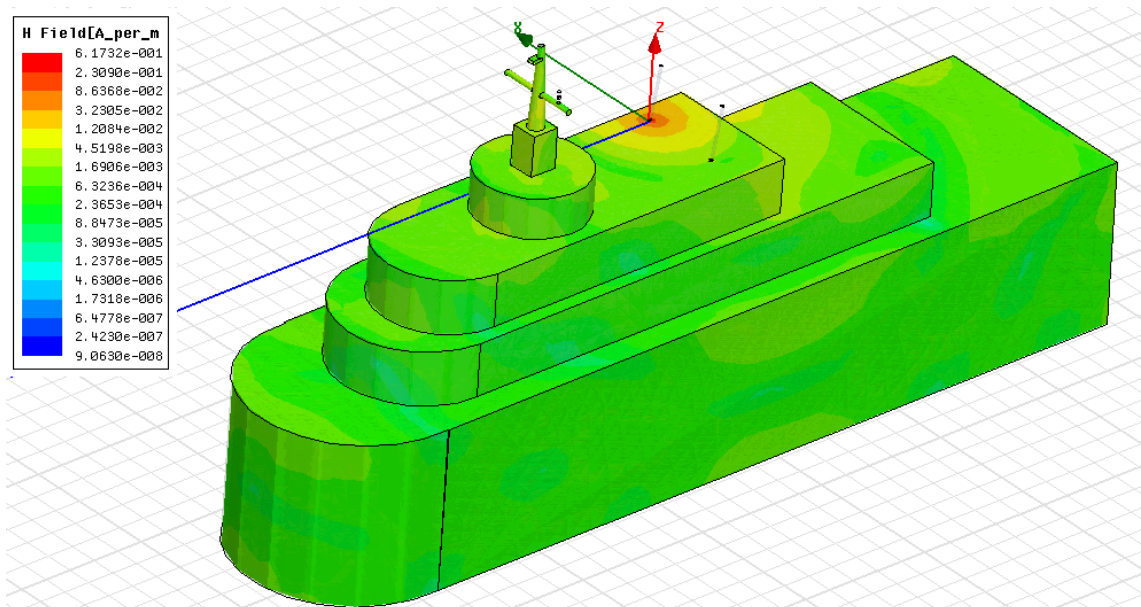
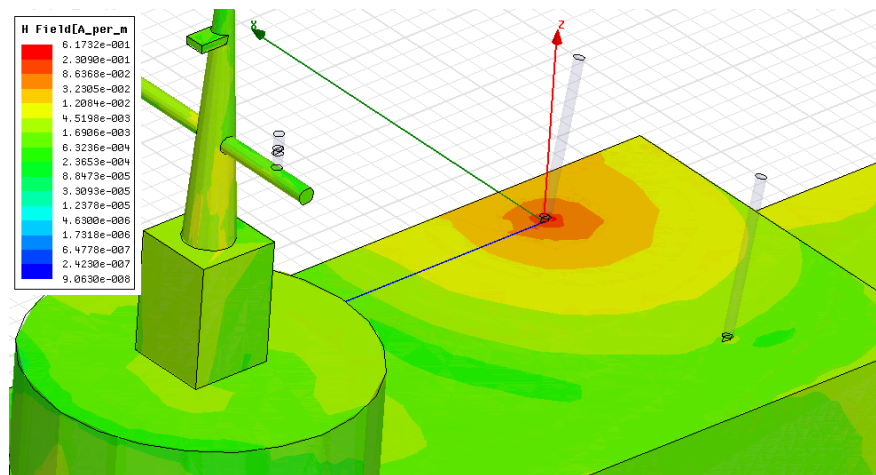


Figura 28. (Continuación)



La Figura 28, muestra la distribución de campo magnético alrededor de la antena en *PEC*, cuando hay dos antenas más operando. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo magnético es de 0.61732 A/m.

Figura 29. Corriente superficial de la Antena HF –COBRE ubicada sobre buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.

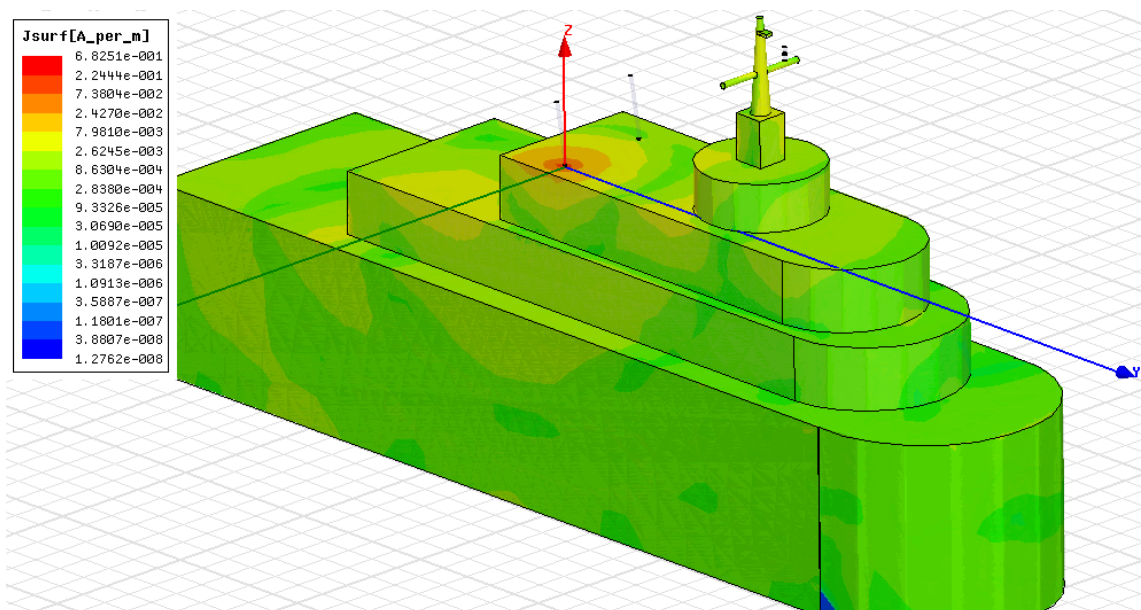
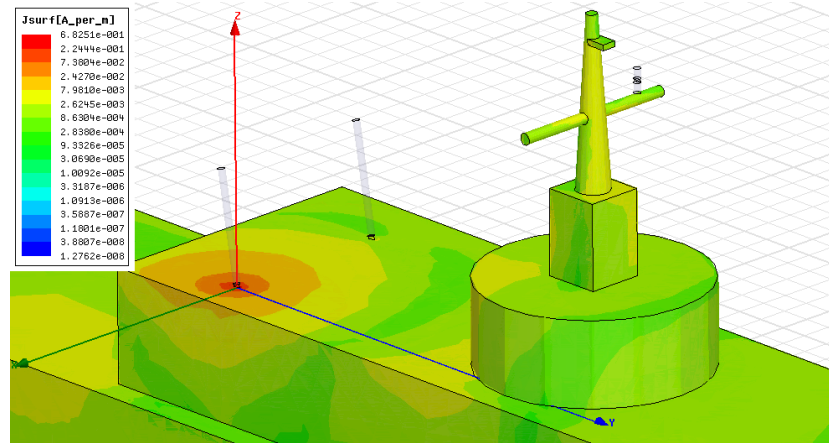




Figura 29. (Continuación)



La Figura 29, muestra la corriente superficial que se induce sobre el casco del buque como consecuencia de la energía radiada por el monopolo en cobre, cuando hay dos antenas mas operando. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de corriente superficial es de 0.68251 A/m.

Figura 30. Campo eléctrico generado por la Antena HF –COBRE ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando

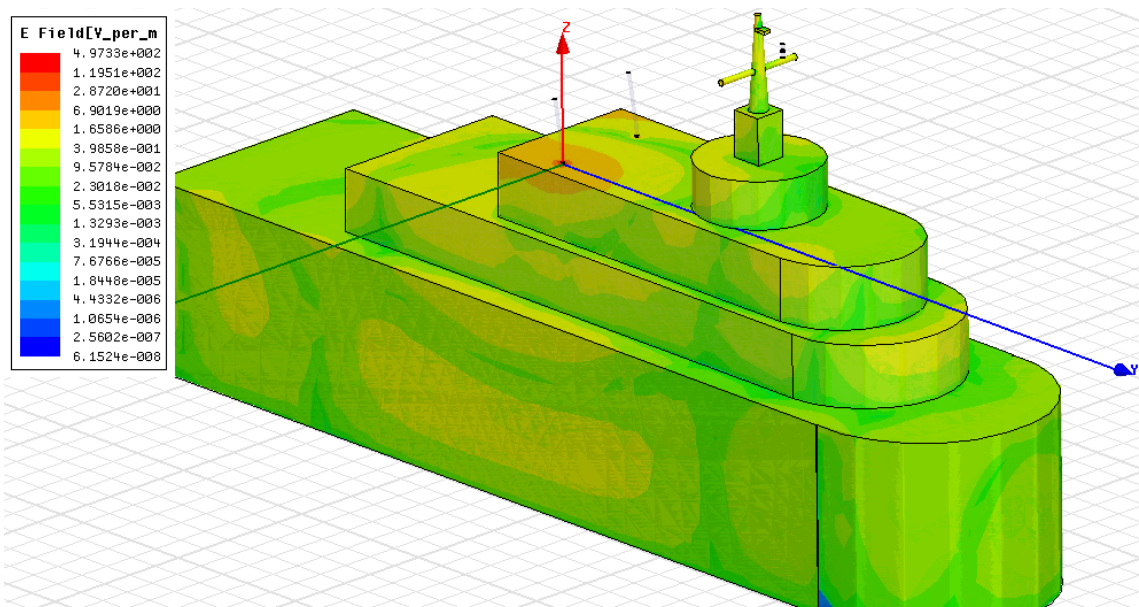
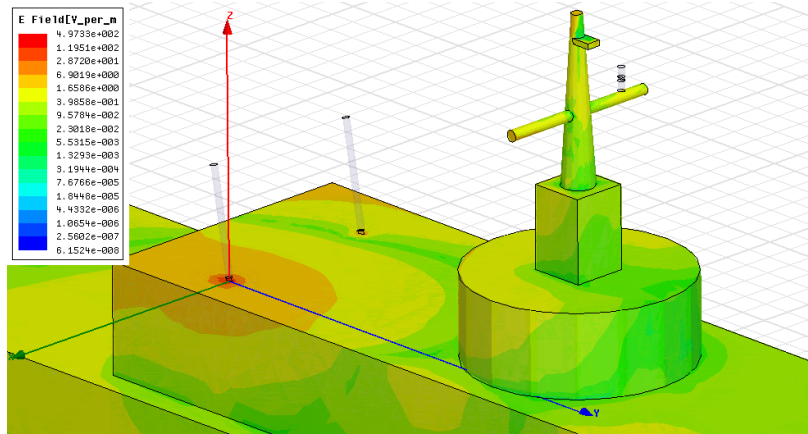


Figura 30. (Continuación)



La Figura 30, muestra la distribución de campo eléctrico alrededor de la antena en cobre, cuando están operando dos antenas más. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo eléctrico se presenta unos 30 cm alrededor de la base de la antena y es de 497.33 V/m.

Figura 31. Campo magnético generado por la Antena HF – COBRE ubicada sobre el buque, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando

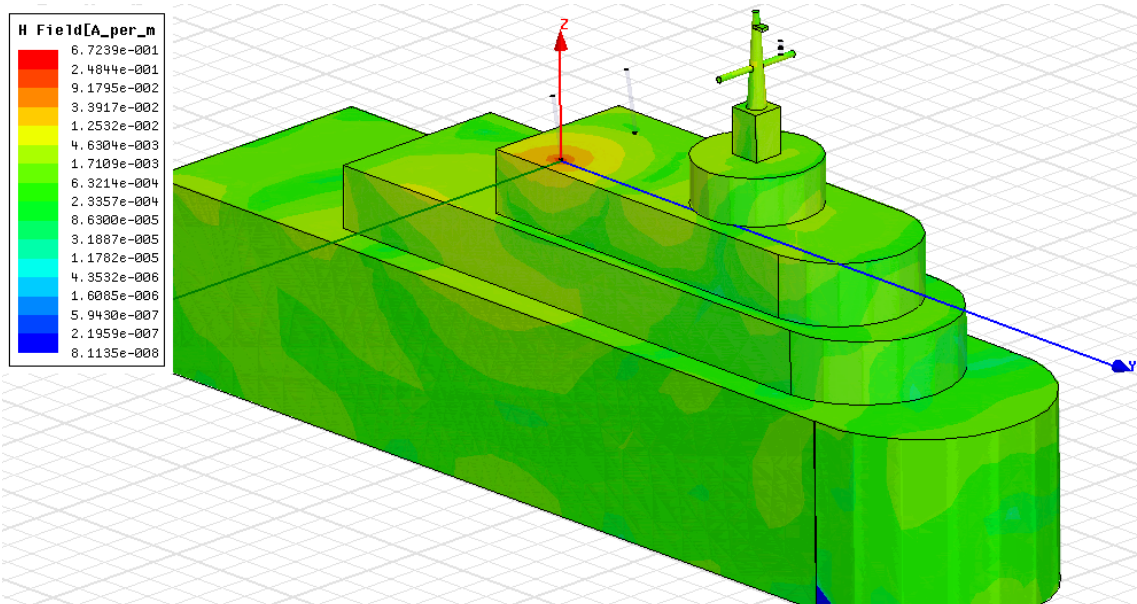
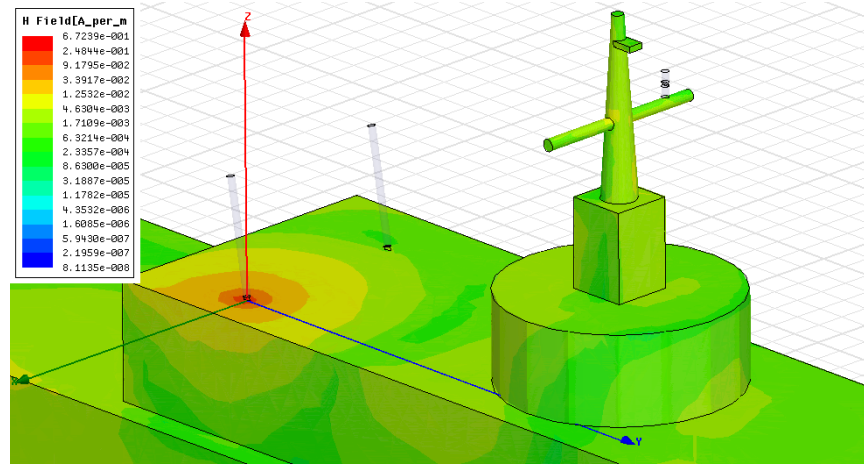


Figura 31. (Continuación)



La Figura 31 muestra la distribución de campo magnético alrededor de la antena en cobre, cuando hay dos antenas más operando. Se observa que los mayores valores se encuentran dentro de un radio de 2 metros aproximadamente, alrededor de la antena. El mayor valor de campo magnético es de 0.67239 A/m.

Tabla 54. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF *PEC* Vs. *COBRE*, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.

	<i>PEC</i>	<i>COBRE</i>
<b>PARÁMETRO MEDIDO</b>		
Corriente superficial (A/m)	0.71331	0.68251
Campo eléctrico (V/m)	228.20	497.33
Campo magnético (A/m)	0.61732	0.67239

La tabla 54, muestra que cuando cambia el material del que está hecha la antena, también varían los valores para E, H y J. Para el caso de la corriente superficial (J) hay un incremento de 0.0308 A/m cuando el dipolo es de cobre, con respecto al valor obtenido para el mismo parámetro cuando el dipolo es de *PEC*.

Los campos eléctrico (E) y magnético (H) aumentan cuando se cambia el material de *PEC* a Cobre. Siendo los incrementos de 269.13 V/m y 0.05507 A/m respectivamente. Es evidente que para el caso del campo E, el incremento es de más del doble del valor que presentaba el mismo parámetro cuando estaba en *PEC* la antena.

Tabla 55. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF *PEC* Vs. *COBRE*, cuando está solo en el buque y cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.

SITUACIÓN	Antena HF sola		Antenas HF + Antena VHF	
	<i>PEC</i>	<i>COBRE</i>	<i>PEC</i>	<i>COBRE</i>
<b>PARÁMETRO MEDIDO</b>				
Corriente superficial (A/m)	0.63309	0.94086	0.71331	0.68251
Campo eléctrico (V/m)	190.19	436.03	228.20	497.33
Campo magnético (A/m)	0.41874	1.1800	0.61732	0.67239

A partir de los resultados mostrados en la tabla 55, es posible evidenciar que ciertamente hay cambios entre los valores, que en un 66.6% incrementan cuando se adicionan antenas al modelo en evaluación.

Los caso más drásticos se presentan en la magnitud del campo E, que pasa de 190.19 V/m cuando la antena HF en *PEC* está sola sobre el buque, a 228.20 V/m cuando se añaden antenas, y en la magnitud del campo H, que pasa de 1.1800 A/m cuando la antena HF en cobre está sola sobre el buque, a 0.67239 A/m cuando se añaden antenas. Lo que implica un incremento de 38.01 V/m, casi un 20% del valor inicial, para el caso del campo E y, un decremento de 0.50761 A/m, aproximadamente un 43% menos que el valor inicial.

## CONCLUSIONES

Después de realizar la evaluación de EMC entre antenas HF/VHF ubicadas en un buque de acero, se concluye que:

- Alteraciones en el entorno de la antena (HF y VHF) producen variaciones en sus parámetros. Las pérdidas por retorno, por ejemplo, disminuyen en promedio 7.8dB, lo que quiere decir que la potencia radiada por la antena a la frecuencia de operación disminuye hasta ser de aprox.1/6 del valor inicial. El VSWR, aumenta su valor entre un 26.9% y un 51.9% mientras que el valor de la impedancia de entrada varía a medida que se modifica el entorno. Igualmente la forma del patrón de radiación de las antenas cambia, haciendo que la radiación de la antena se direcciona hacia la zona del espacio en la que no hay obstrucción. La ganancia de las antenas aumenta entre 2 y 3 veces el valor inicial, en las áreas hacia las que se hace más directiva la radiación de la antena.
- El material del que está hecha la antena, no afecta significativamente sus parámetros. Para el caso específico de este estudio, el cobre no afecta la forma del patrón de radiación de la antena, la relación mínima entre datos obtenidos cuando la antena era de *PEC* Vs. cuando era de cobre es de un 99.5%, lo que implica que la variación entre los datos es de tan solo 5%, mientras que el valor de la ganancia sólo se ve disminuido en un máximo de 6.5%.
- La operación de otras antenas en el entorno produce variaciones en los parámetros de una antena, especialmente si se encuentran operando en una misma banda de frecuencia. Para el caso estudiado, dos antenas HF operando simultáneamente, el patrón de radiación de una de ellas es distorsionado por la radiación de la otra, lo que se demuestra a partir de la relación de su patrón de radiación antes y después de añadir una de las antenas HF, presentando una relación entre datos inferior al 50% (entre el 6% y el 46%). Igualmente disminuye la ganancia de la antena entre un 16% y 19%.
- Entre mayor sea la separación que exista entre antenas que operan simultáneamente, mayor será su ganancia. Para el caso de las dos antenas HF operando al tiempo, hay un incremento de aproximadamente 4.2%, entre la situación en la que existen 3 metros de separación entre ellas y aquella en la que la distancia es de 6 metros.

- La antena VHF no afecta la operación de la antena HF. La ganancia de la antena HF varía solamente un 0.5% (0.028dB) cuando se compara el arreglo de dos antenas HF separadas 6 metros una de la otra Vs. el mismo arreglo cuando se adiciona la antena VHF separada 13 metros de donde se encontraban las antenas HF. Lo anterior se debe a la separación que existe entre la antena VHF y las antenas HF, dado que la longitud de onda de la antena VHF es de 1.8 metros, la incidencia que tiene sobre la antena HF no es significativa.
- Los valores de campo Eléctrico, Magnético y corriente superficial, presentan los valores más elevados en un radio promedio de 2.2 metros alrededor de la antena, por lo que no deben ser ubicadas otras antenas dentro de este radio, así como tampoco deben ser ubicadas armas o equipos sensibles dentro de este perímetro.
- Antenas operando simultáneamente en un entorno afectan los valores de campo E, H y corriente superficial de otras antenas, haciendo que disminuyan. Cuando se añaden antenas en cobre al modelo de simulación, la corriente superficial inducida por la antena HF tiene un decremento de un 27%, el campo eléctrico disminuye un 14% y el campo magnético un 43%.

## BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. "Electromagnetic compatibility Part 2: Management and planning". Publicado por el Ministerio de defensa de UK. Publicado en diciembre de 2002.

ANÓNIMO. En línea. "Impedancia de entrada". Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#Impedancia\\_de\\_entrada](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#Impedancia_de_entrada)

ANSOFT Corporation. "Electronic design automation software. User's guide – High Frequency Structure Simulator. HFSS V10.0". Edición: REV 1.0. Fecha: 21 de Junio de 2005.

ARELLANO, Gabriel. Certificación de cableado. "Perdida por retorno". Página 15. Disponible en: [www.gabriel-arellano.com.ar/file\\_download/8](http://www.gabriel-arellano.com.ar/file_download/8)

BALANIS, Constantine A. "Antenna Theory – Analysis and design". 3ª Edición. Sección 4.9: Gain. Pág. 66.

BALANIS, Constantine A. "Antenna Theory – Analysis and design". 3ª Edición. Sección 4.9: Gain. Pág. 68.

BALANIS, Constantine A. "Antenna Theory – Analysis and design". 3ª Edición. Sección 2.13: Input Impedance. Pág. 80.

CHOI, Ho-Young. *Method Determining Distance Between Diversity Antennas*. 2001, United State Patent No. US 6,292,138 B1.

COJO, El Baron. En Línea. "Antenas en RC". Disponible en: <http://elbaroncojo.stream18.com/radiocontrol/atenuacion-de-la-senal-de-radio/antenas-en-rc/>

En línea. Antena de radio HF Shakespeare STYLE 5390. Disponible en: <http://www.nauticexpo.es/prod/shakespeare/antenas-de-radios-hf-para-barco-21795-211950.html>

En línea. MFV-5 Antena náutica LAFAYETTE. Disponible en: [http://www.locuradigital.com/nautica/antenas\\_nautica/mfv-5\\_lafayette\\_antena\\_barco.htm](http://www.locuradigital.com/nautica/antenas_nautica/mfv-5_lafayette_antena_barco.htm)

En línea. Tipos de antenas y funcionamiento. Disponible en: [http://www.wni.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&catid=31:general&id=62:antenasaporte](http://www.wni.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&catid=31:general&id=62:antenasaporte)

FRÍAS Valero., Eduardo. Tesis Doctoral: “Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos”. Sección 5: El Método de los Elementos finitos (MEF ó FEM). Págs. 111 – 144. Departamento de Ingeniería Eléctrica. UPC. 2004.

GRAJALES, Tevni. “Correlación y regresión lineal simple”. En Línea. Disponible en: <http://tgrajales.net/coregrelinealsimp.pdf>

HUANG, Yi y BOYLE, Kevin. “Antennas: From theory to practice”. Chapter 2: Circuit concepts and transmission lines. Págs. 38 - 40

HUANG, Yi y BOYLE, Kevin. “Antennas: From theory to practice”. Chapter 5: Popular antennas. Págs. 129 - 130

HUANG, Yi y BOYLE, Kevin. “Antennas: From theory to practice”. Chapter 5: Popular antennas. Págs. 137 - 139

IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vols. AP-17, No. 3, May 1969; Vol. AP-22, No. 1, January 1974; y Vol. AP-31, No. 6, Part II, Nov. 1983.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Presentación de Tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación”. Bogotá: ICONTEC, 2008 (NTC1486)

KING, Ronold W. P. “The electric field induced in the human body when exposed to electromagnetic fields at 1-30 MHz on shipboard”. Publicado por el IEEE en Junio de 1999.

MARINE INSTITUTE. En línea. *Celtic Explorer Specifications – General Layout*. Pág. 2. Disponible en: <http://www.marine.ie/NR/rdonlyres/2D96A231-D556-44DC-9671-E478185BDD34/0/CESpecs.pdf>

MAWREY, Robert S. *Radio frequency interferente and antenna sites*. Disponible en: <http://www.sss-mag.com/pdf/1interference.pdf>

NAVSHIP 900,121(A) – Navy department. *Shipboard antenna details. Chapter 2: Installation methods*. Disponible en: <http://www.navy-radio.com/antenna.htm>

Normativa Internacional - Informe Técnico de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 61000-1-1.

PIRICH,R.; BASANEZ, C.; ANUMOLU, P.;. “*Electromagnetic evironmental effects modeling, simulation & test validation for cosite mitigation – an overview*”. Publicado por el IEEE en el 2008.



PONGRATZ, Stefan. "Introducción a las medidas en Sistemas Radiantes: Análisis de Cables y Antenas". En línea. Artículo Cedido por Anritsu EMEA Ltda. Disponible en: [http://www.redeweb.com/\\_txt/639/70.pdf](http://www.redeweb.com/_txt/639/70.pdf)

RAGHU, K.R. "Challenges of the naval electromagnetic environment for the EMC engineer". Publicado por el IEEE en el 2003.

SCHMITT, Ron. "Understanding electromagnetic fields and antenna radiation takes (almost) no math". Publicado por Designfeature en marzo del 2000.

SUÁREZ Cabrera, Rugiere y ORTIZ Gómez, Sergio. "Campos eléctrico y magnético en estaciones radioeléctricas de buques". Publicado por la revista Cubana de Higiene y epidemiología en 1997.

TAYAL, Manoj y WAMAN, Karve. Vikram. "Expert system using electromagnetic interference and electromagnetic compatibility based criteria for ship design, weapon selection and evaluation". Publicado por el IEEE en 1997.

US Navy. NAVEDTRA 14225 – *Information Systems Technician Training. Module 4: Communication Hardware. Chapter II: Satellites and antennas.*

ZHANG, Qi y ZHAO, Gang. *Optimizing Model of Shipboard HF Antenna Placement.* 2005, Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics Proceedings.