



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Caracterización en tiempo real de canales radio en
comunicaciones buque-tierra conforme a la evolución de las mareas*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Margarita Hernández López-Briones

DIRECTORES: José María Núñez Ortuño

TN CIA Francisco José Calviño Dopazo

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Caracterización en tiempo real de canales radio en
comunicaciones buque-tierra conforme a la evolución de las mareas*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

Durante el proceso de medición de diagramas de radiación de antenas, los buques deben describir una evolución. Durante el tiempo que dura la evolución la variación de la altura de la marea puede repercutir negativamente en el enlace provocando que los diagramas obtenidos sean erróneos y no reflejen la realidad. El presente Trabajo de Fin de Grado consiste en el desarrollo de una herramienta que ayude al CEMEDEM (Centro de Medidas Electromagnéticas de la Armada) a optimizar el proceso de obtención de diagramas de radiación.

Para ello, en primer lugar, se estudia la propagación de las ondas electromagnéticas mediante el mecanismo de onda de espacio, centrándose en la banda de VHF. También se estudia el efecto del multitrayecto, originado cuando se reciben simultáneamente varias réplicas de una misma onda, después de haber viajado por caminos diferentes, y especialmente, cuando uno de los caminos corresponde al de una reflexión en la superficie del mar. Este efecto, que suele analizarse como una interferencia, a veces destructiva, dependerá de numerosos factores como la distancia entre antenas, la altura entre ellas, y la frecuencia y geometría del enlace.

En segundo lugar, se ha diseñado un software en el entorno de programación de Matlab que, a través de una interfaz gráfica y varias funciones auxiliares, permiten calcular y representar el perfil estimado del campo recibido en función de la distancia considerando el efecto del multitrayecto. El software, que tiene en cuenta la altura de la marea, recomienda la posición óptima del buque para la realización de medidas.

PALABRAS CLAVE

Campo recibido, multitrayecto, diagrama de radiación, marea, interfaz gráfica.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermana por su consejo y apoyo.

A mi tutor el Doctor Ingeniero de Telecomunicación D. José María Núñez Ortuño por su trabajo, conocimientos, ayuda y por sacar adelante este proyecto.

A mi tutor el TN. CIA Francisco José Calviño Dopazo, Ingeniero de Telecomunicaciones por su trabajo, explicaciones y conocimientos en el área de levantamiento de diagramas de radiación y por su predisposición y disponibilidad a la hora de resolver dudas.

Por último, a todos los compañeros que me han ayudado en este entorno de programación, que ha supuesto un gran reto para mí.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
1 Introducción.....	5
1.1 Introducción	5
1.2 Descripción de la memoria	6
2 Objetivos	7
3 Fundamentos teóricos y estado del arte.....	8
3.1 Antenas.....	8
3.1.1 Diagrama de radiación de antenas	9
3.1.2 Métodos de obtención de diagramas de radiación de antenas	10
3.1.3 Medición de diagramas de radiación de antenas en buques	11
3.1.4 Campo radiado por una antena	12
3.2 Propagación de ondas por onda espacial.....	14
3.2.1 Mecanismos de propagación.....	14
3.2.2 Balance de enlace	16
3.2.3 Alcance óptico	17
3.2.4 Elipsoides de Fresnel	17
3.2.5 Fenómeno de multitrayecto	18
3.3 Mareas	22
3.3.1 Ciclos de mareas	22
3.3.2 Tipos de mareas	22
3.3.3 Métodos de predicción de las mareas	22
3.3.4 Fuentes de obtención de datos de mareas	23
4 Desarrollo	26
4.1 Requisitos funcionales	26
4.2 Diseño del software.....	27
4.2.1 Función para calcular el campo recibido	29
4.2.2 Funciones para calcular la altura de la marea	31
4.3 Diseño del interfaz del usuario.....	33
4.3.1 Manual de usuario.....	34
4.4 Presentación de resultados	37
4.5 Interpretación de resultados	38
5 Resultados	40

5.1 Ejemplo de predicción para una campaña de medidas.....	40
5.1.1 Primera simulación	41
5.1.2 Segunda simulación	44
6 Conclusiones y líneas futuras	46
6.1 Conclusiones	46
6.2 Líneas futuras	46
7 Bibliografía.....	48
Anexo I: Función ‘calcula_marea_puertos’	50
Anexo II: Función ‘calcula_marea_IHM’	52
Anexo III: Función ‘calcula_campo’	54
Anexo IV: Interfaz Gráfica.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Modelo de sistema transmisor con antena como circuito eléctrico (elaboración propia)	8
Figura 3-2 Diagrama de radiación tridimensional [2].....	10
Figura 3-3 Diagrama de radiación bidimensional [2]	10
Figura 3-4 Diagrama de radiación afectado por el efecto multitrayecto (Figura proporcionada por el CEMDEN)	11
Figura 3-5 Diagrama de radiación (figura proporcionada por el CEMDEN)	12
Figura 3-6 Geometría para el análisis del campo producido por un elemento de corriente [4].....	13
Figura 3-7 Fenómenos de reflexión y refracción	14
Figura 3-8 Trayectorias de las ondas en función del índice de refracción [6]	15
Figura 3-9 Modelo de propagación de tierra plana [2]	16
Figura 3-10 Balance de enlace	17
Figura 3-11 Elipsoides de Fresnel [7]	18
Figura 3-12 Efecto de multitrayecto [8].....	19
Figura 3-13 Variación del campo en función de la distancia [9]	20
Figura 3-14 Página web Puertos del Estado [13].....	24
Figura 3-15 Página web Instituto Hidrográfico de la Marina [14]	25
Figura 3-16 Página web Instituto Hidrográfico de la Marina [14]	25
Figura 4-1 Esquema general del programa	28
Figura 4-2 Esquema función calcula_campo	29
Figura 4-3 Esquema función calcula_marea_puertos	31
Figura 4-4 Estructura de datos en Matlab de la página web de Puertos del Estado.....	32
Figura 4-5 Matriz de datos en Matlab de la página web de Puertos del Estado	32
Figura 4-6 Estructura de datos en Matlab de la página web del IHM	33
Figura 4-7 Visión general de la Interfaz Gráfica	34
Figura 4-8 Paneles de control antenas transmisoras	34
Figura 4-9 Panel de control antena receptora.....	35
Figura 4-10 Panel de control del vector de distancia	35
Figura 4-11 panel de control de ubicación.....	35
Figura 4-12 Selección del día.....	36
Figura 4-13 Selección de la hora.....	36
Figura 4-14 Panel de control del método de obtención de la altura de la marea	36
Figura 4-15 Panel de control de la posición del buque	37
Figura 4-16 Diagrama del campo recibido	37

Figura 4-17 Diagrama polar	38
Figura 4-18 Zoom del diagrama del campo recibido	38
Figura 4-19 Ejemplo de medición de dos antenas simultáneamente	39
Figura 5-1 Fragata F100 [16]	40
Figura 5-2 Primera simulación.....	41
Figura 5-3 Primer tramo de la gráfica en la primera simulación	41
Figura 5-4 Zona óptima para la primera simulación.....	42
Figura 5-5 Evolución temporal	43
Figura 5-6 Segunda simulación.....	44
Figura 5-7 Primer tramo de la segunda simulación	44
Figura 5-8 Incompatibilidad de antenas.....	45

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Actualmente las capacidades operativas de un buque de guerra dependen casi en su totalidad de sus antenas y sensores, ya que dependen de ellas las comunicaciones, los sistemas de navegación, sistemas de armas y de guerra electrónica. Por lo que es crucial el mantenimiento y el conocimiento del estado de las antenas propias para su correcto funcionamiento.

El CEMEDEM como centro especializado de la Armada en los aspectos relacionados con el electromagnetismo aplicado al entorno naval, genera y mantiene la doctrina sobre pruebas y comprobaciones del ámbito electromagnético de los buques. Asegurar la compatibilidad electromagnética de los sistemas del buque, controlar el potencial peligro que supone la radiación de energía electromagnética para el personal y el material, así como conocer las características del buque relativas a su detección mediante RADAR o sistemas infrarrojos, son tareas complejas que es necesario extender a lo largo de todo el Ciclo de Vida.

El abanico de pruebas y comprobaciones posibles se ha ampliado y mejorado con los últimos avances tecnológicos. El objetivo de esta serie de pruebas es establecer el concepto de ‘Comportamiento Electromagnético Conjunto (CEMC) de buques.

Uno de los procedimientos que se realiza es el levantamiento de Diagramas de Radiación y Cobertura. En el caso de un buque las antenas comparten un espacio limitado en la superestructura y este entorno influirá en mayor o menor medida en su diagrama de radiación, el estudio de este permitirá conocer las zonas de sombra a la hora de la transmisión y el grado de funcionamiento del conjunto antena-transmisor. Además, normalmente las antenas presentes se alejen de la situación ideal en la que el fabricante proporciona los diagramas de radiación (normalmente medidos en cámaras anecoicas u obtenidos por simulación).

Surge así la necesidad de comprobar la realidad de tales diagramas de radiación. Con este tipo de medidas se obtienen normalmente dos resultados importantes:

- La cobertura real proporcionada por la antena en estudio.
- El grado de funcionamiento del conjunto equipo-antena en términos de potencia de salida.

A su vez el proceso de medida de los diagramas de radiación para las antenas de un buque no es una tarea sencilla debido a varios condicionantes.

- Las medidas han de realizarse con el buque en la mar, que es la situación real de funcionamiento.

- Actualmente no existe un sistema que permita tener al buque fijo en un punto y el equipo de medida se desplace alrededor de aquel en un círculo más o menos perfecto para tomar los niveles de señal emitidos por las antenas.

- El tiempo resulta también un serio problema debido a la poca disponibilidad de las unidades a medir, tanto por motivos económicos como de compromisos a nivel Flota. Esto implica que no se pueden realizar todas las medidas que idealmente se requerirían.

- La necesidad de medir varias antenas a la vez (actualmente hasta 6), derivado de la necesaria economía de costes y disponibilidad.

- Por último, la presencia de multitrayecto en determinadas bandas.

La repercusión negativa que el efecto de multitrayecto tiene sobre las mediciones realizadas por el CEMEDM es lo que motiva la realización de este TFG.

1.2 Descripción de la memoria

En el primer capítulo se expone una breve introducción donde se expone la tarea del CEMEDM, la importancia que tiene conocer los diagramas de radiación de las antenas de nuestras unidades y la problemática a la hora de realizar estas mediciones.

En el segundo capítulo se enumeran los objetivos de este proyecto y los resultados que se esperan obtener.

El tercer capítulo consiste en una descripción del estado del arte. Cuenta con varios apartados, comienza con la contextualización y definición del medio donde se propagan las ondas electromagnéticas y los distintos fenómenos que se producen durante esta. El capítulo termina con una serie de explicaciones y definiciones del ámbito de las mareas.

En el cuarto capítulo, se describe el desarrollo del software. Se enumeran los requisitos funcionales y las limitaciones. Se dedica un apartado a cada uno de los módulos o funciones que componen el sistema. También se muestra la Interfaz Gráfica y se hace un pequeño manual para el usuario.

En el quinto capítulo se realizan una serie de simulaciones para una campaña de medidas.

En el sexto capítulo de conclusiones y líneas futuras, en primer lugar, se tratará de hacer un análisis objetivo del sistema obtenido estudiando si se ha conseguido o no la consecución de los objetivos propuestos; en segundo lugar, se definirán las mejoras, o cambios que deberían hacerse en este proyecto, así como líneas futuras.

2 OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto es proporcionar al CEMEDEN una herramienta que permita prever o calcular las zonas donde el efecto del rayo reflejado o multitrayecto va afectar negativamente a las mediciones de los diagramas de radiación de las unidades. Aumentando así la precisión de estas medidas, ya que es de gran importancia que se asemejen lo máximo posible a la realidad para conocer las características y capacidades de los sensores y antenas de nuestras unidades debido a que puede afectar a su operatividad.

El sistema que se propone consiste en un programa que prediga las áreas y las distancias donde las mediciones serían erróneas debido al efecto del rayo reflejado, en función de la evolución de las mareas, ya que estas influyen directamente en la altura de la antena transmisora. Se pretende conseguir que el usuario introduzca una serie de parámetros como las alturas de las antenas, y la frecuencia y el programa muestra gráficamente las zonas donde no se deben realizar las mediciones. Además, el programa deberá ser capaz de calcular la altura de la marea a la hora a que se pretenden realizar las mediciones permitiendo así planificar las campañas y evitando que se obtengan mediciones erróneas, lo que implicaría tener que iniciar el procedimiento desde cero.

Junto con este programa también se pretende proporcionar una interfaz gráfica que permita al usuario seleccionar los parámetros del enlace que sean variables y además mostrar una serie de gráficos que hagan posible una rápida interpretación de los resultados obtenidos.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

3.1 Antenas

Todo radioenlace requiere de la transmisión de energía electromagnética mediante un elemento radiante, y la recepción de la energía, realizada por una antena transmisora.

Las ondas electromagnéticas necesitan de un medio para propagarse, este medio es el espacio libre. Por lo que se necesita un elemento que haga como interfaz entre este medio en el que se propagan las ondas y la estación radio. La antena transmisora, teóricamente es un elemento que, radia una potencia igual a la que se le proporciona. Una corriente eléctrica produce una onda electromagnética con un determinado campo electromagnético que será el soporte sobre el que se trasmite la energía y la información.

Desde el punto de vista eléctrico según [1] se representa como el siguiente circuito (Figura 3-1):

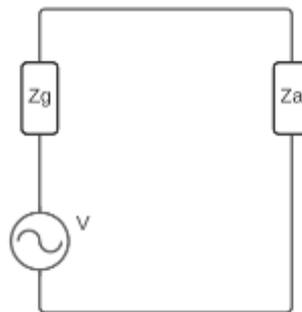


Figura 3-1 Modelo de sistema transmisor con antena como circuito eléctrico (elaboración propia)

Donde la antena equivale a $Z_a = R_a + jX_a$. En esta expresión la parte resistiva se pueden diferenciar dos componentes:

$R_a = R_p + R_r$ donde R_p es la resistencia de pérdidas que representa las pérdidas en forma de calor y R_r es el equivalente a una resistencia ficticia llamada resistencia de radiación, equivale a la potencia que se está radiando hacia el exterior.

jX_a se refiere a que se puede comportar como elemento capacitivo o inductivo.

El rendimiento de la antena se expresa como el cociente entre la potencia radiada por la antena p_{tr} y la potencia entregada por el generador p_t , obteniéndose así la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{R_r}{R_p + R_r} \times 100$$

Las características de radiación de una antena son las siguientes:

Ancho de banda: margen de frecuencias entre los que va a trabajar la antena. Se selecciona la franja de frecuencias en función de las características o parámetros que se quieran cumplir.

Directividad: es una forma de medir la potencia radiada hacia una dirección. Se calcula como el cociente entre la potencia radiada, a una distancia R, en la dirección de máxima radiación y la potencia total radiada entre el área de la esfera de radio R. Se puede obtener a partir del diagrama de radiación o multiplicando la ganancia por la eficiencia. La relación delante/atrás es un importante parámetro para el diseño de antenas en reacción a interferencias, y es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección útil y la que es radiada por el lóbulo trasero.

Ganancia: se puede definir como una medida del grado de directividad del diagrama de radiación de una antena. Se calcula como relación entre la potencia radiada a una distancia R y la potencia total que llega a la receptora entre el área de una esfera de radio R. La ganancia y la directividad están relacionadas por el parámetro de la eficiencia.

$$\eta = \frac{G}{D}$$

Rendimiento: tal y como se ha definido anteriormente es la relación que existe entre la potencia de radiación y la potencia total aplicada a la antena.

Polarización: es la orientación del vector del campo eléctrico a una cierta distancia de la antena. La polarización puede ser lineal, y tomar orientaciones horizontal, vertical o 45°. Y también existen elíptica o circular que a su vez pueden ser a derechas o a izquierdas dependiendo del sentido de giro del campo.

Impedancia y resistencia características, que ya han sido definidas anteriormente.

3.1.1 Diagrama de radiación de antenas

Un diagrama de radiación consiste en la expresión gráfica o analítica de la variación de la intensidad del campo, la ganancia o la potencia en función de la posición de la antena. Se puede representar en valores relativos o absolutos. Existen infinidad de diagramas de radiación, pero los más usados son los tridimensionales (Figura 3-2) y los bidimensionales (Figura 3-3) en coordenadas cartesianas o polares. Las unidades suelen ser logarítmicas (dB).

La expresión analítica del diagrama de radiación es la función $G(\theta, \phi)$:

$$F(\theta, \phi) = \frac{G(\theta, \phi)}{G_{max}}$$

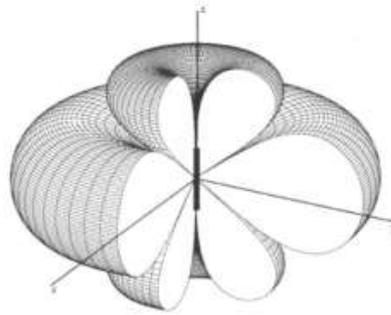


Figura 3-2 Diagrama de radiación tridimensional [2]

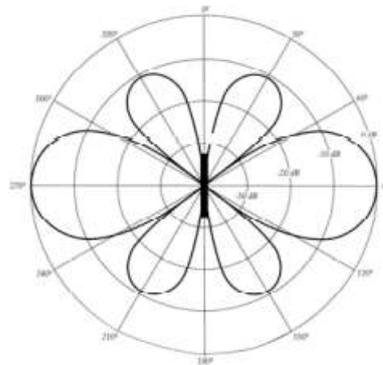


Figura 3-3 Diagrama de radiación bidimensional [2]

Los diagramas de radiación están compuestos por lóbulos, en función de su nivel de radiación y su posición se pueden clasificar en diferentes tipos: Lóbulo principal: contiene la dirección de máxima radiación. Lóbulo secundario: el resto de lóbulos que no son principales. Lóbulos laterales: lóbulos adyacentes al lóbulo principal. Lóbulo trasero: lóbulo en la dirección contraria a la del lóbulo principal.

Además, analizando del diagrama de radiación se pueden determinar los siguientes parámetros que caracterizan una antena [3]:

Relación delante-atrás: relación entre el lóbulo principal y el lóbulo trasero.

SLL (Side Lobe Level): expresa la diferencia de potencia en dB entre el lóbulo principal y el más grande de los secundarios, se denomina nivel de lóbulos secundarios.

Ancho de haz: determina el ángulo que ocupa el lóbulo principal. En función de este parámetro se puede determinar la directiva que es la antena. Se pueden definir diferentes anchos de haz: Ancho de haz entre nulos: mide el ángulo del lóbulo principal entre las direcciones en las cuales la radiación es nula y Ancho de haz a mitad de potencia: se mide la anchura del lóbulo principal entre los valores en los que la potencia toma un valor igual a la mitad del valor máximo, o el valor máximo menos 3dB en caso de estar trabajando en unidades logarítmicas.

3.1.2 Métodos de obtención de diagramas de radiación de antenas

El procedimiento para obtener los diagramas de radiación puede ser de forma analítica con la expresión que se ha explicado en el apartado anterior, mediante un *software* de simulación teniendo en cuenta todas las características de la antena, en cámaras anecoicas o de forma práctica con una serie de sensores que miden el campo en función de la orientación de la antena.

Este último procedimiento suele ser sencillo y se puede realizar en un laboratorio o en el emplazamiento donde se encuentre la antena. Consiste en realizar una serie de mediciones del campo en las distintas orientaciones y realizar un diagrama ya sea en coordenadas polares o cartesianas.

3.1.3 Medición de diagramas de radiación de antenas en buques

Como ya se ha explicado en (1.1) el proceso de medición del diagrama de radiación no es sencillo. Por ello, se ha llegado a un sistema de medida que consiste en lo siguiente:

- La unidad describirá evoluciones lo más circulares posibles (cada vez más precisas) y del menor diámetro táctico posible (habitualmente unas 500 yardas).
- Se asumen las diferencias de señal obtenidas en recepción debidas a esas 500 yardas (dado que la unidad suele en un radio de entre 3 y 6 millas éstas son menores a 1dB, lo cual es perfectamente asumible para la representación de un diagrama).
- Solo interesan niveles relativos en recepción para obtener el diagrama.
- Se estudian las antenas a las que se les va a sacar el diagrama de radiación, y se hace un plan de emisiones que permita hasta 6 simultáneas sin interferencias.
- En dicho plan se tiene en cuenta las bandas donde puede aparecer multitrayecto y en base a esto se busca una posición del buque que minimice tal efecto, garantice la seguridad en la navegación y responda a los criterios de campo lejano. Esta parte siempre es una aproximación debido a la imposibilidad de controlar factores como:
 - a) Necesidad de gobernar tráfico presente durante medidas.
 - b) Fallos en la transmisión de los equipos que tendrán que poner las emisiones en el aire (lo cual es más frecuente de lo que se podría considerar).
 - c) La necesidad de múltiples transmisiones a la vez requiere de una adecuada preparación y coordinación por parte de la dotación y no siempre es posible.
 - d) Fallos en recepción ante posibles incidencias.

Todos estos factores implican retrasos en las franjas horarias determinadas para las medidas lo que supone la variación de la ventana temporal estimada y por tanto de las condiciones de propagación.

A continuación, se muestra el ejemplo (Figura 3-4) de la afección del multitrayecto en la medida de un diagrama de cobertura de un radar de navegación:

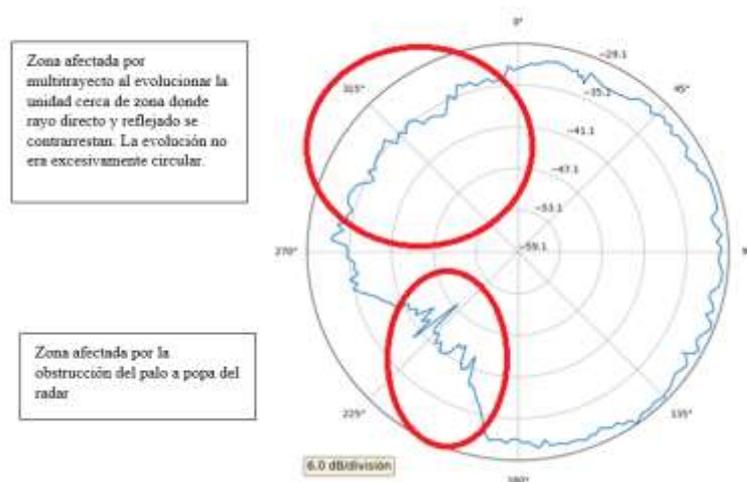


Figura 3-4 Diagrama de radiación afectado por el efecto multitrayecto (Figura proporcionada por el CEMDEN)

A continuación, se muestra el diagrama de radiación del mismo radar (Figura 3-5), una vez solventado el problema del multitrayecto.

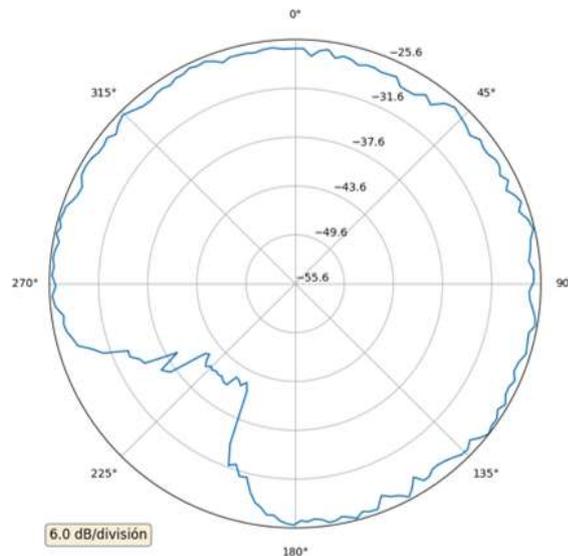


Figura 3-5 Diagrama de radiación (figura proporcionada por el CEMDEN)

Es por ello por lo que el disponer de una herramienta que permita monitorizar en tiempo real la situación de los radioenlaces respecto al multitrayecto permitiría visualizar de antemano posibles afecciones, modificando en caso necesario la ubicación de la unidad y reduciendo así el número de medidas afectadas por esta problemática.

3.1.4 Campo radiado por una antena

Para entender el campo producido por una antena, primero se van a explicar las propiedades generales de un campo magnético en el espacio libre según [1]:

1. El vector campo magnético y el vector campo eléctrico son ortogonales.
2. Z_0 es una constante denominada impedancia característica del medio característica del medio de propagación y se calcula como el cociente entre los módulos de los vectores del campo eléctrico y magnético.
3. Los parámetros permitividad μ_0 y constante dieléctrica del medio ϵ_0 determinan la velocidad de fase de la onda electromagnética.
4. La densidad de flujo de potencia es igual al módulo del vector de Poynting $\phi = \frac{|e_{Re}|^2}{120\pi}$.

Se define como dipolo elemental o elemento de corriente, a un hilo conductor, tan delgado que no se tiene en cuenta su área transversal y cuya longitud es mucho menor que la longitud de onda. Por el circula una corriente eléctrica que varía senoidalmente de amplitud I_m . Este concepto de elemento de corriente es inexistente en la práctica es de gran ayuda a la hora de realizar análisis de las antenas reales, ya que se puede considerar que estas están formadas por un gran número de elementos de corriente. Al ser la longitud del elemento mucho menor que la longitud de onda, se puede asumir que la corriente se distribuye de forma uniforme a través de él, en la siguiente figura (Figura 3-6) se muestra la geometría que se empleara en el análisis del campo radiado [4].

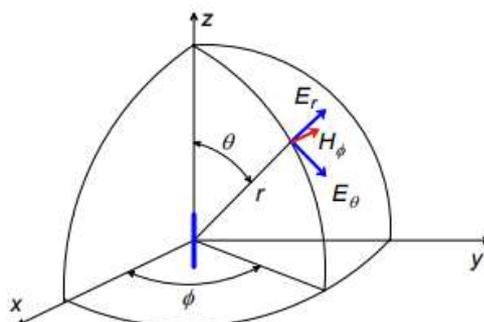


Figura 3-6 Geometría para el análisis del campo producido por un elemento de corriente [4]

El análisis teórico para la obtención de las componentes de los campos magnético y eléctrico que produce un elemento radiante queda fuera del contexto de este trabajo de fin de grado, es por eso que aquí se resumen las expresiones para calcular dichas componentes:

$$\begin{aligned}
 E_r &= \frac{I_m l e^{-j\beta r} \cos\theta}{4\pi} \left(\frac{2Z_0}{r^2} + \frac{2}{j\omega\epsilon r^2} \right) & H_r &= 0 \\
 E_\theta &= \frac{I_m l e^{-j\beta r} \sin\theta}{4\pi} \left(\frac{j\omega\mu}{r} + \frac{Z_0}{r^2} + \frac{1}{j\omega\epsilon r^3} \right) & H_\phi &= \frac{I_m l e^{-j\beta r} \sin\theta}{4\pi} \left(\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \\
 E_\phi &= 0
 \end{aligned}$$

Donde las componentes radial y cenital del campo eléctrico son E_r y E_θ . La componente azimutal de este E_ϕ vale cero. La componente azimutal del campo magnético es H_ϕ , mientras que las componentes radial y cenital H_r y H_θ valen cero. Las componentes azimutal y cenital son componentes con una dirección transversal a la dirección r de propagación. Estas dos componentes son las de interés al ser las que contribuyen a la potencia recibida.

3.1.4.1 Zona de campo lejano (distancia de Fraunhofer)

El espacio que rodea a una antena se puede dividir en 3 secciones [3]:

Campo cercano: es la región más próxima a la antena donde es predominante el campo reactivo. Se considera campo cercano todo lo que sea inferior a la siguiente distancia, donde D es la distancia entre el punto de observación y la fuente:

$$d < 0.62 \cdot \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

En el campo cercano la potencia se irradia desde la antena y parte de la potencia se guarda temporalmente. Por esta razón también se le llama campo de inducción. En esta región no se puede hablar de dirección de propagación ni de diagrama de radiación. En este campo no existe ninguna pauta general de comportamiento al ser dependiente de como sea la antena y su entorno. La relación entre campo magnético y eléctrico se vuelve muy compleja. Además, esta región se puede dividir entre campo cercano inductivo o capacitivo.

Campo próximo radiante: región entre el campo cercano o reactivo y el campo lejano. Los campos de radiación son predominantes pero su distribución angular es en función de la distancia a la antena. Se considera campo radiante cuando:

$$d < 0.62 \cdot \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} < d < \frac{D^2}{\lambda}$$

Campo lejano: la distribución angular es independiente de la distancia a la antena. En esta región la potencia que alcanza continúa irradiando y nunca regresa a la antena. A estas distancias la onda se comporta como un frente de fase esférico que se propaga en dirección radial. La trayectoria del frente coincide con la línea de visión, la mayoría de las aplicaciones de las ondas radioeléctricas trabajan en esta región. El campo lejano comienza a la siguiente distancia:

$$d > \frac{D^2}{\lambda}$$

3.2 Propagación de ondas por onda espacial

Las ondas electromagnéticas se propagan de diferentes maneras en diferentes frecuencias. Este trabajo se va a centrar en la propagación por onda espacial que se da en las bandas VHF o superiores ya que comprende el rango de frecuencias en el que trabajan los radares y los equipos de comunicaciones de la Armada. La región de la atmosfera donde se da este tipo de propagación es la troposfera.

3.2.1 Mecanismos de propagación

Reflexión: (Figura 3-7) Cuando una onda electromagnética experimenta un cambio de medio, parte o la totalidad de ella puede propagarse en el nuevo medio y el resto se refleja. La parte de la onda que entra en el nuevo medio se llama onda transmitida y la otra onda reflejada [5].

Las reglas que rigen el reflejo de las ondas de radio son las mismas que gobiernan las ondas de la luz una gran variedad de superficies puede reflejar las ondas radio. El mar proporciona una de las mejores superficies reflectantes para las comunicaciones a larga distancia.

Una de las consecuencias de la reflexión de ondas electromagnéticas en objetos y superficies es el efecto de multitrayecto, sobre el que más adelante se profundizará.

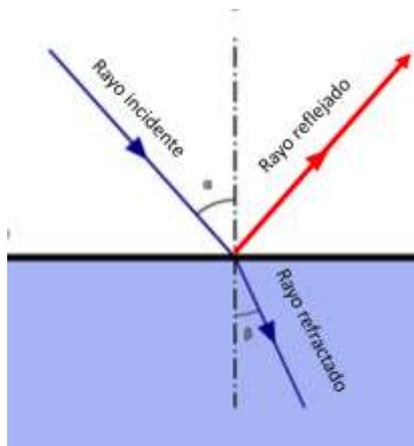


Figura 3-7 Fenómenos de reflexión y refracción

Refracción: (Figura 3-7) La refracción se produce en el límite entre dos medios con distinto índice de refracción. Lo que ocurre es que en este límite algunas ondas se reflejan y otras entrarán en el medio y serán refractadas. Este fenómeno se rige por la ley de Snell [5].

La troposfera es la capa de la atmosfera más próxima a la tierra, esta depende de las condiciones atmosféricas por lo que el índice de refracción no es constante. Esto se traduce en que los rayos describen una trayectoria curva. Esta capa se extiende desde el suelo hasta 15 km aproximadamente dependiendo de la latitud. Los parámetros que la caracterizan son los siguientes. Presión del vapor de agua o humedad: este factor disminuye con la altura. Este vapor proviene de la evaporación del agua de ríos, mares y océanos. La propia naturaleza es la responsable que de que los niveles de humedad no sean uniformes y además sean variables. Presión atmosférica: teniendo en cuenta que la troposfera contiene cuatro quintos de la masa del aire de la atmosfera, se puede deducir la importancia que tiene la presión atmosférica en esta capa. Temperatura absoluta: la troposfera apenas se ve afectada por el sol, sin embargo, la superficie terrestre que, si absorbe el calor proveniente del sol, se convierte en una fuente de calor que aumenta la temperatura de la troposfera. Otro factor que tiene gran repercusión en esta capa son las corrientes de aire.

Según [6], el índice de refracción en la troposfera es parámetro n depende de la presión atmosférica, la presión del vapor de agua y la temperatura absoluta. Por comodidad esta ecuación se puede aproximar por la siguiente función: $\frac{dn}{dh} = -0,039 \cdot 10^{-6}(m^{-1})$. En función de este parámetro los rayos pueden seguir distintas trayectorias (Figura 3-8).

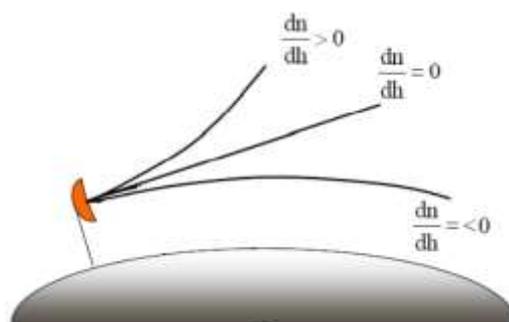


Figura 3-8 Trayectorias de las ondas en función del índice de refracción [6]

La curvatura de un rayo electromagnético se calcula como la diferencia de curvaturas entre la de la onda y la de la tierra siendo la curvatura de la tierra $\sigma_T = -1/R_0$

$$\sigma_{RT} = \sigma_R - \sigma_T$$

El concepto de tierra ficticia sirve para calcular el despejamiento considerando la tierra curva y la trayectoria rectilínea. Esto simplifica el análisis de los efectos de la reflexión y la difracción.

El modelo de propagación de tierra plana es un concepto que se utiliza cuando el enlace se realiza a distancias cortas, alturas reducidas y con terreno liso se puede desprejarse la curvatura terrestre y usar el modelo de tierra plana. En este modelo (Figura 3-9) es muy utilizado ya que simplificará en gran medida los cálculos.

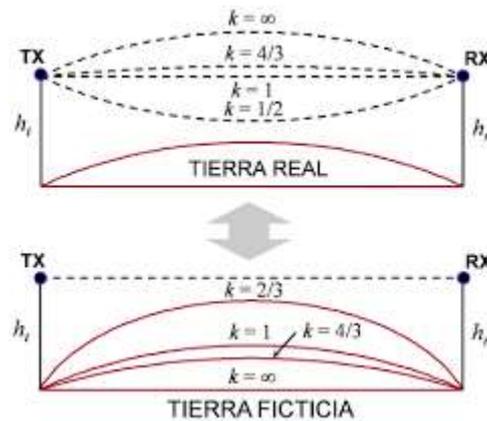


Figura 3-9 Modelo de propagación de tierra plana [2]

Donde ψ es el ángulo de incidencia $\psi = \arctan\left(\frac{h_t+h_r}{d}\right)$

Δ ángulo de desfase entre la onda directa y la onda reflejada $\Delta = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d}$.

El campo debido a la zona de trabajo del modelo de tierra plana se puede calcular como $e = e_0 \frac{4\pi h_r h_t}{\lambda d}$.

Y por último la pérdida básica de propagación será $l_b = \frac{d^4}{h_r^2 h_t^2}$.

Difracción: fenómeno que ocurre cuando las ondas de radio se cruzan con un objeto. Al encontrarse con un obstáculo durante la propagación una onda de radio cambia en amplitud y fase, entra en la zona de sombra, y se desvía de su camino recto. Este fenómeno es una de las razones por las cuales las ondas de radio se reciben más allá de la línea de visión [5].

Dispersión: Se da cuando una onda golpea un objeto o una superficie rugosa comparable a la longitud de onda, provocando que la onda se disipe en varias direcciones.

3.2.2 Balance de enlace

Además de la selección del equipo de radio y sus parámetros de funcionamiento, los factores más importantes que determinan el rendimiento del enlace de radio incluyen la ubicación correcta de la antena, la planificación correcta del enlace de radio y la selección de canales libres de interferencias. Solo con un buen plan para el enlace de radio, los operadores pueden controlar el desvanecimiento de la señal y los efectos de interferencia y lograr una alta disponibilidad de sus sistemas.

La planificación del radioenlace comienza con el cálculo del balance de potencias (Figura 3-10), para ello se deben conocer: las condiciones climáticas de la zona, la banda de frecuencias, las características específicas de los equipos que se van a usar: ganancias de las antenas, potencia del transmisor, sensibilidad del receptor y distancia entre antenas.

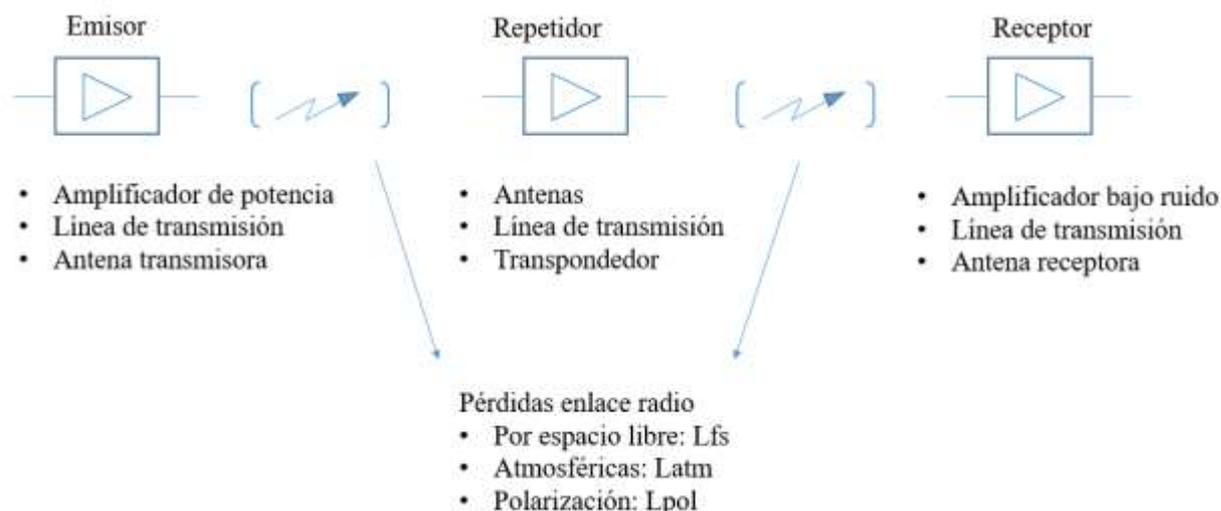


Figura 3-10 Balance de enlace

La fórmula de Friss consiste en una caracterización del enlace en términos de balances de potencia. Esta fórmula expresa la potencia entregada al receptor en función de la potencia de transmisión y las pérdidas y ganancias existentes entre el emisor y el receptor.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

3.2.3 Alcance óptico

SE define propagación con línea de vista aquellos escenarios en los que la línea que une el emisor y el receptor está libre de obstáculos, es decir, Hay visión directa. Es necesario emplear antenas directivas y que estén bien orientadas.

Para poder garantizar que exista este tipo de enlace es necesario garantizar que el objeto más cercano mantiene cierta distancia respecto a la línea que une los equipos. La razón de esto es que la potencia de la señal no se concentra en un rayo si no que es distribuida en forma de elipsoide alrededor de la línea de visión. Este espacio se denomina elipsoide de Fresnel, del que se habla en el siguiente apartado. La distancia de visibilidad entre dos antenas será $d_{vis} = \sqrt{2h_t R_T} + \sqrt{2h_r R_T}$. Donde h_t y h_r son las alturas de las antenas transmisora y receptora, y R_T es el radio de la Tierra.

3.2.4 Elipsoides de Fresnel

Para que un trayecto de propagación de la línea de visión directa se considere sin obstáculos, debe existir un volumen mínimo libre de obstáculos alrededor de la línea de visión. Esta zona requerida se denomina elipsoide de Fresnel.

En teoría hay un número infinito de zonas de Fresnel concéntricas para un enlace, pero es la primera (la más interna) la que define el área crítica de retención para un a LOS sin obstáculos. El radio de este primer elipsoide (Figura 3-11) tiene la siguiente fórmula: $R_1 = 548 \cdot \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fD}}$. Donde d_1 y d_2 son las distancias desde cada antena al obstáculo, D es la distancia entre antenas y f es la frecuencia del enlace.

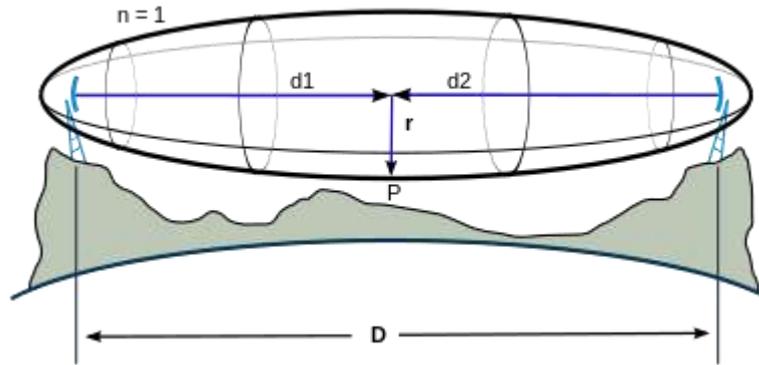


Figura 3-11 Elipsoides de Fresnel [7]

Cuando los obstáculos se introducen en la primera zona de Fresnel, pero no bloquean la trayectoria LOS (*Line Of Sight*) se producen unas pérdidas en el nivel de la señal recibida debido a la difracción.

3.2.4.1 Pérdidas por obstrucción en el mar

Existe un problema importante en los enlaces sobre el mar: las reflexiones que se producen sobre él. La amplitud del haz reflejado es casi la misma que la del haz original. Existen dos posibilidades:

- Que la interferencia sea constructiva: y genere máximos y mínimos dependiendo de la altura de las antenas respecto al agua. Esto se produce cuando la superficie del agua toca la primera zona de Fresnel.
- Que la interferencia sea destructiva: cuando la superficie del agua está dentro de la primera superficie de Fresnel.

3.2.5 Fenómeno de multitrayecto

El efecto multitrayecto (Figura 3-12) está presente en la mayoría de enlaces radio. Es una característica que debe tenerse en cuenta al diseñar un sistema de comunicaciones radio. Este efecto es resultante de la variedad de trayectorias de la señal, provocada por múltiples reflexiones, difracciones y dispersiones que sufre la señal durante su trayectoria. Las antenas utilizadas en la transmisión y la recepción son un factor determinante en el número de trayectos que una señal puede tener. Las antenas directivas centraran la potencia en una dirección mientras que las no directivas irradiaran señales en todas direcciones.

En el ámbito militar puede afectar en aplicaciones radar, puede crear ecos falsos. Estos ecos se comportan como un contacto real y es difícil diferenciarlo de los contactos verdaderos. Como ya se ha explicado en (3.1.3) también puede afectar a la medición de los diagramas de radiación. Los principales efectos de este fenómeno son: cambios bruscos en la intensidad de la señal, modulación de frecuencia aleatoria y dispersiones en el tiempo.

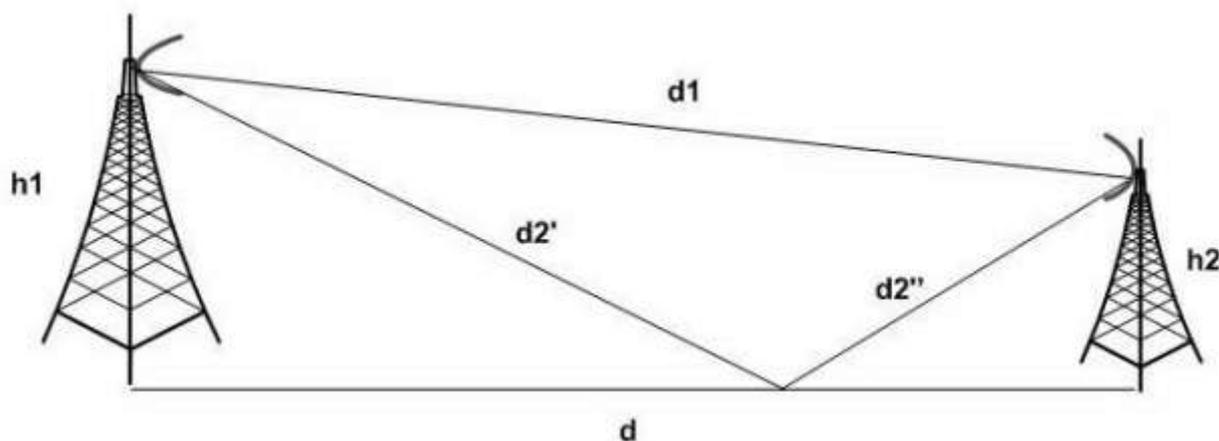


Figura 3-12 Efecto de multitrayecto [8]

Esta figura muestra un ejemplo simplificado. Teniendo en cuenta la separación y las alturas de las antenas podemos calcular las distancias d_1 y d_2 que son las distancias que recorren el rayo directo y el rayo reflejado.

- d_1 es la distancia que recorre el rayo directo. Al recorrer camino más corto posible entre el emisor y el receptor, recorre siempre una distancia menor que el rayo reflejado y tiene siempre una mayor amplitud que este. Esta distancia se calcula con el teorema de Pitágoras: $d_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}$.

- d_2 será la distancia que recorre el rayo reflejado. Este rayo llegará al receptor con una fase distinta y una amplitud menor que el rayo directo. Esta distancia se puede calcular con la siguiente fórmula: $d_2 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2}$.

- δ es la diferencia entre ambas distancias $\delta = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} - \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}$.

Se puede observar que en enlaces de largas distancias no hay apenas diferencia entre la distancia recorrida por ambos rayos, por lo que δ converge a 0. Para las distancias donde δ es múltiplo de λ la combinación de ambos rayos será destructiva. Cuando δ sea múltiplo impar de $\lambda/2$ la combinación será constructiva debido a que los rayos se suman en fase. Según este análisis δ depende de la distancia y la altura de las antenas por lo que si se hace una representación de la amplitud que se recibe en función de la distancia se observa (Figura 3-13) que aparecen ceros cuando δ es múltiplo par de $\lambda/2$ y aparecen máximos cuando δ es múltiplo impar.

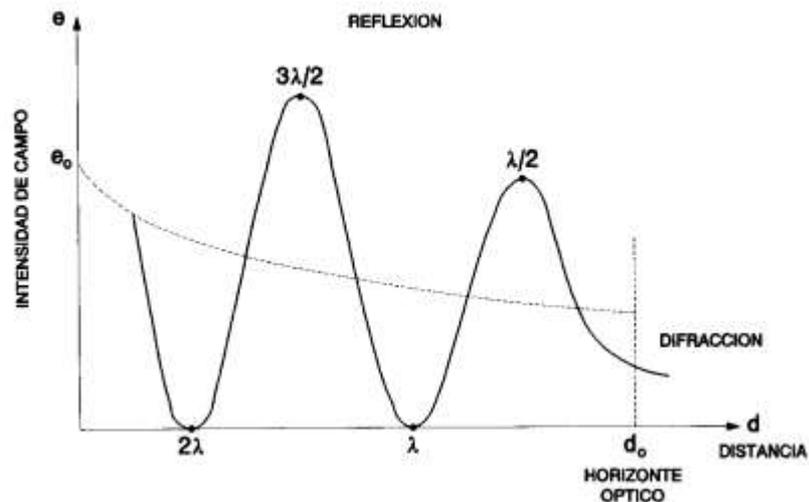


Figura 3-13 Variación del campo en función de la distancia [9]

La diferencia entre fases se calculará como:

$$\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda}$$

Si se considera que no hay onda de superficie y la altura de la antena es despreciable en comparación con la distancia entre las antenas, por lo que el ángulo de incidencia se puede tomar como despreciable resulta la siguiente expresión:

$$E = \frac{2e_0}{d_0} \cdot \left| \text{sen} \left(\frac{\varphi}{2} \right) \right|$$

Si se observa la gráfica se puede comprobar que a medida que aumenta la distancia el campo disminuye y además este oscila de forma sinodal en torno a los valores del campo e_0 , que es el valor del campo en condiciones de espacio libre.

3.2.5.1 Distancia crítica

También es conocida como *Fresnel Breakpoint* [8] y es la distancia donde se encuentra el último máximo y a partir de la cual no hay más nulos. En este punto la diferencia entre la distancia recorrida entre los dos rayos es la mitad de la longitud de onda.

Para calcular esta distancia crítica debemos igualar δ a $\lambda/2$. Obteniendo así la siguiente expresión:

$$d_{BP} = \frac{4h_1h_2}{\lambda}$$

3.2.5.2 Pérdidas por multitrayecto

Se pueden diferenciar dos tipos de desvanecimiento causado por este efecto: *Delay Spread Doppler Spread* [10].

El *Delay Spread* debido a la multitud de trayectorias. La señal sufre atenuaciones distintas en frecuencias diferentes debido a que los ecos introducen una dispersión temporal sobre la señal transmitida. Es por eso que el carácter selectivo del canal depende del ancho de banda de la señal transmitida. Las señales con un ancho de banda menor que el ancho de banda de coherencia del canal experimentan un desvanecimiento plano en frecuencia, mientras que las señales con un ancho de banda mucho mayor que el de coherencia del canal sufren un desvanecimiento selectivo en frecuencia.

Doppler Spread: se debe a la velocidad relativa y caracteriza los ecos sucesivos. El desvanecimiento selectivo en el tiempo es producido por un desplazamiento en las frecuencias espectrales de las señales transmitidas. Esto se manifiesta como una variación del ancho de banda de las señales transmitidas. El tiempo de coherencia se define como el tiempo en el cual el canal tiene un comportamiento invariable. Existen dos tipos de desvanecimientos de este tipo: Desvanecimiento lento si la velocidad de la señal transmitida (símbolos/seg) es menor que el tiempo de coherencia. Este desvanecimiento es resultante del entorno que rodea al emisor y al receptor, por ejemplo, se puede deber a la presencia de algún obstáculo de grandes dimensiones. El otro tipo es el desvanecimiento rápido, que se da cuando la velocidad de propagación de la señal (símbolos/seg) es mayor que el tiempo de coherencia. La señal recibida es el resultado de la suma de todas las trayectorias que ha seguido la señal, cada una llega con una fase, una amplitud y un retardo distinto.

3.2.5.3 Modelos de desvanecimiento por multitrayecto

Según la relación entre el ancho de banda de la señal y el de coherencia del canal se puede diferenciar entre canal de banda ancha o canal de banda estrecha. Para los canales de banda estrecha el desvanecimiento por multitrayecto es plano y puede producir pequeños cortes. En cambio, cuando se da el efecto multitrayecto en canales de banda ancha es necesario modelar los desvanecimientos. Existen varios modelos para predecir las pérdidas por multitrayecto:

Modelo de Rician: se caracteriza por la existencia de una línea de visión directa, y varias ondas reflejadas. Esta viene dada por la siguiente expresión:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2+r_s^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{rr_s}{\sigma^2}\right)$$

Donde:

σ es la desviación típica.

r_s es la amplitud del rayo directo.

r es la amplitud de la envolvente de la señal recibida.

I_0 es la función de Bessel.

Modelo de Rayleigh: se utiliza cuando existe una interrupción por un obstáculo en la línea de visión directa. Es en estos casos en los que el multitrayecto permite que exista el enlace a producirse la suma de todas las contribuciones.

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right] & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & r < 0 \end{cases}$$

Donde:

r es la envolvente de la señal.

σ desviación típica.

Distribución Log-Normal: Se da en interiores sin línea de visión directa, con variaciones de movimiento y efecto de multitrayecto. Por ejemplo, cuando uno habla por teléfono y atraviesa un túnel en un vehículo y rodeado de más vehículos. Se expresa con la siguiente fórmula:

$$p_{\%} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Donde

x es la variable aleatoria.

μ es la mediana de x .

σ la desviación estándar que depende del entorno del receptor.

3.3 Mareas

Son variaciones periódicas del nivel del mar, se deben a las fuerzas gravitatorias del Sol y la Luna respecto a la Tierra, el efecto de la Luna es más importante que el del sol debido a la proximidad de esta. La consecuencia de estas fuerzas gravitatorias es el movimiento de grandes masas de agua, eso que lo que provoca esa variación periódica del nivel mar que son periódicas y predecibles.

3.3.1 Ciclos de mareas

En el ciclo de las mareas existen máximos y mínimos denominados bajamar y pleamar, la diferencia entre estas dos medidas se denomina amplitud de la marea. La pleamar es el momento en el cual el mar alcanza su nivel más alto, por el contrario, la bajamar es el momento en el que el mar se encuentra en su nivel más bajo. El intervalo entre dos pleamares o dos bajamares son 12 horas y 25 minutos. La pleamar y la bajamar se produce 50 minutos más tarde cada día debido a que la luna también se retrasa 50 minutos cada día en su paso por el meridiano. La duración de un ciclo de marea coincide con la mitad de un día lunar que tiene una duración de 24 horas y 50 minutos [11].

3.3.2 Tipos de mareas

Marea diurna: consiste en una pleamar y una bajamar cada día lunar. Son características de las latitudes bajas.

Marea semidiurna: tiene dos pleamares y dos bajamares al día, con una altura muy similar. Es decir, durante un día lunar cada 6 horas y 13 minutos se produce una bajamar o una pleamar. Es el caso de la costa cantábrica española.

Mixtas: en este tipo de mareas hay dos bajamares y una pleamar, o, al contrario, dos pleamares y una bajamar.

Ya que la causa principal de las mareas es la fuerza gravitatoria dos astros, la posición relativa de estos sobre la tierra, hará que en determinados momentos estas fuerzas se sumen dando lugar a mareas más altas de lo normal, o que se resten provocando mareas más bajas de lo normal.

Mareas vivas: Cuando los tres astros, sol, luna, tierra se encuentra en la misma línea las fuerzas gravitatorias de la luna y el sol que mueven las masas de agua se suman, por lo que se producen pleamares mayores que las de valor normal. Dentro de las mareas vivas existen dos tipos: de conjunción cuando la luna esta entre la tierra y el sol, y de oposición cuando la tierra está entre la luna y el sol.

Mareas muertas: se dan cuando la luna y el sol forman un ángulo de 90 grados respecto al centro de la tierra. En este caso se restan las fuerzas de atracción.

3.3.3 Métodos de predicción de las mareas

Existen varias formas de calcular la altura de las mareas a continuación se van a exponer tres de ellas [12].

Constantes armónicas: En España el Instituto Hidrográfico de la Marina es el que realiza la predicción oficial de las mareas y publica cada año el Anuario de Mareas. Para elaborar estas predicciones se ajusta por mínimos cuadrados una serie de datos de un mareógrafo situado en el puerto de interés según la siguiente expresión, estos datos son conocidos como series temporales.

$$\eta(t) = a_0 + \sum_{n=1}^k a_n \cos(\omega_n t + \alpha_n)$$

A esta fórmula se le aplican una serie de correcciones que se obtienen del anuario de mareas.

Donde $\eta(t)$ es la altura del mar en un tiempo t determinado, a_0 es la altura media del mar, a_n la amplitud y $\alpha(n)$ fase de las k componentes armónicas utilizadas para ajustar la serie temporal y ω_n sus frecuencias angulares. La precisión de estas predicciones dependerá del número k de mediciones que sea posible obtener. El programa RIMA (Red Integrada de Mareógrafos) es el encargado de obtener las series temporales que se utilizan para las predicciones del anuario de mareas. Es una colaboración del Instituto Geográfico Nacional, Instituto Español de Oceanografía, Instituto Hidrográfico de la Marina y Puertos de Estado. La cantidad de datos de una serie temporal puede variar, es por eso que se pueden distinguir dos categorías en las predicciones del Anuario:

Un puerto principal es aquel del que se dispone de al menos un año de mediciones. La precisión en estos puertos es de 1 centímetro en las alturas y 1 minuto en las horas.

Puerto secundario es aquel del que se disponen datos de menos de un año.

Regla de los doceavos: Consiste en una simple regla para calcular la altura aproximada de la marea de forma rápida. Esta regla se basa en que en la costa española se dan mareas semidiurnas, la duración de la creciente o vaciante es de 6 horas.

De esa manera el nivel del mar aumenta $1/12$ de la amplitud total durante la primera hora, $2/12$ durante la segunda hora, $3/12$ durante la tercera y cuarta hora, $2/12$ durante la quinta y finalmente $1/12$ durante la sexta hora.

Esta regla nos permite conocer aproximadamente la altura de la marea en un instante determinado, solo conociendo las alturas y las horas de las pleamares y bajamares.

Método de las constantes no armónicas o método de Laplace: permite calcular la altura de la marea en lugares donde no se dispone de series temporales. Este método se basa en tres constantes no armónicas que con características de cada puerto: coeficiente de marea, establecimiento del puerto y la unidad de altura. Es necesario conocer la hora de paso de la Luna por el meridiano superior o inferior del lugar donde queremos conocer la marea, dato que se extrae del Almanaque náutico. Con este método es posible conocer las horas de las pleamares y bajamares y la altura de la marea a una determinada hora.

3.3.4 Fuentes de obtención de datos de mareas

Las fuentes seleccionadas para la obtención de datos ha sido la página web de Puertos del Estado y del Instituto Hidrográfico de la Marina.

La diferencia principal entre estas dos fuentes consiste en la longitud de las predicciones. Mientras que Puertos del estado proporciona unas predicciones para tres días, el Instituto Hidrográfico de la Marina proporciona unas predicciones para un mes.

Otra diferencia es la frecuencia de los datos de la altura de la marea. De la página de puertos del estado se extrae una altura de la marea para cada hora, contando con un total de 24 datos para cada día, sin embargo, de la página de defensa se extrae solo la altura de la bajamar y la pleamar, es decir, se cuenta con 3 datos para cada día.

3.3.4.1 Puertos de Estado

Esta página web [13] (Figura 3-14) permite seleccionar la ubicación de donde se quieren obtener los datos y ofrece tanto predicciones como medidas en tiempo real del nivel del mar en numerosos puertos y playas con tres días de antelación. La presentación de datos es la siguiente:

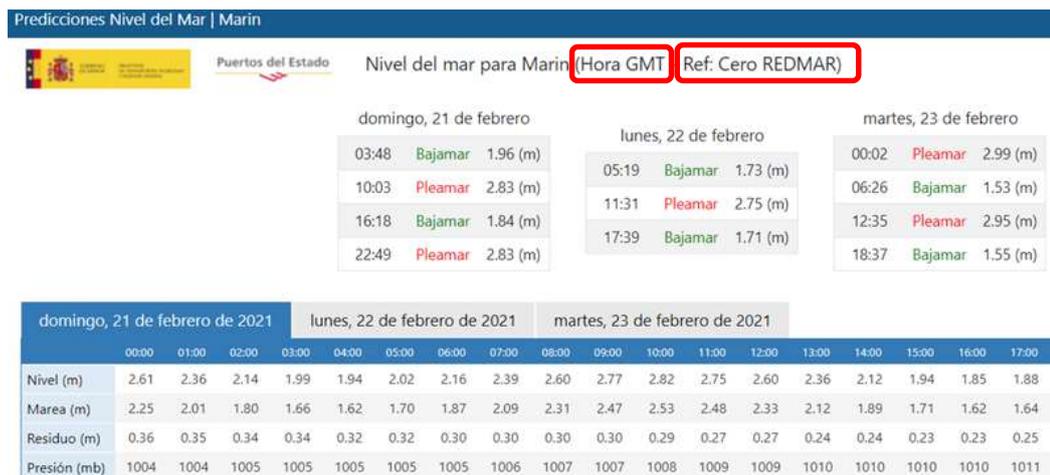


Figura 3-14 Página web Puertos del Estado [13]

A continuación, se van a explicar una serie de conceptos necesarios para la interpretación de los datos que se presentan.

En la parte superior se hacen dos indicaciones de gran importancia, ambas esta recuadradas en rojo.

La primera es que las horas que se ven son horas GMT. Dato que habrá que tener en cuenta a la hora usar la Interfaz Gráfica.

La segunda indica el nivel de referencia que se toma, este variará en función de la ubicación. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene como misión establecer el origen de altitudes en tierra o cero geodésico. En la Península Ibérica se utiliza el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) obtenido a partir de datos de nivel del mar en este puerto, durante la década 1870-1880. El cero hidrográfico es establecido por el IHM y se utiliza para la publicación del Anuario de Mareas y las cartas náuticas. Este nivel coincide con el nivel más bajo y varia a lo largo de la costa. Las series temporales de los mareógrafos permanentes ubicados en los puertos son usadas para la monitorización y cálculo de esta referencia. Este conjunto de mareógrafos situados en los puertos se denomina REDMAR. Existe otro nivel de referencia, el cero REDMAR es el cero utilizado por cada mareógrafo, que puede coincidir o no con el cero hidrográfico.

En los puertos de Marín y Ferrol que son las opciones que ofrece la Interfaz, los niveles de referencia provienen del cero REDMAR.

En cuanto a la tabla del inferior de la imagen, se puede observar que proporciona distintos datos en intervalos de una hora. Los datos que se presentan son los siguientes: 'Nivel (m)' es la predicción en localidades costeras de nivel del mar (el nivel del mar es la suma de la marea astronómica más el efecto del viento y la presión atmosférica). 'Marea' es la marea astronómica. 'Residuo(m)' se refiere al residuo meteorológico que es la variación de la altura del nivel del mar, provocada por la acción conjunta de la presión y el arrastre del viento. Y 'Presión' es la presión atmosférica en mb. Esta es la tabla de donde se van a extraer los datos para el programa.

3.3.4.2 Instituto Hidrográfico de la Marina.

Esta fuente también permite seleccionar la ubicación y proporciona una gráfica con la variación de la altura de la marea para una predicción de un mes, si se mueve el ratón sobre la gráfica se va mostrando el dato de la altura de la marea en cualquier momento del mes, Además en la esquina inferior derecha hay un icono que pone 'descargar datos'. Pinchando en ese icono se descarga en un fichero de texto que contiene las bajamares y las pleamares de cada día para todo el mes (Figura 3-15) y la hora a la que se producen, estos serán los datos que se extraigan de esta página web. El nivel de referencia para todos los puertos es el cero hidrográfico.

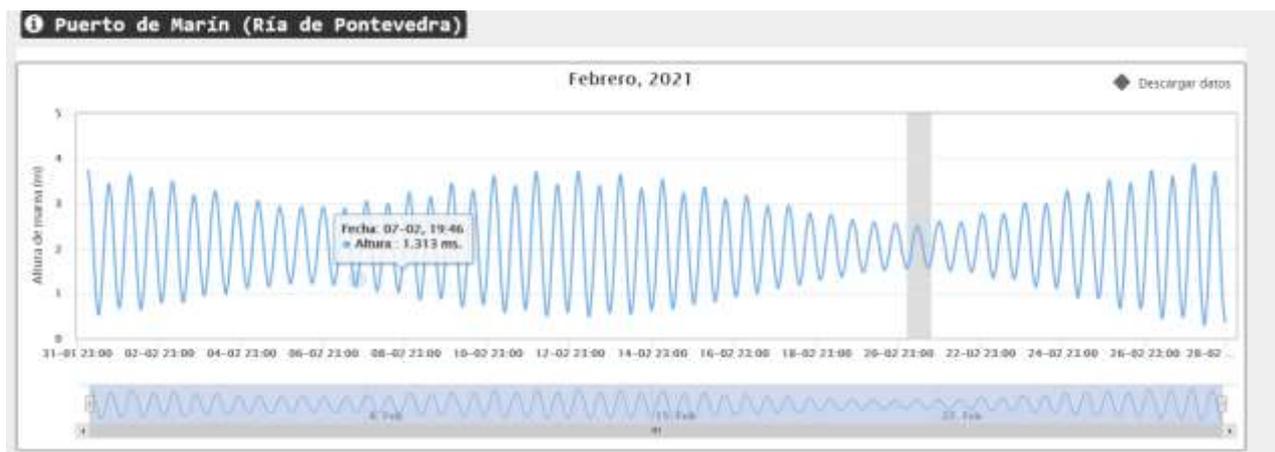


Figura 3-15 Página web Instituto Hidrográfico de la Marina [14]

La página web contiene un apartado de enlaces de interés (Figura 3-16) donde se puede obtener una reseña de la estación de mareas desde la que se están recogiendo los datos u obtener los coeficientes del Almanaque Náutico del IHM necesarios para el cálculo manual de la altura de la marea.



Figura 3-16 Página web Instituto Hidrográfico de la Marina [14]

4 DESARROLLO

4.1 Requisitos funcionales

A continuación, se van a exponer una serie de requisitos funcionales del programa diseñado en este trabajo:

El primero de ellos es que sea desarrollado en Matlab debido a que es un programa matemático con un lenguaje de programación propio que está disponible para las plataformas Unix, Windows, macOS y GNU/Linux, por lo que no habría ningún tipo de problemas de compatibilidad con los sistemas operativos del CEMEDM ya que ellos poseen la licencia para usar el programa. Además, este programa permite operar con matrices, vectores, implementación de algoritmos, creación de interfaces gráficas y permite la comunicación con otros lenguajes y otros dispositivos hardware. Otra ventaja es que cuenta con numerosas extensiones y aplicaciones que se pueden descargar fácilmente desde la página de Matworks, por ejemplo, en este trabajo se ha usado la extensión 'Cf tool' que permite el ajuste y la aproximación de curvas.

Calcular el campo recibido en la antena receptora en función de la distancia a la que estén separadas las antenas será otro de los requisitos funcionales ya que es lo que va a permitir calcular o prever donde se producirá el error a la hora de realizar las mediciones, y ese es el principal problema que se pretende solucionar con este trabajo. Otro requisito es la representación gráfica de resultados, es decir que cualquier persona con escasos conocimientos en la materia será capaz de interpretar y entender los resultados de forma rápida tan solo con mirar la pantalla. Para ello se van a realizar una serie de gráficas con todas las lecturas e indicaciones necesarias.

También se le requiere al programa que sea capaz de calcular la altura de la marea a una determinada hora a través de predicciones que realice el mismo programa. Estas predicciones deben ser de al menos días de antelación a la fecha de realización de la campaña de medidas, de esta manera será posible planificarla.

El programa debe ser interactivo, es decir que permita al usuario introducir o cambiar le valor de determinados parámetros. De esta manera será posible planificar y prever campañas de medidas en diferentes escenarios y con diferentes unidades usando un único programa. Para cumplir este requisito será necesario implementar una interfaz en Matlab con la aplicación App Designer.

Otro de los requisitos será la posibilidad de mejorar o implementar el programa fácilmente, es decir, que este estructurado en bloques o módulos que proporciones flexibilidad a la hora de modificarlo.

Por último, el programa debe poder funcionar incluso sin conexión a internet.

4.2 Diseño del software

Para el diseño de este software se ha optado por una programación modular en Matlab. En este tipo de programación los programas se pueden desarrollar más rápido porque los pequeños módulos independientes son más fáciles de entender, diseñar y probar que los grandes programas. El código escrito para un programa suele ser útil en otros programas. La programación modular permite guardar estos módulos para uso futuro. Debido a que el código es reubicable, el módulo guardado se puede vincular a cualquier otro programa que cumpla con los requisitos de entrada y salida. Un módulo es más pequeño que un programa completo, por lo que es más fácil de probar. Cada módulo se puede escribir y probar por separado del resto del programa. Después de probar el módulo, puede usarlo en un nuevo programa sin tener que probarlo nuevamente. Cuando el programa debe modificarse, la programación modular puede simplificar el trabajo. Los módulos nuevos o depurados se pueden vincular a programas existentes sin cambiar el resto del programa.

El software está compuesto una interfaz gráfica y las siguientes funciones, que se explicarán con detalle más adelante:

- ‘calcula_campo’ que es la encargada de calcular el campo recibido por la antena. Dentro de esta función se realiza una llamada a otra función con el nombre de ‘PolarPcolor’ que crea una gráfica en coordenadas polares que muestra el valor del campo en diferentes colores, distinguiéndose así muy claramente las crestas y los nulos
- ‘calcula_mareas_puertos’ que calcula la altura de la marea con los datos obtenidos de la página web de puertos del estado. En esta función se llama a la herramienta ‘Tidal Fittin Toolbox’.
- ‘calcula_mareas_IHM’ que calcula la altura de la marea con los datos obtenidos de la página de defensa con los datos que proporciona el Instituto Hidrográfico de la Marina. En esta función se llama a la herramienta ‘Tidal Fittin Toolbox’.

Los datos de entrada que necesita el programa para mostrar los resultados son los siguientes: **ht** que es altura de la antena transmisora, **hr** altura de la antena receptora, **d** vector de distancias a lo largo del cual se quiere conocer el valor del campo, **f** la frecuencia en la que se realizará el enlace, **lugar** la ubicación donde se quiere calcular la altura de la marea, una **fecha**, una **hora**, el **método** para calcular **hm** que será la altura de la marea, la **posición** del buque y el **radio** de la evolución que va a realizar. Las salidas serán dos gráficas que muestren el valor del campo recibido.

A continuación, se muestra un esquema general del programa (Figura 4-1):

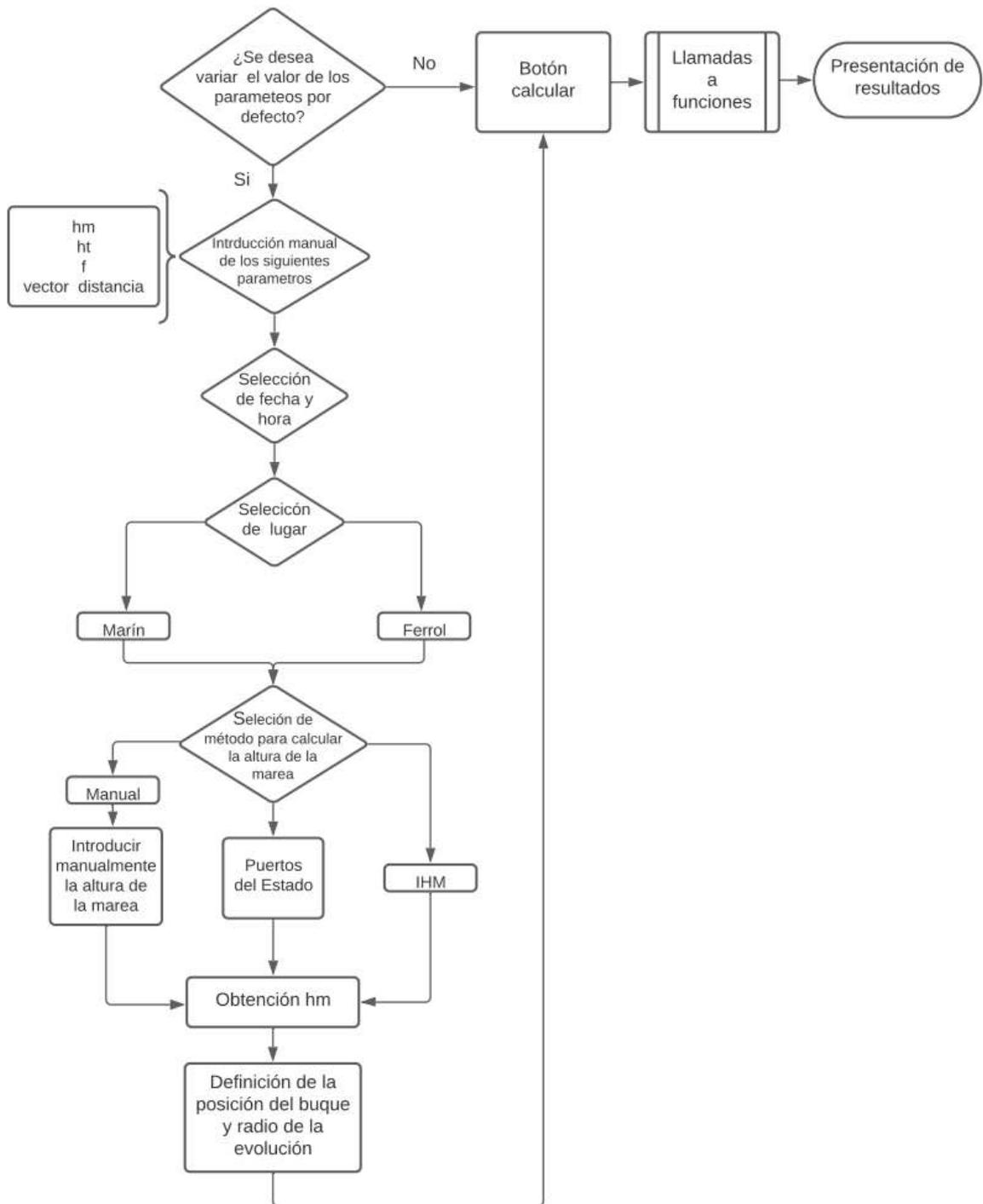


Figura 4-1 Esquema general del programa

En los siguientes apartados se van a explicar con detalle cada una de las funciones del programa.

4.2.1 Función para calcular el campo recibido

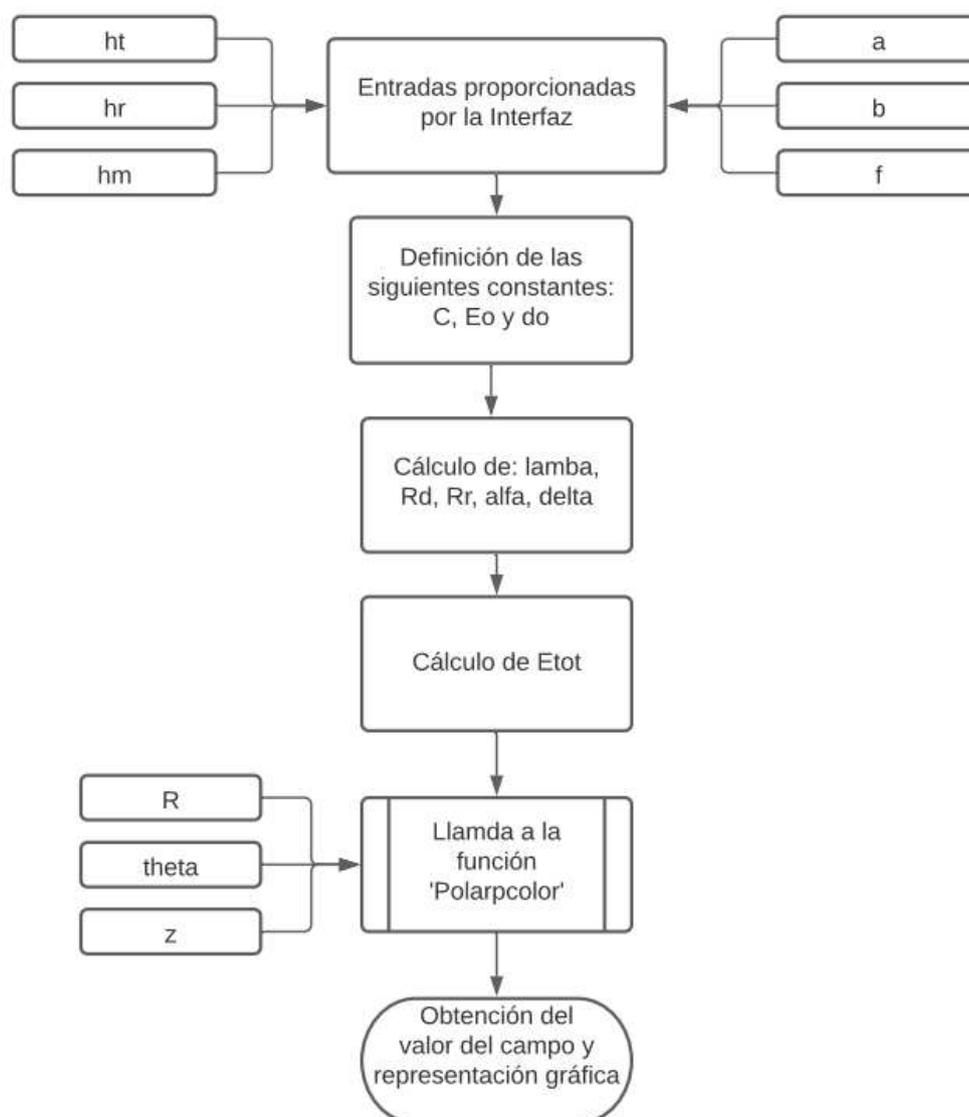


Figura 4-2 Esquema función calcula_campo

Esta función (Figura 4-2) es la encargada de calcular el campo recibido en la antena receptora en función de la geometría en la que se desarrolle el enlace, es decir alturas y distancias entre las antenas transmisora y receptora. Esta será llamada en la interfaz gráfica, y será esta quien le proporcione las entradas que necesita.

Las entradas de esta función son '**ht**' que es la altura de la antena transmisora, '**hr**' altura de la antena receptora, '**hm**' será la altura de la marea en ese momento y '**f**' la frecuencia en Hz de la señal transmitida. Además, será necesario introducir el tamaño del vector de distancia '**d**' en el que se quiere visualizar el resultado, esto se hará mediante los parámetros '**a**' y '**b**'. Estas entradas serán proporcionadas por el usuario a través de la interfaz gráfica. La salida será '**Etot1**' y '**Etot2**' ya que se calculará el campo recibido de dos antenas con características distintas.

Para comenzar, se define un vector de distancias a intervalos logarítmicos para representar la variación del campo recibido en función de la variación de la distancia con el comando `logspace`. A continuación, se definen las siguientes de constantes: '**c**', '**Eo**', y '**do**'.

Lo siguiente será realizar las operaciones necesarias. Primero se calcula la longitud de onda ' λ ', luego las distancias recorridas por cada rayo ' R_d ' y ' R_r ' y con la diferencia de esas dos medidas se calcula la diferencia de fases ' δ '. Una vez conocida la diferencia de fases se calculará el campo recibido '**Etot1**' y '**Etot2**'.

Dentro de esta función se hace una llamada a otra función llamada 'PolarPcolor' [15] que muestra un gráfico de colores para una matriz '**Z**', un radio vectorial '**R**' y un ángulo vectorial '**theta**'. Los elementos del vector **Z** serán el valor del campo recibido y especificarán el color de cada celda del gráfico. El objetivo de este gráfico es proporcionar una mejor visualización con una gráfica polar.

Por lo que será necesario declarar las 3 entradas mencionadas en el párrafo anterior, antes de hacer la llamada.

4.2.2 Funciones para calcular la altura de la marea

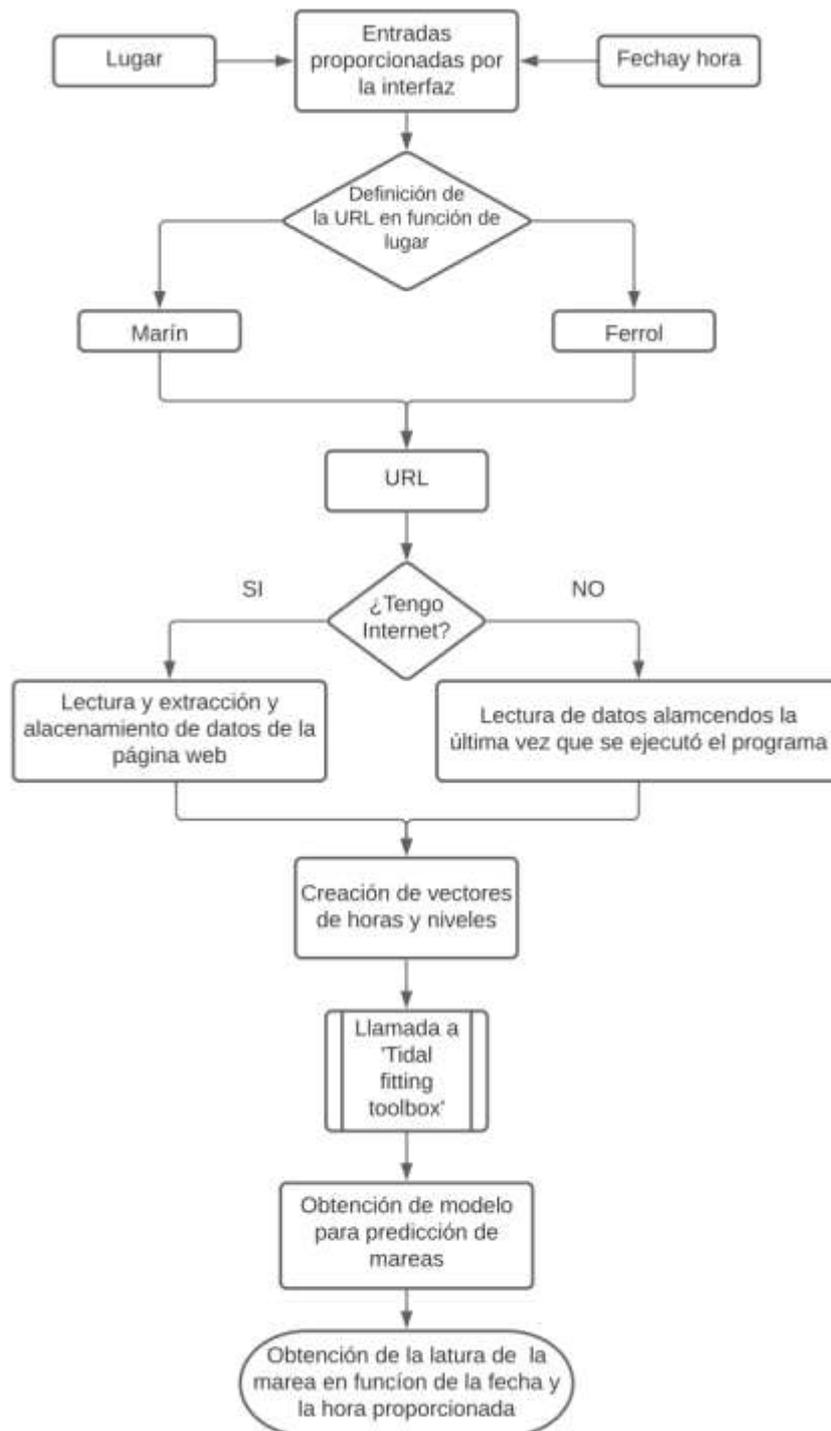


Figura 4-3 Esquema función calcula_marea_puertos

Ambas funciones siguen el mismo esquema, la única diferencia es el formato que tienen los datos que se extraen de cada página web.

Ambos módulos consisten en una función (Figura 4-3) donde las entradas son 'fechahora' y 'lugar', y la salida es 'hm'. Su funcionamiento es el siguiente:

La función contiene una lista con las distintas url de los puertos donde se quiere conocer la altura de la marea. A través de la interfaz el usuario escogerá entre las distintas opciones A continuación, con el comando `switch` se define la url que se desea procesar de entre todas las de la lista.

El siguiente paso es hacer la comprobación de si hay conexión a internet. El programa debe funcionar en ambos casos. Se parte de la base de que la primera vez que se ejecuta se dispone de conexión. De modo que la primera vez el programa lee los datos de la url con el comando `webread`, además se creará un fichero con los datos extraídos de la página web, esto se consigue con el comando `save`. De esta manera en el caso de no disponer de conexión el programa, con el comando `load` extraerá los datos del fichero más actualizado que se generó la última vez que se ejecutó el programa con conexión a internet.

El comando `resp` se genera una estructura con los datos de la página web, y se agrupa mediante contenedores de datos denominados campos. Cada campo puede contener cualquier tipo de datos.

En el caso de extraer los datos de la página web de Puertos del Estado esta estructura está formada por 73 filas, donde cada una corresponde a una hora, ya que esta página web nos proporciona la altura de la marea cada hora, y 5 columnas o campos.

Fields	fecha	tipoDato	datos	nivelRef	ceroRef
1	'2021-02-23 00:00:00.0'	'Análisis'	4x1 struct	2093	'0'
2	'2021-02-23 01:00:00.0'	'Predicción'	4x1 struct	2093	'0'
3	'2021-02-23 02:00:00.0'	'Predicción'	4x1 struct	2093	'0'
4	'2021-02-23 03:00:00.0'	'Predicción'	4x1 struct	2093	'0'

Figura 4-4 Estructura de datos en Matlab de la página web de Puertos del Estado

El primer campo contiene array numérico que corresponde a una fecha y una hora. El segundo campo nos indica el tipo de dato, existen dos posibilidades, ‘Análisis’ significa que ese dato ha sido obtenido con un sensor, es decir, es un dato real y si pone ‘Predicción’ ese dato ha sido obtenido mediante una predicción. El tercer campo contiene una matriz de datos de la que se hablará más tarde. El cuarto campo nos indica el nivel de referencia que se ha tomado a la hora de obtener estos datos y por último el quinto campo nos indica el valor numérico de la referencia que se ha usado. Volviendo al cuarto campo, este contiene una matriz 4x1 con los siguientes datos, el significado de cada dato se ha sido explicado en (3.3.4.1) El dato que interesa para el cálculo de la altura de la marea es el de ‘nivel(m)’ por lo que será necesario especificarlo a la hora de seleccionar los datos.

Fields	nombreParametro	variableParametro	valor
1	'Nivel (m)'		3.006'
2	'Marea (m)'		2.805'
3	'Residuo (m)'		0.201'
4	'Presión (mb)'		1022.0'

Figura 4-5 Matriz de datos en Matlab de la página web de Puertos del Estado

Para el caso de extraer los datos de la página web del Instituto Hidrográfico de la Marina, esta vez los datos se almacenarán en una estructura de 1x1 con cinco campos. Los campos que se van a extraer son ‘values’ que son los niveles del mar y ‘hours’.

Field	Value
puerto	'Marín (Ría de...'
fecha	'Febrero, 2021'
ndatos	'108'
values	108x1 double
hours	108x1 cell

Figura 4-6 Estructura de datos en Matlab de la página web del IHM

Una vez se han almacenado los datos, en ambas funciones se crean dos vectores mediante un bucle, uno que contiene los datos de las alturas del nivel del mar y otro que contiene las horas de cada día, este vector es convertido a formato numérico a través del comando `datenum`.

Hasta ahora solo se conoce la altura de la marea en horas concretas por lo que es necesaria la creación de un modelo que proporcione predicciones para cualquier hora.

Se ha optado crear el modelo con la ayuda de la herramienta ‘Tidal Fittin Toolbox’ que hace llamadas a tres funciones. La primera ‘tidalfit’ [16], que utiliza la técnica de mínimos cuadrados ordinarios para ajustar los componentes de las mareas. La entrada es un vector de dos columnas, la primera deberá contener una columna de fechas y la segunda contiene los valores del nivel del mar. ‘tidalval’ [16], predice la marea a partir de un modelo de marea, las entradas son un modelo de marea y un instante de tiempo para el que se quiere calcular la marea. La salida será la predicción realizada. Por último, se llama a la función ‘parseArgs[16],’ que es una función de ayuda para analizar los datos. Estos serían los dos modelos obtenidos.

Una vez se ha obtenido el modelo ya es posible obtener la altura de la marea proporcionándole a la función una fecha con una hora y una ubicación (la ubicación debe ser una de las que tenga la función en la lista inicial).

Esta función será llamada en la interfaz gráfica, y el usuario podrá introducir las entradas a través de ella.

4.3 Diseño del interfaz del usuario

Lo que se busca de una interfaz gráfica es que sea una extensión del usuario que le permita ejecutar órdenes para alcanzar unos objetivos de forma eficiente. Para lograr esto existen unos criterios que se van a explicar a continuación. La consistencia está orientada al comportamiento y a la colocación de los elementos, esta puede reducir el esfuerzo del usuario para utilizar la interfaz. El usuario debe tener la posibilidad de retractarse o de corregir un error. Los sistemas son más sencillos cuando se indica claramente su estado y las posibles acciones que se pueden llevar a cabo, esto se logra creando una organización y colocando la información y los comandos dentro de categorías lógicas. También será necesario ocultar o mostrar cierta información según el contexto en el que se vaya a usar la aplicación. También es importante la estética, que consiste en conseguir que la disposición de los elementos en el espacio sea agradable a la vista. La interfaz por ser el intermediario entre el usuario y el programa siempre va a tener un carácter dinámico.

Este sería el aspecto la interfaz antes de ser ejecutada. Los valores que se ven son los valores que se han predeterminado por defecto. Si se ejecuta nada más abrirla se realizarán los cálculos para esos valores al a fecha y la hora actual.

Si se desea cambiar algún parámetro el usuario solo tendrá que introducirlo. Hay parámetros que se introducen manualmente y otros que se debe elegir entre las opciones que se ofrecen. Una vez introducidos los datos que se desean solo será necesario pulsar el botón de ‘calcular’ y la interfaz (Figura 4-7)mostrará dos gráficas.

Esta es la interfaz antes de ser ejecutada.

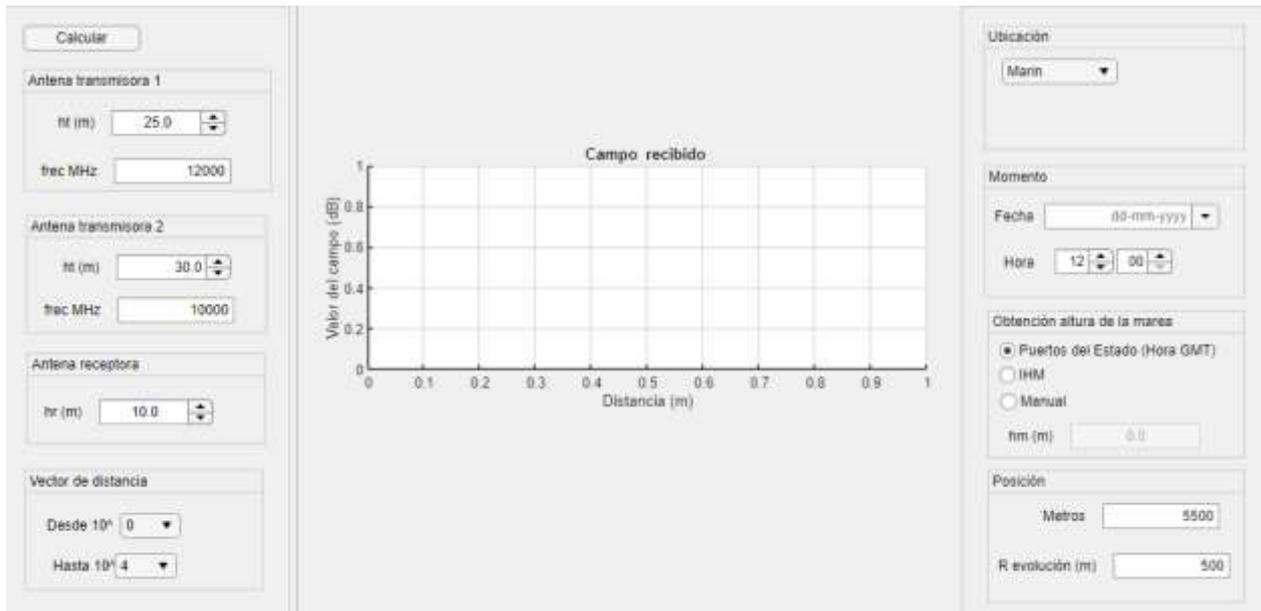


Figura 4-7 Visión general de la Interfaz Gráfica

4.3.1 Manual de usuario

En el panel derecho se encuentran los siguientes controles:

Primero están los paneles que permiten seleccionar las alturas y las frecuencias de las antenas transmisoras(Figura 4-8). La selección de la altura en metros se realizará mediante un ‘Spinner’ y la frecuencia se define a través de un ‘EditField’ que permite introducir manualmente la frecuencia, el usuario deberá tener en cuenta que las unidades son MHz.



Figura 4-8 Paneles de control antenas transmisoras

El panel de la antena receptora contiene un ‘Spinner’(Figura 4-9) que permite definir la altura de la antena manualmente, las unidades son metros.

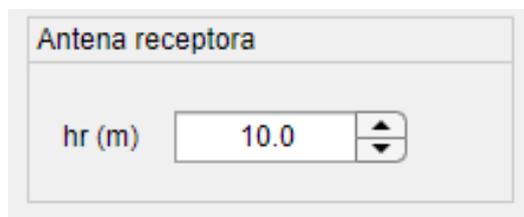


Figura 4-9 Panel de control antena receptora

El vector de distancia se determina mediante dos ‘DropDown’ (Figura 4-10) que ofrecen las opciones de 0 a 4, es decir el vector de distancia podrá tomar valores desde 1m (10^0) hasta 10000 m (10^4).

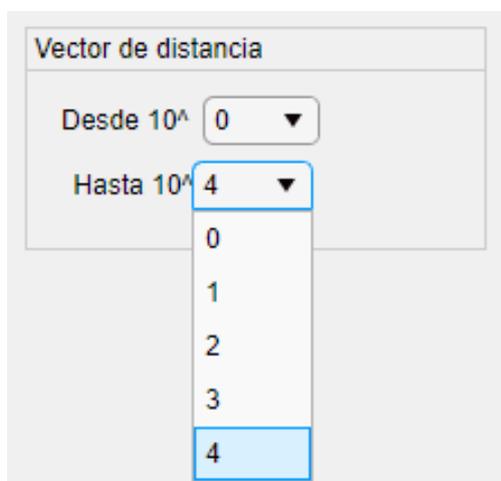


Figura 4-10 Panel de control del vector de distancia

En el panel izquierdo se puede definir:

El lugar se definirá mediante un ‘DropDown’ (Figura 4-11) que ofrece las opciones de Marín y Ferrol.

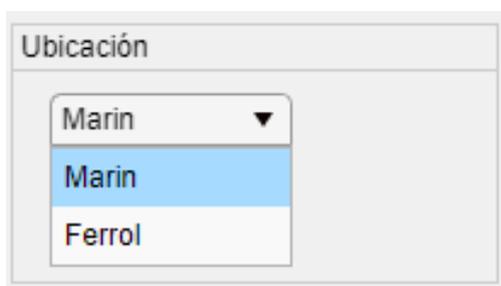


Figura 4-11 panel de control de ubicación

El panel llamado Momento contiene un 'Datepicker (Figura 4-12) del que se despliega un calendario y que permite seleccionar un día en concreto. La hora se definirá mediante dos 'Spinner'(Figura 4-13), uno para fijar la hora y otro para fijar los minutos.

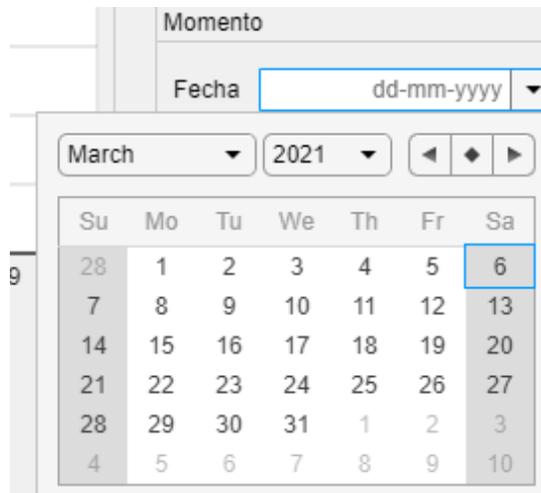


Figura 4-12 Selección del día



Figura 4-13 Selección de la hora

El método de obtención de la altura de la marea se seleccionará mediante un 'RadioButtonGroup'(Figura 4-14), que permite elegir entre los siguientes métodos: usar las predicciones de puertos del estado, usar las predicciones del IHM o meter la altura de la marea de forma manual. Está configurado para que solo pueda haber una opción seleccionada. Además, debajo de este botón hay un cuadro de texto que mostrará la altura de la marea que se ha obtenido. Si se selecciona la opción 'manual', será en este cuadro en el que se debe introducir la altura de la marea.

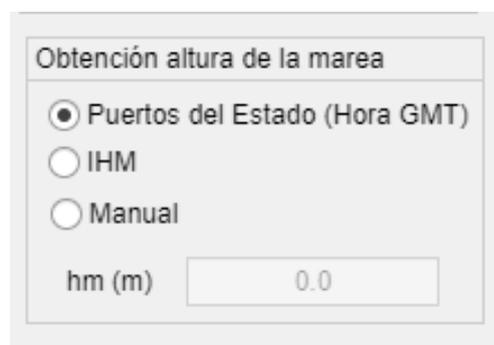


Figura 4-14 Panel de control del método de obtención de la altura de la marea

Por último, el panel de posición permite introducir la posición del buque, que será representada por una línea roja y la evolución a realizar que se reflejará con dos líneas discontinuas de color rojo para representarla en la gráfica y así facilitar al usuario interpretar los resultados. Ambos datos se introducirán mediante un 'EditField' (Figura 4-15).



Posición

Metros

R evolución (m)

Figura 4-15 Panel de control de la posición del buque

4.4 Presentación de resultados

Los resultados se mostrarán en dos gráficos diferentes.

La primera se muestra en el panel central (Figura 4-16). Consiste en una gráfica que representa el campo recibido en función de la distancia. En esta gráfica se muestra el diagrama del campo recibido de una única antena. El eje de abscisas representa la distancia en metros, mientras que el eje de ordenadas representa el campo recibido en dB. Además, se representa con una línea roja la posición del buque y con dos líneas rojas discontinuas se representa la evolución que se va a realizar. En esta gráfica se pueden observar una serie de crestas que representan los lugares donde el campo recibido tendrá mayor valor y los nulos representan los puntos donde se producen los desvanecimientos debido al efecto del rayo reflejado. Como se ha explicado en (4.1) se ha empleado un modelo para un solo rayo reflejado.

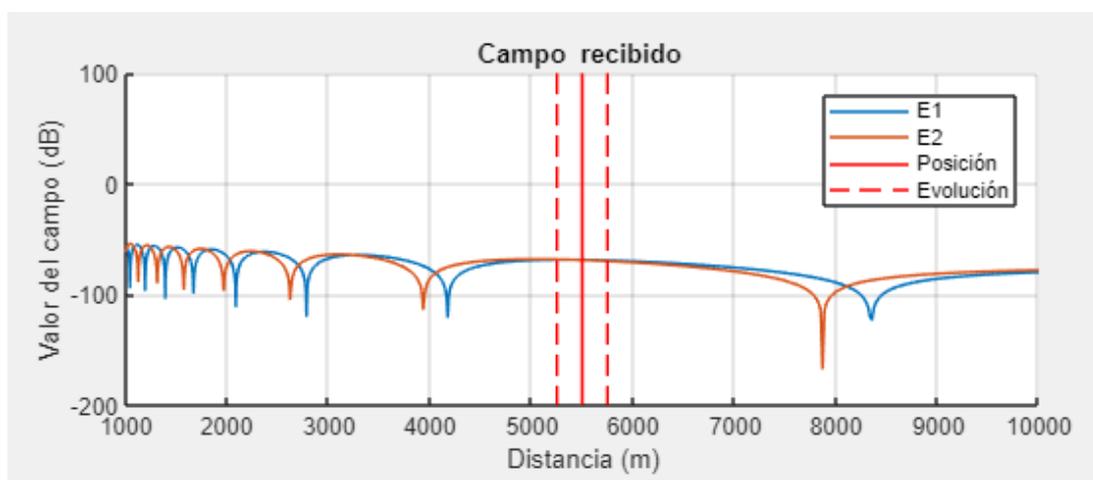


Figura 4-16 Diagrama del campo recibido

El otro gráfico se mostrará en una ventana independiente (Figura 4-17). Consiste en una cuadrícula polar que muestra las crestas y los nulos del campo recibido en forma de coronas circulares para facilitar al usuario la interpretación de resultados. Los anillos con un mayor nivel de potencia, es decir con los colores más claros serán la zona óptima para realizar las medidas. El centro de la gráfica está referido a la antena receptora, mostrando así tanto en distancia como en demora los lugares óptimos para realizar las evoluciones.

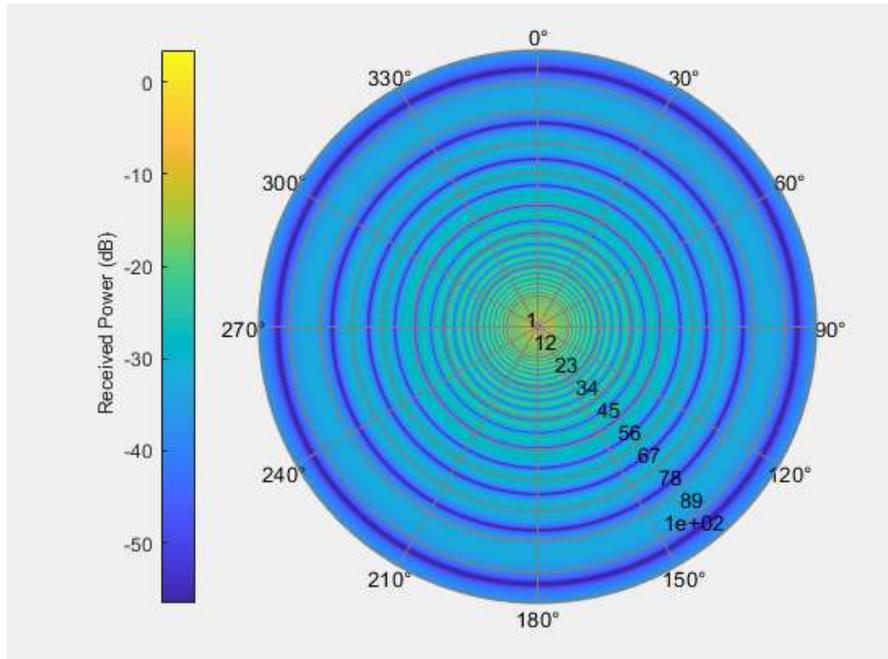


Figura 4-17 Diagrama polar

4.5 Interpretación de resultados

En una campaña de medidas el buque para el que se van a levantar los diagramas, una vez está posicionado y dispuesto a comenzar la evoluciones proporciona al CEMDEN una serie de datos iniciales. Estos datos iniciales son los siguientes: rumbo inicial, banda de caída, demora y distancia a la que está situada.

Este último parámetro, la distancia a la que está situado el buque es crucial que sea correcto para evitar que sea necesario la repetición de evoluciones. El programa pretende proporcionar una herramienta para el usuario que le permita conocer la distancia correcta para realizar la medición.

En el caso de que solo se vaya a medir un antena (Figura 4-18) el usuario debe comprobar que el buque no se encuentra sobre ninguno de los nulos (puntos A y B) que muestra la gráfica (Figura 4-18) ya que se obtendrán unos diagramas como los que se muestran en (Figura 3-4). La zona óptima para la realización de medidas será donde la potencia es lo más constante posible (punto C).

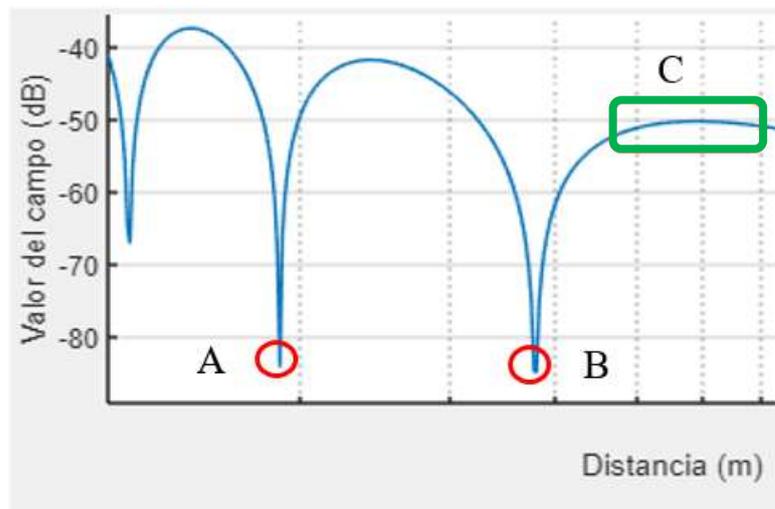


Figura 4-18 Zoom del diagrama del campo recibido

Pero, durante una campaña de medidas se intentará levantar los máximos diagramas de radiación posibles. Este proceso suele durar varias horas, por lo que es necesario medir varias antenas en cada evolución (Figura 4-19). El levantamiento simultáneo de dos diagramas de radiación distintos es un proceso complicado ya que las antenas tendrán características distintas, estarán situadas en lugares distintos y operarán en frecuencias distintas. Esto significa que la medición deberá realizarse en un punto en el que el campo recibido por ambas antenas sea máximo, es decir, habrá que ‘casar’ ambas gráficas y realizar la medición en el punto en el que coincidan las crestas de ambas gráficas. Además, se puede observar que cuanto mayor es la distancia las crestas son más ‘planas’, el intervalo de distancia en el que la señal recibida es constante aumenta con la distancia, pero cuanto más distancia menor es el nivel de la señal, por tanto, más dificultades voy a tener para levantar el diagrama. Es necesario llegar a un equilibrio en el que el campo sea constante y tenga un valor suficientemente grande como para que sea posible levantar los diagramas.

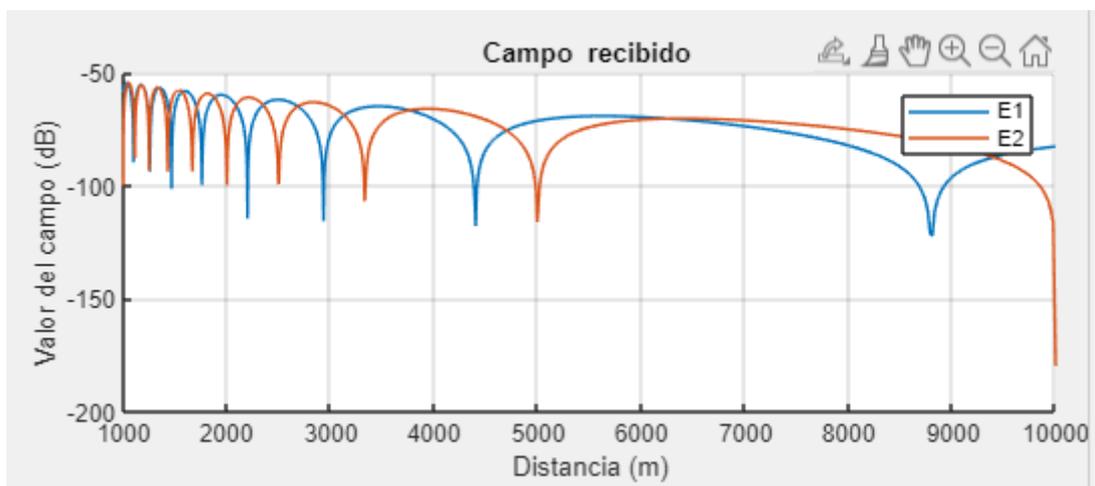


Figura 4-19 Ejemplo de medición de dos antenas simultáneamente

5 RESULTADOS

5.1 Ejemplo de predicción para una campaña de medidas

A continuación, se va a simular una campaña de medidas para levantar diagramas de radiación de una fragata tipo F100 en la Ría de Pontevedra. Como ya se ha comentado anteriormente se tratará de levantar los diagramas de varias antenas en cada evolución.

A continuación, (Figura 5-1) se muestran las antenas y sensores del buque. La simulación se va a realizar para las 4 antenas señaladas. Por motivos de confidencialidad se han desplazado las frecuencias de su zona real de trabajo.

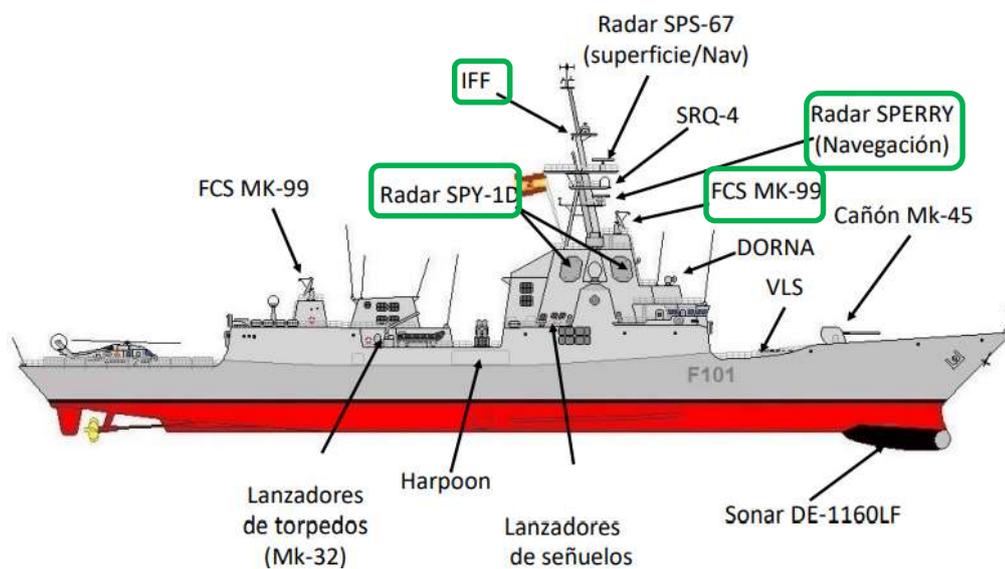


Figura 5-1 Sistemas radiantes de la Fragata F100 [16]

5.1.1 Primera simulación

En este caso se trata de medir el radar de navegación SPERRY con una frecuencia de **XXXX** MHz y situado a una altura de 36m y el iluminador de proa (FCS MK-99) con una frecuencia de **XXXX** MHz, situado a 29m. La altura de la antena receptora será de 3.8m, el lugar seleccionado en la interfaz será 'Marín' para la fecha y la hora actual ya que no se ha seleccionado ninguna en la interfaz. La predicción de la altura de la marea se realizará a través de la página de puertos del estado. El buque estaría situado a 5500 m de distancia y el radio de la evolución sería de 500m.

Esta sería la presentación de la Interfaz Gráfica (Figura 5-2).

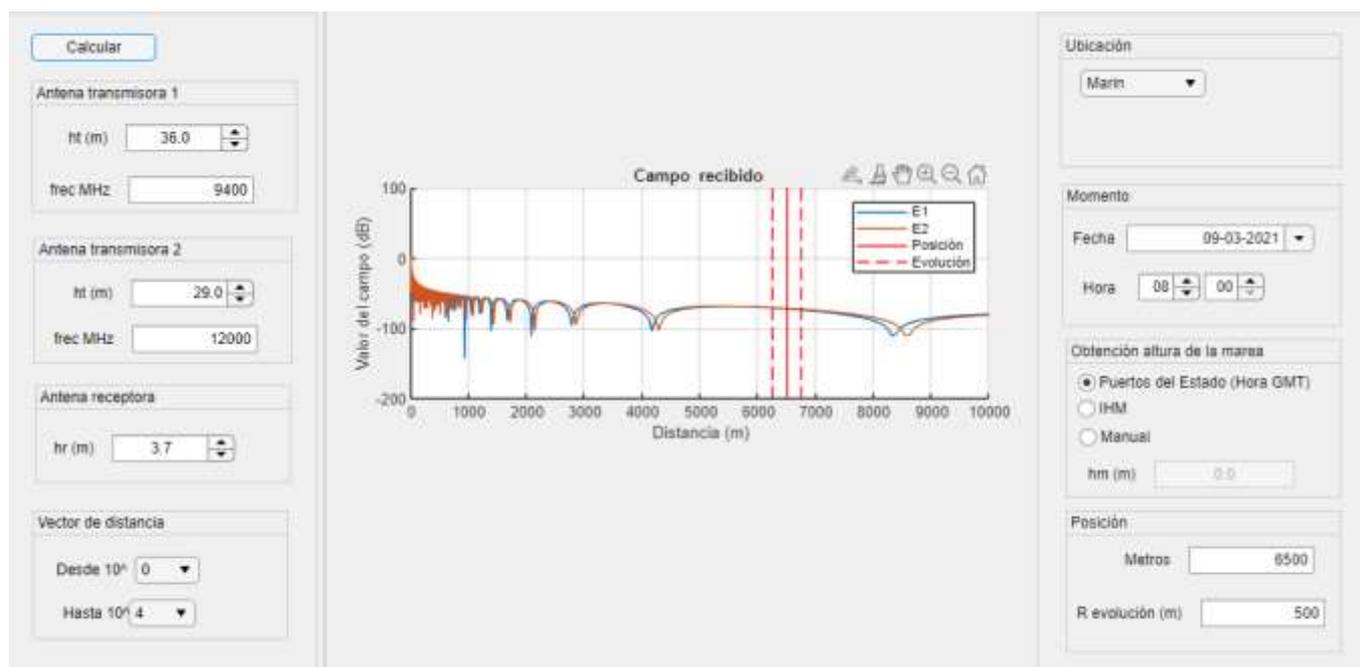


Figura 5-2 Primera simulación

Si nos centramos en el primer tramo de la gráfica (Figura 5-3) se puede observar que durante los primeros 2000 metros las crestas son muy numerosas y muy pronunciadas, el tramo en el que el campo es constante es muy corto, por lo que no sería posible realizar una evolución sin entrar en alguno de los nulos.

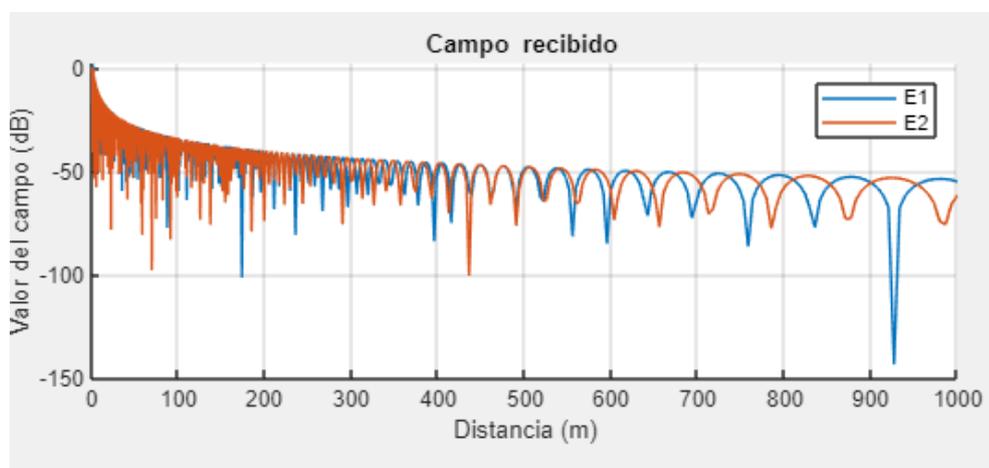


Figura 5-3 Primer tramo de la gráfica en la primera simulación

Sin embargo, en el tramo desde los 2000 hasta los 10000 metros (Figura 5-4) se ve como las crestas se van ensanchando lo que permitirá realizar una evolución sin pasar por ninguno de los nulos.

La zona óptima para realizar las mediciones sería la destacada en verde debido a que el campo se mantiene relativamente constante para ambas antenas.

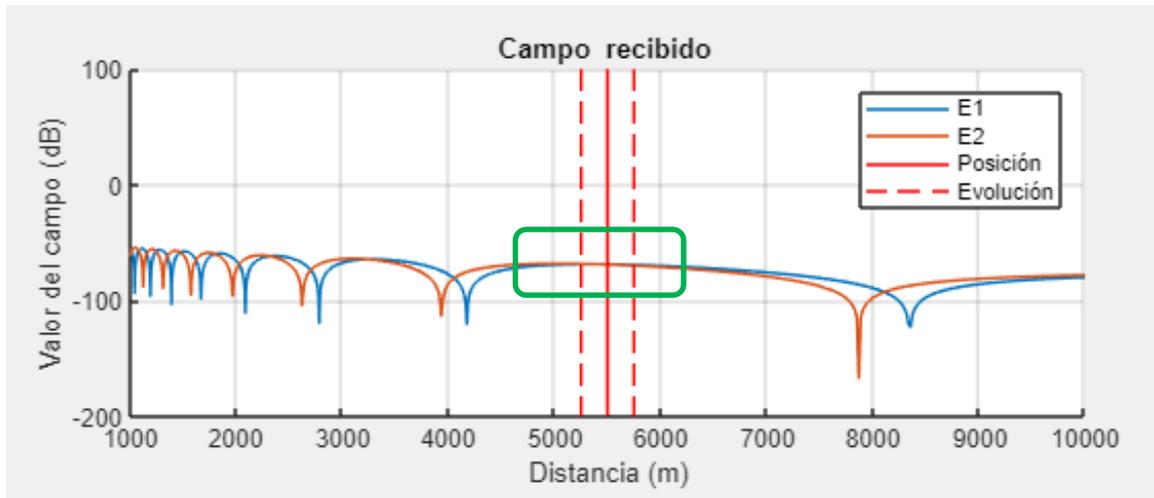


Figura 5-4 Zona óptima para la primera simulación

También es necesario hacer un análisis de la evolución temporal de los diagramas (Figura 5-5), ya que se verán afectados por la variación de la altura de la marea. Para que se aprecie este efecto se ha simulado el caso de un día en el que se den mareas vivas y la variación de esta sea mayor de lo normal.

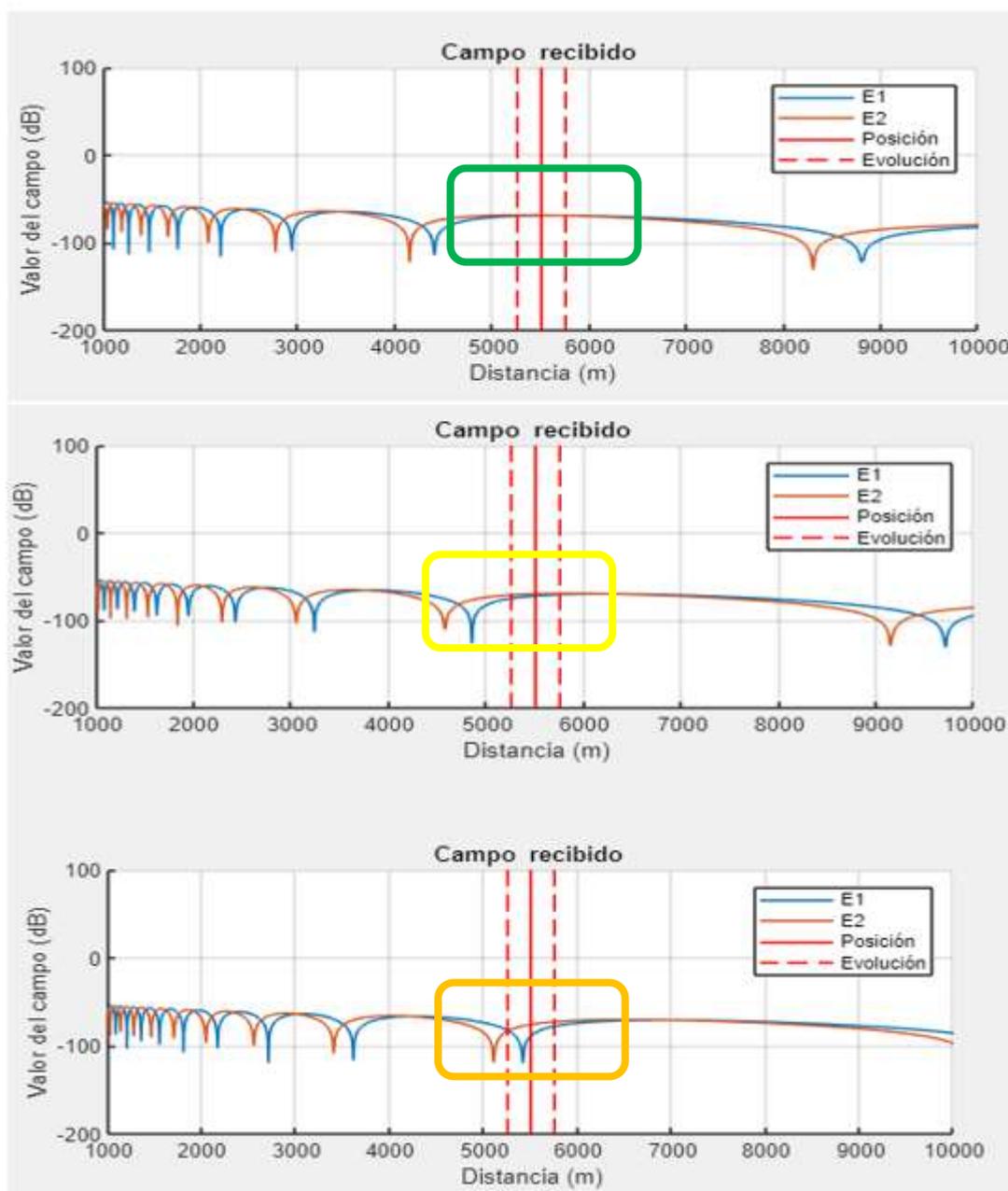


Figura 5-5 Evolución temporal

Se puede observar como en la primera imagen las mediciones se realizarían correctamente, en la segunda los nulos se han acercado a la zona de evolución y en la llegan a la zona de evolución por lo que se obtendrían unos diagramas de evolución erróneos. He aquí la importancia de una simulación previa a la campaña de medidas para no tener que repetir las mediciones.

5.1.2 Segunda simulación

Esta simulación (Figura 5-6) se trata del mismo escenario que la anterior, es decir, la altura de la antena receptora será de 3.8m, el lugar seleccionado en la interfaz será ‘Marín’, el buque estará situado a 5500m de distancia y la evolución tendrá un radio de 500m . La diferencia es que se ha seleccionado la fecha y la hora manualmente y la predicción de la altura de la marea se realizará mediante los datos proporcionados por el Instituto Hidrográfico de la Marina. Esta vez se pretende medir el radar de navegación SPY 1-D con una frecuencia de 5000MHz y una altura de 24m y la antena de IFF con una frecuencia de 1090 MHz y una altura de 33m.

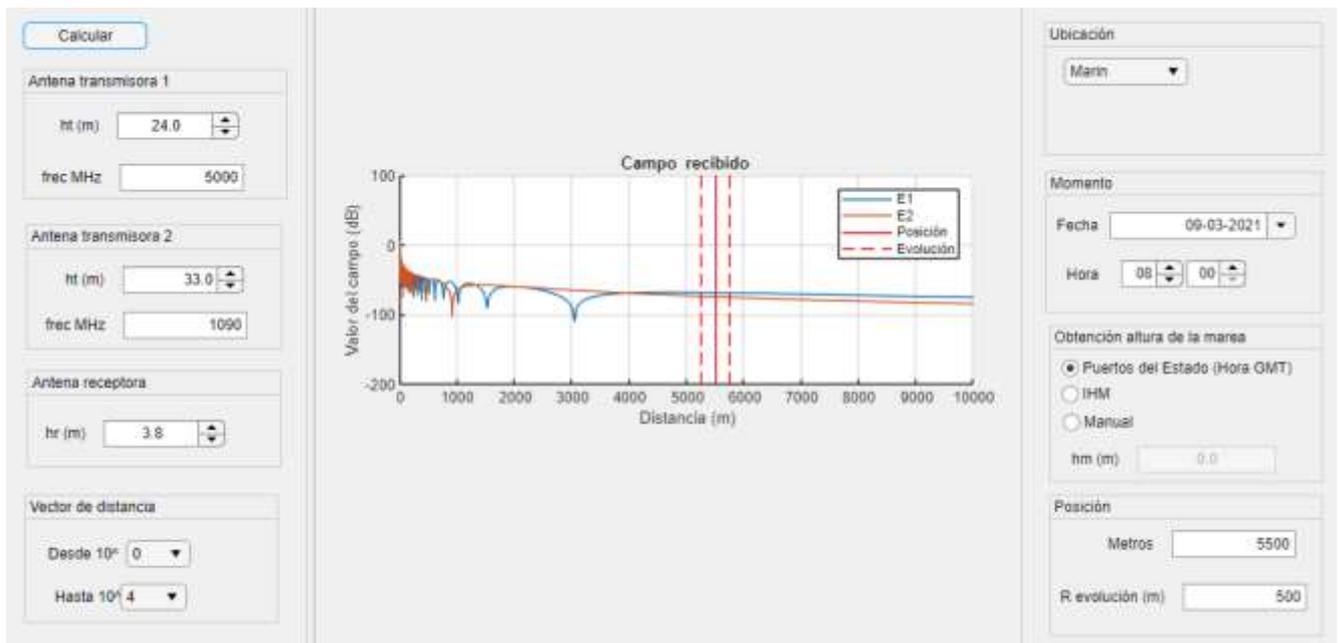


Figura 5-6 Segunda simulación

Al igual que en la primera simulación en el primer tramo hasta los 1000 metros las crestas son muy numerosas y demasiado pronunciadas para poder hacer las evoluciones, sobre todo las de la primera antena, no existe ningún tramo en el que el campo de ambas antenas sea constante. (Figura 5-7).

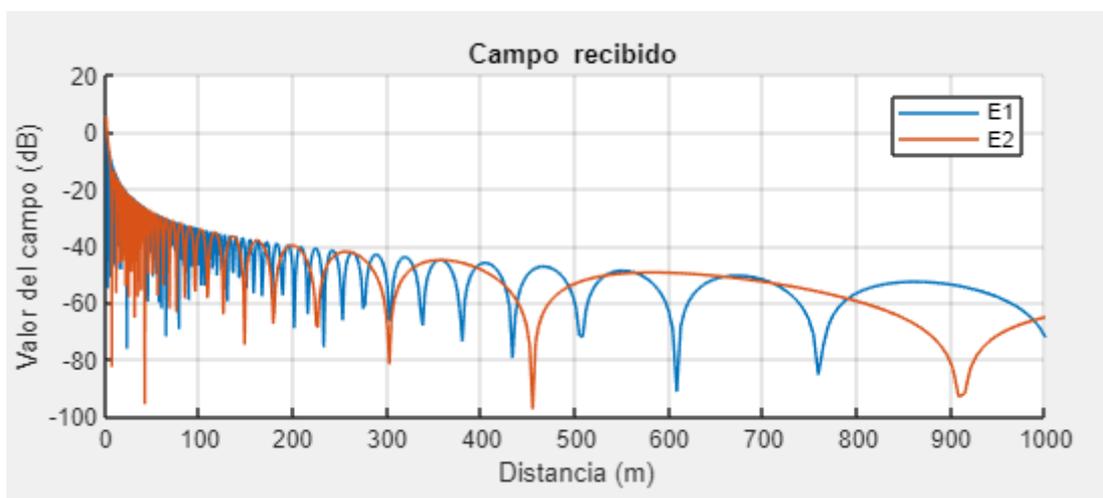


Figura 5-7 Primer tramo de la segunda simulación

En el tramo desde los 1000 hasta los 10000 metros es donde se espera que las crestas se ensanchen y sea posible realizar la medición. Sin embargo, se puede observar que en ningún momento ‘casan’ las crestas y que el campo de la según antena cae considerablemente lo que impide una correcta medición.

Estamos ante un caso de incompatibilidad de antenas (Figura 5-8), no será posible levantar ambos diagramas simultáneamente.

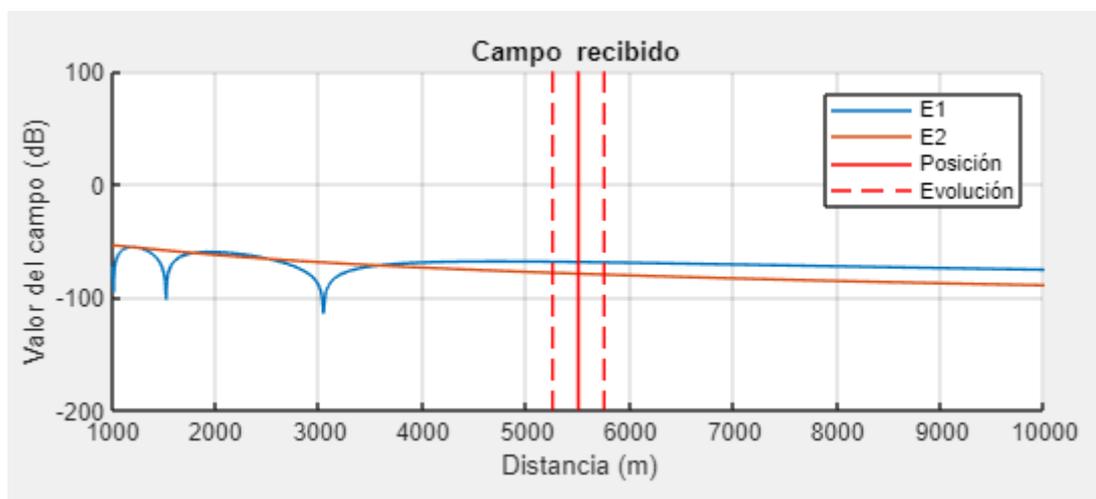


Figura 5-8 Incompatibilidad de antenas

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

El resultado de este proyecto es un software que consta con una interfaz gráfica y varias funciones programadas en Matlab.

Este programa consiste en una herramienta que permite planificar campañas de levantamiento de diagramas de radiación de varias antenas simultáneamente. El programa es capaz de simular una serie de escenarios que van a permitir anticiparse a posibles errores en las medidas.

Esto se consigue de la siguiente manera: el programa parte de unos parámetros proporcionados por el usuario a través de la interfaz gráfica y es capaz de calcular los datos necesarios para mostrar gráficamente el campo recibido de varias antenas en función de la separación entre emisor y receptor, altura y frecuencia de las antenas emisoras, y la altura de la marea. Este último dato se obtiene a partir de la creación de un modelo para la previsión de la altura de la marea.

Gracias a las gráficas obtenidas se puede detectar si dos antenas son incompatibles a la hora de medir sus diagramas a la vez, se puede calcular la distancia óptima para la realización de las medidas, se podrá evaluar el impacto de la variación del nivel del mar en las medidas.

6.2 Líneas futuras

Partiendo de la base de que ha resultado un sistema útil en sí mismo, este trabajo sirve de punto de partida para otros muchos programas y softwares de gran utilidad para la Armada Española. Una vez analizado el cumplimiento de requerimientos del proyecto, debe determinarse que posibles líneas de desarrollo puede seguir el diseño realizado.

- Este programa podrá servir de como base para el estudio del uso de drones para la medición de los diagramas de radiación donde también se da el problema del multitrayecto. El uso de drones para medir diagramas de radiación ya es una realidad debido a que aporta infinitas ventajas como por ejemplo la posibilidad de medir diagramas de radiación para antenas con elevación diferentes de 0, o la posibilidad de levantar diagramas de radiación de antenas satélite, ya que el CEMEDEN actualmente no puede controlar la elevación de las antenas. En 2017 se realizó un TFG sobre este tema [17].
- Una función que modelizara el efecto de difracción en filo de cuchillo proporcionaría en tiempo real el balance de potencia real durante la medida, ya que el programa actual solo tiene en cuenta la geometría y la frecuencia del enlace.

- Añadir los efectos de atenuación derivados del estado del oleaje, dado que modificará el efecto de reflexión en el mar y por tanto variará el efecto de multitrayecto.
- La incorporación de los datos de posición de la unidad al programa mediante una unidad GPS ubicada a bordo mediante los datos del AIS también sería una mejora para el programa ya que no haría falta introducir manualmente este valor en la interfaz del usuario.
- También sería de gran utilidad que el software informara de la distancia crítica del enlace o ‘Fresnel Breakpoint’. Este concepto está explicado en (3.2.5).
- Actualmente es necesario introducir el dato de la fecha y la hora para que el programa realice los cálculos. Sería interesante que el programa se actualizara automáticamente cada cierto tiempo.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M. H. Rábanos, J. M. Riera Salís y L. Mendo Tomás, «Capítulo 2,» de *Transmisión por radio séptima edición*, Editorial Universitaria Ramón Areces, 2013.
- [2] F. Ramos, «Radioenlaces. Tecnologías inalámbricas y diseño de radioenlaces,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.radioenlaces.es/articulos/correccion-de-la-altura-de-los-obstaculos/>. [Último acceso: 2020].
- [3] M. A. Acuña y Ó. Rubiños López, «Capítulo 2,» de *Radiocomunicación*, Andavira.
- [4] C. P. Vega y Universidad de Cantabria, *Antenas Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones*.
- [5] «Incorporating Radio-Electronics.com,» Electronicnotes, [En línea]. Available: <https://www.electronics-notes.com/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [6] J. M. N. Ortuño, *Sistemas de Radiocomunicaciones*, Marín, 2019.
- [7] «Mundo teleco,» [En línea]. Available: <https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>. [Último acceso: Enero 2021].
- [8] S. Albenia systems, *Radioenlaces en entornos marinos*, Madrid, 2008.
- [9] U. d. L. P. d. G. Canaria, *Capítulo 1- Propagación*.
- [10] P. C. Y. Arias, *Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistemas radio de comunicación*, Quito, 2009.
- [11] M. y. E. A.-I. Instituto de Hidrología, *Nivel del mar y régimen de mareas en las estaciones mareográficas de Colombia*, Bogotá, 2012.
- [12] L. M. Martín, «www.rodamedia.com,» Marzo 2009. [En línea]. [Último acceso: Febrero 2020].
- [13] P. d. Estado, «Puertos del Estado,» [En línea]. Available: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>. [Último acceso: 21 Febrero 2021].
- [14] I. H. d. l. Marina, «armada.gob.def,» [En línea]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/cienciainhm1/prefLang-es/02ProductosServicios--045PrevisiondeMareas>. [Último acceso: 21 Febrero 2021].
- [15] d. l. u. d. S. N. (. Etienne Cheynet, «MathWorks,» [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/49040-pcolor-in-polar-coordinates>.
- [16] C. Touza, *Tema 5_SC F100*, 2020.
- [17] J. G. Dominguez, *Sistema de medición de diagramas de radiación de antenas embarcadas*, Marín, 2017.
- [18] A. Grinsted, «MathWorks,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19099-tidal-fitting-toolbox>.

ANEXO I: FUNCIÓN ‘CALCULA_MAREA_PUERTOS’

```

function [hm] = calcula_marea_puertos(fechahora,lugar)
%FUNCIÓN PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA MAREA
%Entradas: fechahora y lugar           Salida: hm

% La entrada fechahora sera una matriz que represente una fecha
%     ejemplo:fechahora =(datetime('04-03-2021 12:00', 'InputFormat', 'dd-MM-
yyyy HH:mm'))
% La entrada lugar será un vector de caracteres
%     ejemplo: lugar = `Marin`

%Lista de posibles ubicaciones
Marinn
=
'https://portus.puertos.es/portussvr/api/predData/portus/SEA_LEVEL/12220?locale=es
';
Ferroll
='https://portus.puertos.es/portussvr/api/predData/portus/SEA_LEVEL/12110?locale=e
s';

switch lugar %swicht para definir la url en función de la ubicación
    case 'Marin'
        url=Marinn;
    case 'Ferroll'
        url=Ferroll;

end

%COMPROBACIÓN DE A CONEXIÓN A INTERNET
try
    %Tengo conexión, extraigo los datos de la web y creo un fichero
    resp = webread(url);
    save('resp.mat', 'resp')
catch
    % No tengo conexión, cargo el fichero
    load('resp.mat', 'resp')
end

horas = [];
niveles = [];
for i=1:length(resp) %bucle para selección los datos de interés
    horai = datetime(string(resp(i).fecha), 'InputFormat','yyyy-MM-dd
HH:mm:ss.S');
    horas = [horas; horai];

    fns = fieldnames(resp(i).datos(1));
    niveli = str2double(resp(i).datos(1).(fns{3})); % se toma el dato del campo
'Nivel (m)' (campo n°1)
    niveles = [niveles; niveli];
end

% A CONTINUACIÓN SE CREA UN MODELO PARA LA PREDICCIÓN DE LA MAREA
% Parámetros para acotar los vectores de datos
N = 73;

% Acotación de vectores
horas = horas(1:N);
niveles = niveles(1:N);

```

```
% Conversión de fechas a formato numérico
horasn = datenum(horas);

% Ajuste del modelo de mareas
C = [horasn niveles];
model = tidalfit(C, 'FittingMethod', 'ROBUST');

%Predicción de mareas a partir del modelo
z = tidalval(model,horasn);

% Suma del valor medio
z = z + mean(niveles);

%Predicción para un día en particular
fechahoran = datenum(fechahora);
z = tidalval(model,fechahoran);
z = z + mean(niveles);
hm = z;

end
```

ANEXO II: FUNCIÓN ‘CALCULA_MAREA_IHM’

```

function [hm] = calcula_marea_IHM(fechahora,lugar)
%FUNCIÓN PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA MAREA

%Entradas: fechahora y lugar           Salida: hm

% La entrada fechahora sera una matriz que represente una fecha
%     ejemplo:fechahora =(datetime('04-03-2021 12:00', 'InputFormat', 'dd-MM-
yyyy HH:mm'))
% La entrada lugar será un vector de caracteres
%     ejemplo: lugar = `Marin`

%Lista de posibles ubicaciones
Marinn
=
'https://armada.defensa.gob.es/ihm/Documentacion/Mareas/json/2021/marin/marin_mes_
03.json';
Ferroll
='https://armada.defensa.gob.es/ihm/Documentacion/Mareas/json/2021/ferrol/ferrol_m
es_03.json';

switch lugar %swicht para definir la url en función de la ubicación
    case 'Marin'
        url=Marinn;
    case 'Ferrol'
        url=Ferroll;

end

try
    %Tengo conexión, extraigo los datos de la web y creo un fichero
    resp = webread(url);
    save('resp.mat', 'resp')
catch
    % No tengo conexión, cargo el fichero
    load('resp.mat', 'resp')
end

niveles = resp.values; %selección de datos del nivel del mar

horas = [];
for i=1:str2num(resp.ndatos) % bucle para selcción de horas
    horasa = cell2mat(resp.hours(i));
    horai = datetime(string(horasa(1,:)), 'InputFormat', 'yyyy-MM-dd HH:mm');
    horas = [horas; horai];
end

% A CONTINUACIÓN SE CREA UN MODELO PARA LA PREDICCIÓN DE LA MAREA
% Parámetros para acotar los vectores de datos
N = 109;

% Acotación de vectores
horas = horas(1:N);
niveles = niveles(1:N);

```

```
% Conversión de fechas a formato numérico
horasn = datenum(horas);

% Ajuste del modelo de mareas
C = [horasn niveles];
model = tidalfit(C, 'FittingMethod', 'ROBUST');

%Predicción de mareas a partir del modelo
z = tidalval(model,horasn);

% Suma del valor medio
z = z + mean(niveles);

%Predicción para un día en particular
fechahoran = datenum(fechahora);
z = tidalval(model,fechahoran);
z = z + mean(niveles);
hm = z;

end
```

ANEXO III: FUNCIÓN ‘CALCULA_CAMPO’

```

function [Etot1,Etot2,d] = calcula_campo(a,b,hr,ht1,ht2,hm,f1,f2)
%FUNCIÓN PARA CALCULAR EL CAMPO RECIBIDO
%Entradas:a, b, hr, ht1,ht2, hm, f1, f2           Salida: Etot1,Etot2,d

% Ejemplo de definición de pparámetros
% a=0; el inicio del vector de distancia será 10^0 (1m)
% b=4; elfinal del vector de distancia será 10^4 (10000m)
% f1=900*10^6; La frecencia de la primera antena serán 900MHz
% f2=600*10^6; La frecencia de la primera antena serán 600MHz
% ht1=10; La altura de la primera antena serán 10m
% ht2=12; La altura de la seguna antena serán 12m
% hr=10; La antura de la antena receptora serán 10 m
% hm=3; La altura de la marea podrá ser definida manualmente o a traves de
% las funciones

%Definición de constantes
d = logspace(a, b, 1000); %vector de distancia
C= 3e8; %velocidad de la luz
Eo = 1; %modulo de la intensidad de campo en condiciones de espacio libre
do = 1; %distancia para campo Eo

%Operaciones para la antena1
lambda1=C/f1; %longitd de onda
Rd1=sqrt(((ht1+hm)+ hr)^2 + d.^2); % distancia recorrida por el rayo directo
Rr1=sqrt(((ht1+hm)- hr).^2 + d.^2); % distancia recorrida por el rayo reflejado
alfa1=Rd1-Rr1; % diferencia entre los dos caminos
delta1= 2*pi*alfa1*(1/lambda1); % diferencia de fases

Etot1 = 20*log10(abs(((2*(Eo)*do./d).*sin(delta1/2)))); % campo recibido

% REPRESENTACIÓN DEL DIAGRAMA POLAR
Az = linspace(0,360,length(d));
Y1 = repmat(Etot1,length(d),1);
figure
[~,c]= polarPcolor(d,Az,Y1,'Nspokes',13,'Ncircles',10,'Origin','Rmin');
ylabel(c,' Received Power (dB)');

%Operaciones para la antena2
lambda2=C/f2; %longitd de onda
Rd2=sqrt(((ht2+hm)+ hr)^2 + d.^2); % distancia recorrida por el rayo directo
Rr2=sqrt(((ht2+hm)- hr).^2 + d.^2); % distancia recorrida por el rayo reflejado
alfa2=Rd2-Rr2; % diferencia entre los dos caminos
delta2= 2*pi*alfa2*(1/lambda2); % diferencia de fases

Etot2 = 20*log10(abs(((2*(Eo)*do./d).*sin(delta2/2)))); % campo recibido

% REPRESENTACIÓN DEL DIAGRAMA POLAR
Az = linspace(0,360,length(d));
Y2 = repmat(Etot2,length(d),1);
figure
[~,c]= polarPcolor(d,Az,Y2,'Nspokes',13,'Ncircles',10,'Origin','Rmin');
ylabel(c,' Received Power (dB)');

end

```


ANEXO IV: INTERFAZ GRÁFICA

```
classdef interfaztodo < matlab.apps.AppBase
```

```
    % Properties that correspond to app components
```

```
    properties (Access = public)
```

UIFigure	matlab.ui.Figure
GridLayout	matlab.ui.container.GridLayout
LeftPanel	matlab.ui.container.Panel
Panel_2	matlab.ui.container.Panel
CalcularButton	matlab.ui.control.Button
Antenatransmisora1Panel	matlab.ui.container.Panel
htmSpinnerLabel	matlab.ui.control.Label
ht1Spinner	matlab.ui.control.Spinner
frecMHzLabel_2	matlab.ui.control.Label
f1EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Antenatransmisora2Panel	matlab.ui.container.Panel
htmLabel	matlab.ui.control.Label
ht2Spinner	matlab.ui.control.Spinner
frecMHzLabel	matlab.ui.control.Label
f2EditField2	matlab.ui.control.NumericEditField
VectordedistanciaPanel	matlab.ui.container.Panel
Desde10DropDownLabel	matlab.ui.control.Label
Desde10DropDown	matlab.ui.control.DropDown
Hasta10DropDownLabel	matlab.ui.control.Label
Hasta10DropDown	matlab.ui.control.DropDown
AntenareceptoraPanel	matlab.ui.container.Panel
hrmLabel	matlab.ui.control.Label
hrmSpinner	matlab.ui.control.Spinner
RightPanel	matlab.ui.container.Panel
Panel	matlab.ui.container.Panel
OpcionesCalculoMarea	matlab.ui.container.ButtonGroup
PuertosdelEstadoHoraGMTButton	matlab.ui.control.RadioButton
IHMButton	matlab.ui.control.RadioButton
ManualButton	matlab.ui.control.RadioButton
hmmLabel	matlab.ui.control.Label
hmm	matlab.ui.control.NumericEditField
UbicacinPanel	matlab.ui.container.Panel
DropDownLabel	matlab.ui.control.Label
DropDown	matlab.ui.control.DropDown
MomentoPanel	matlab.ui.container.Panel
FechaDatePickerLabel	matlab.ui.control.Label
FechaDatePicker	matlab.ui.control.DatePicker
Label	matlab.ui.control.Label
Spinnerhoras	matlab.ui.control.Spinner
HoraLabel	matlab.ui.control.Label
PosicinPanel	matlab.ui.container.Panel
MetrosEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
PosicionEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
RevolucinmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
RadioEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Spinner_2Label	matlab.ui.control.Label
Spinnermins	matlab.ui.control.Spinner
UIAxes	matlab.ui.control.UIAxes

```

end

    % Properties that correspond to apps with auto-reflow
    properties (Access = private)
onePanelWidth = 576;
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Button pushed function: CalcularButton
function CalcularButtonPushed(app, event)
%ASIGNACIÓN DE 'BOTONES' A PARÁMETROS DE ENTRADA DE LAS FUNCOINES%
fechahorastr = sprintf('%s %0.2d:%0.2d', app.FechaDatePicker.Value,
app.Spinnerhoras.Value, app.Spinnermins.Value);
Valor=app.FechaDatePicker;
if Valor==1
fechahora= (datenum(datetime(fechahorastr, 'InputFormat', 'dd-MM-yyyy HH:mm')));
else
fechahora=datetime('now');
end
a=app.Desde10DropDown.Value;
b=app.Hasta10DropDown.Value;
hr=app.hrmSpinner.Value;
ht1=app.ht1Spinner.Value;
ht2=app.ht2Spinner.Value;
f1=app.f1EditField.Value*10^6;
f2=app.f2EditField2.Value*10^6;
x=app.PosicionEditField.Value;
lugar=app.DropDown.Value
r=app.RadioEditField.Value;

if strcmp(app.OpcionesCalculoMarea.SelectedObject.Text, 'Puertos del Estado')
hm = calcula_marea_puertos(fechahora,lugar);
else
if strcmp(app.OpcionesCalculoMarea.SelectedObject.Text, 'IHM')
hm = calcula_marea_IHM(fechahora,lugar);
else
hm=app.hmm.Value;
end
end
app.hmm.Value=hm;
%REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS%
[Etot1,Etot2,d] = calcula_campo(a,b,hr,ht1,ht2,hm,f1,f2);
hold(app.UIAxes, 'off')
plot(app.UIAxes,d,(Etot1));
hold(app.UIAxes, 'on');
plot(app.UIAxes,d,(Etot2));
legend(app.UIAxes, 'E1', 'E2');
hold(app.UIAxes, 'off');

```

```
line(app.UIAxes,[x x], [100 -200], 'Color', 'red');
r1=x-(r/2);
r2=x+(r/2);
line(app.UIAxes,[r1 r1], [100 -200], 'Color', 'red', 'LineStyle', '--');
line(app.UIAxes,[r2 r2], [100 -200], 'Color', 'red', 'LineStyle', '--');
legend(app.UIAxes, 'E1', 'E2', 'Posición', 'Evolución');
end

% Value changed function: ht1Spinner
function ht1SpinnerValueChanged(app, event)
end

% Value changed function: hrmSpinner
function hrmSpinnerValueChanged(app, event)
end

% Callback function
function IHMCheckBoxValueChanged(app, event)
end

% Value changed function: DropDown
function DropDownValueChanged(app, event)
end

% Callback function
function TextAreaValueChanged(app, event)
end

% Selection changed function: OpcionesCalculoMarea
function OpcionesCalculoMareaSelectionChanged(app, event)
if strcmp(event.NewValue.Text, 'Manual')
app.hmm.Enable = 1;
else
app.hmm.Enable = 0;
end
end

% Value changed function: hmm
function hmmValueChanged(app, event)
%Value = app.hmm.Value;
%CalcularButtonPushed(app)
end

% Button down function: UIAxes
function UIAxesButtonDown(app, event)
end
```

```
% Changes arrangement of the app based on UIFigure width
function updateAppLayout(app, event)
currentFigureWidth = app.UIFigure.Position(3);
if(currentFigureWidth <= app.onePanelWidth)
% Change to a 2x1 grid
app.GridLayout.RowHeight = {546, 546};
app.GridLayout.ColumnWidth = {'1x'};
app.RightPanel.Layout.Row = 2;
app.RightPanel.Layout.Column = 1;
else
% Change to a 1x2 grid
app.GridLayout.RowHeight = {'1x'};
app.GridLayout.ColumnWidth = {255, '1x'};
app.RightPanel.Layout.Row = 1;
app.RightPanel.Layout.Column = 2;
end
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.AutoResizeChildren = 'off';
app.UIFigure.Position = [100 100 1095 546];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.SizeChangedFcn = createCallbackFcn(app, @updateAppLayout, true);

% Create GridLayout
app.GridLayout = uigridlayout(app.UIFigure);
app.GridLayout.ColumnWidth = {255, '1x'};
app.GridLayout.RowHeight = {'1x'};
app.GridLayout.ColumnSpacing = 0;
app.GridLayout.RowSpacing = 0;
app.GridLayout.Padding = [0 0 0 0];
app.GridLayout.Scrollable = 'on';

% Create LeftPanel
app.LeftPanel = uipanel(app.GridLayout);
app.LeftPanel.Layout.Row = 1;
app.LeftPanel.Layout.Column = 1;

% Create Panel_2
app.Panel_2 = uipanel(app.LeftPanel);
```

```
app.Panel_2.Position = [1 7 248 533];

% Create CalcularButton
app.CalcularButton = uibutton(app.Panel_2, 'push');
app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @CalcularButtonPushed,
true);
app.CalcularButton.Position = [19 494 100 22];
app.CalcularButton.Text = 'Calcular';

% Create Antenatransmisora1Panel
app.Antenatransmisora1Panel = uipanel(app.Panel_2);
app.Antenatransmisora1Panel.Title = 'Antena transmisora 1 ';
app.Antenatransmisora1Panel.Position = [19 372 213 106];

% Create htmSpinnerLabel
app.htmSpinnerLabel = uilabel(app.Antenatransmisora1Panel);
app.htmSpinnerLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.htmSpinnerLabel.Position = [24 49 37 22];
app.htmSpinnerLabel.Text = 'ht (m)';

% Create ht1Spinner
app.ht1Spinner = uispinner(app.Antenatransmisora1Panel);
app.ht1Spinner.Step = 0.1;
app.ht1Spinner.Limits = [0 100];
app.ht1Spinner.ValueDisplayFormat = '%.1f';
app.ht1Spinner.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @ht1SpinnerValueChanged,
true);
app.ht1Spinner.HorizontalAlignment = 'center';
app.ht1Spinner.Position = [76 49 100 22];
app.ht1Spinner.Value = 25;

% Create frecMHzLabel_2
app.frecMHzLabel_2 = uilabel(app.Antenatransmisora1Panel);
app.frecMHzLabel_2.HorizontalAlignment = 'right';
app.frecMHzLabel_2.Position = [10 7 53 22];
app.frecMHzLabel_2.Text = 'frec MHz';

% Create f1EditField
app.f1EditField = uieditfield(app.Antenatransmisora1Panel, 'numeric');
app.f1EditField.Limits = [0 Inf];
app.f1EditField.ValueDisplayFormat = '%.0f';
app.f1EditField.Position = [78 7 100 22];
app.f1EditField.Value = 12000;

% Create Antenatransmisora2Panel
app.Antenatransmisora2Panel = uipanel(app.Panel_2);
app.Antenatransmisora2Panel.Title = 'Antena transmisora 2 ';
app.Antenatransmisora2Panel.Position = [21 250 207 102];
```

```
% Create htmLabel
app.htmLabel = uilabel(app.Antenatransmisora2Panel);
app.htmLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.htmLabel.Position = [26 46 37 22];
app.htmLabel.Text = 'ht (m)';

% Create ht2Spinner
app.ht2Spinner = uispinner(app.Antenatransmisora2Panel);
app.ht2Spinner.Step = 0.1;
app.ht2Spinner.Limits = [0 100];
app.ht2Spinner.ValueDisplayFormat = '%.1f';
app.ht2Spinner.Position = [78 46 100 22];
app.ht2Spinner.Value = 30;

% Create frecMHzLabel
app.frecMHzLabel = uilabel(app.Antenatransmisora2Panel);
app.frecMHzLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.frecMHzLabel.Position = [11 9 53 22];
app.frecMHzLabel.Text = 'frec MHz';

% Create f2EditField2
app.f2EditField2 = uieditfield(app.Antenatransmisora2Panel, 'numeric');
app.f2EditField2.Limits = [0 Inf];
app.f2EditField2.ValueDisplayFormat = '%.0f';
app.f2EditField2.Position = [79 9 100 22];
app.f2EditField2.Value = 10000;

% Create VectordedistanciaPanel
app.VectordedistanciaPanel = uipanel(app.Panel_2);
app.VectordedistanciaPanel.Title = 'Vector de distancia';
app.VectordedistanciaPanel.Position = [20 28 205 104];

% Create Desde10DropDownLabel
app.Desde10DropDownLabel = uilabel(app.VectordedistanciaPanel);
app.Desde10DropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Desde10DropDownLabel.Position = [14 45 62 22];
app.Desde10DropDownLabel.Text = 'Desde 10^';

% Create Desde10DropDown
app.Desde10DropDown = uidropdown(app.VectordedistanciaPanel);
app.Desde10DropDown.Items = {'0', '1', '2', '3', '4'};
app.Desde10DropDown.ItemsData = [0 1 2 3 4];
app.Desde10DropDown.Position = [82 45 52 22];
app.Desde10DropDown.Value = 0;

% Create Hasta10DropDownLabel
```

```
app.Hasta10DropDownLabel = uilabel(app.VectordedistanciaPanel);
app.Hasta10DropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Hasta10DropDownLabel.Position = [17 10 61 22];
app.Hasta10DropDownLabel.Text = 'Hasta 10^';

% Create Hasta10DropDown
app.Hasta10DropDown = uidropdown(app.VectordedistanciaPanel);
app.Hasta10DropDown.Items = {'0', '1', '2', '3', '4', ''};
app.Hasta10DropDown.ItemsData = [0 1 2 3 4];
app.Hasta10DropDown.Position = [77 10 54 22];
app.Hasta10DropDown.Value = 4;

% Create AntenareceptoraPanel
app.AntenareceptoraPanel = uipanel(app.Panel_2);
app.AntenareceptoraPanel.Title = 'Antena receptora';
app.AntenareceptoraPanel.Position = [22 154 205 79];

% Create hrmLabel
app.hrmLabel = uilabel(app.AntenareceptoraPanel);
app.hrmLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.hrmLabel.Position = [10 17 37 22];
app.hrmLabel.Text = 'hr (m)';

% Create hrmSpinner
app.hrmSpinner = uispinner(app.AntenareceptoraPanel);
app.hrmSpinner.Step = 0.1;
app.hrmSpinner.Limits = [0 100];
app.hrmSpinner.ValueDisplayFormat = '%.1f';
app.hrmSpinner.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @hrmSpinnerValueChanged,
true);
app.hrmSpinner.HorizontalAlignment = 'center';
app.hrmSpinner.Position = [62 17 100 22];
app.hrmSpinner.Value = 10;

% Create RightPanel
app.RightPanel = uipanel(app.GridLayout);
app.RightPanel.Layout.Row = 1;
app.RightPanel.Layout.Column = 2;

% Create Panel
app.Panel = uipanel(app.RightPanel);
app.Panel.Position = [570 7 270 533];

% Create OpcionesCalculoMarea
app.OpcionesCalculoMarea = uibuttongroup(app.Panel);
app.OpcionesCalculoMarea.SelectionChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@OpcionesCalculoMareaSelectionChanged, true);
app.OpcionesCalculoMarea.Title = 'Obtención altura de la marea ';
```

```
app.OpcionesCalculoMarea.Position = [23 142 221 128];
```

```
% Create PuertosdelEstadoHoraGMTButton
```

```
app.PuertosdelEstadoHoraGMTButton = uiradiobutton(app.OpcionesCalculoMarea);  
app.PuertosdelEstadoHoraGMTButton.Text = 'Puertos del Estado (Hora GMT)';  
app.PuertosdelEstadoHoraGMTButton.Position = [10 82 192 22];  
app.PuertosdelEstadoHoraGMTButton.Value = true;
```

```
% Create IHMButton
```

```
app.IHMButton = uiradiobutton(app.OpcionesCalculoMarea);  
app.IHMButton.Text = 'IHM';  
app.IHMButton.Position = [10 61 65 22];
```

```
% Create ManualButton
```

```
app.ManualButton = uiradiobutton(app.OpcionesCalculoMarea);  
app.ManualButton.Text = 'Manual';  
app.ManualButton.Position = [11 38 65 22];
```

```
% Create hmmLabel
```

```
app.hmmLabel = uilabel(app.OpcionesCalculoMarea);  
app.hmmLabel.HorizontalAlignment = 'right';  
app.hmmLabel.Position = [13 8 43 22];  
app.hmmLabel.Text = 'hm (m)';
```

```
% Create hmm
```

```
app.hmm = uieditfield(app.OpcionesCalculoMarea, 'numeric');  
app.hmm.Limits = [0 50];  
app.hmm.ValueDisplayFormat = '%.1f';  
app.hmm.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @hmmValueChanged, true);  
app.hmm.HorizontalAlignment = 'center';  
app.hmm.Enable = 'off';  
app.hmm.Position = [71 8 112 22];
```

```
% Create UbicacinPanel
```

```
app.UbicacinPanel = uipanel(app.Panel);  
app.UbicacinPanel.Title = 'Ubicación';  
app.UbicacinPanel.Position = [19 408 225 108];
```

```
% Create DropDownLabel
```

```
app.DropDownLabel = uilabel(app.UbicacinPanel);  
app.DropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';  
app.DropDownLabel.Position = [-23 57 25 22];  
app.DropDownLabel.Text = '';
```

```
% Create DropDown
```

```
app.DropDown = uidropdown(app.UbicacinPanel);  
app.DropDown.Items = {'Marin', 'Ferrol'};
```

```
app.DropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @DropDownValueChanged, true);
app.DropDown.Position = [16 57 100 22];
app.DropDown.Value = 'Marin';
```

% Create MomentoPanel

```
app.MomentoPanel = uipanel(app.Panel);
app.MomentoPanel.Title = 'Momento';
app.MomentoPanel.Position = [20 280 224 115];
```

% Create FechaDatePickerLabel

```
app.FechaDatePickerLabel = uilabel(app.MomentoPanel);
app.FechaDatePickerLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.FechaDatePickerLabel.Position = [3 60 46 22];
app.FechaDatePickerLabel.Text = 'Fecha ';
```

% Create FechaDatePicker

```
app.FechaDatePicker = uidepicker(app.MomentoPanel);
app.FechaDatePicker.DisplayFormat = 'dd-MM-yyyy';
app.FechaDatePicker.Position = [52 60 150 22];
```

% Create Label

```
app.Label = uilabel(app.MomentoPanel);
app.Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.Label.Position = [48 21 10 22];
app.Label.Text = '';
```

% Create Spinnerhoras

```
app.Spinnerhoras = uispinner(app.MomentoPanel);
app.Spinnerhoras.Limits = [0 23];
app.Spinnerhoras.ValueDisplayFormat = '%0.2d';
app.Spinnerhoras.Position = [61 21 52 22];
app.Spinnerhoras.Value = 12;
```

% Create HoraLabel

```
app.HoraLabel = uilabel(app.MomentoPanel);
app.HoraLabel.Position = [17 20 32 22];
app.HoraLabel.Text = 'Hora';
```

% Create PosicinPanel

```
app.PosicinPanel = uipanel(app.Panel);
app.PosicinPanel.Title = 'Posición';
app.PosicinPanel.Position = [23 17 221 115];
```

% Create MetrosEditFieldLabel

```
app.MetrosEditFieldLabel = uilabel(app.PosicinPanel);
app.MetrosEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MetrosEditFieldLabel.Position = [42 64 42 22];
```

```
app.MetrosEditFieldLabel.Text = 'Metros';

% Create PosicionEditField
app.PosicionEditField = uieditfield(app.PosicinPanel, 'numeric');
app.PosicionEditField.Limits = [0 10000];
app.PosicionEditField.Position = [99 64 100 22];
app.PosicionEditField.Value = 5500;

% Create RevolucinmEditFieldLabel
app.RevolucinmEditFieldLabel = uilabel(app.PosicinPanel);
app.RevolucinmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.RevolucinmEditFieldLabel.Position = [3 21 90 22];
app.RevolucinmEditFieldLabel.Text = 'R evolución (m)';

% Create RadioEditField
app.RadioEditField = uieditfield(app.PosicinPanel, 'numeric');
app.RadioEditField.Limits = [0 Inf];
app.RadioEditField.ValueDisplayFormat = '%.0f';
app.RadioEditField.Position = [108 21 100 22];
app.RadioEditField.Value = 500;

% Create Spinner_2Label
app.Spinner_2Label = uilabel(app.RightPanel);
app.Spinner_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.Spinner_2Label.Position = [528 352 25 22];
app.Spinner_2Label.Text = '';

% Create Spinnermins
app.Spinnermins = uispinner(app.RightPanel);
app.Spinnermins.Limits = [0 59];
app.Spinnermins.ValueDisplayFormat = '%0.2d';
app.Spinnermins.Position = [704 308 50 22];

% Create UIAxes
app.UIAxes = uiaxes(app.RightPanel);
title(app.UIAxes, 'Campo recibido ');
xlabel(app.UIAxes, 'Distancia (m)');
ylabel(app.UIAxes, 'Valor del campo (dB)');
zlabel(app.UIAxes, 'Z');
app.UIAxes.PlotBoxAspectRatio = [2.73333333333333 1 1];
app.UIAxes.XGrid = 'on';
app.UIAxes.YGrid = 'on';
app.UIAxes.ButtonDownFcn = createCallbackFcn(app, @UIAxesButtonDown, true);
app.UIAxes.Position = [22 174 527 280];

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
```

```
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = interfaztodo3

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargin == 0
clear app
end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

% Delete UIFigure when app is deleted
delete(app.UIFigure)
end
end
end
```