



Instituto Tecnológico  
de Buenos Aires

**TESIS**

**Título:**

**SISTEMA DE MONITOREO Y DETERMINACION DE  
POSICIONES DE BUQUES EN LA ZONA ECONÓMICA  
EXCLUSIVA**

**Alumno:**

**Ernesto Miguel Klocker  
Ingeniero en Sistemas de Información**

**Carrera:**

**Maestría en Ingeniería de las Telecomunicaciones  
Instituto Tecnológico de Buenos Aires**

**Director de Tesis:**

**Ing. Claudio Marcelo Muñoz**

**2017**

**Jurado:**

**Ing. Carlos Belaustegui Goitia**

---

**Ing Pablo Roel**

---

**Ing. . Uriel Rozenbaum**

---

## **Dedicatoria**

A mis seres queridos, que me apoyaron, motivaron y alentaron a realizar este Maestría.

## **Agradecimientos**

Al Instituto Tecnológico Buenos Aires y a la Prefectura Naval Argentina, que me brindaron la oportunidad para que pudiera cursar la Maestría en Ingeniería de las Telecomunicaciones y mejorar mi formación profesional.

A los Directores de Carrera Ingenieros Rubén Kustra y Pablo Fierens, por sus oportunos consejos para la elaboración de la presente tesis y haber seleccionado y dirigido un plantel docente de excelente nivel profesional.

A mi Director de Tesis Ingeniero Claudio Marcelo Muñoz, quién me guio, orientó y con su decidido aporte me facilitó completar este trabajo.

A Ricardo Rial y Diego López, colaboradores a quienes he recurrido en más de un oportunidad durante la confección de este trabajo; y a todos quienes sin cuyo aporte e intervención no hubiere sido posible la implementación de este sistema a bordo de las unidades guardacostas.

A los Capitanes de los guardacostas, que me transmitieron sus experiencias y colaboraron activamente en la instrumentación del nuevo sistema.

## Tabla de Contenidos

A.	Breve descripción del problema y su importancia .....	6
B.	Motivación e importancia para abordarlo.....	7
C.	Que pasos se realizarán: .....	7
D.	Cuáles son los criterios de éxito: .....	8
II.	Estado de la cuestión .....	9
A.	Antecedentes relacionados con el problema .....	9
B.	Fundamentos teóricos y prácticos que cimientan las soluciones escogidas .....	21
III.	Hipótesis de trabajo .....	47
A.	Definir exactamente el problema.....	47
B.	Objetivos.....	50
C.	Restricciones o límites de trabajo.....	50
IV.	Solución propuesta .....	51
A.	Establecer la solución .....	51
B.	Justificación de la solución aportada.....	65
C.	Destacar el contenido de los conocimientos aportados. ....	65
D.	Método utilizado y justificación técnica que amparen la solución.....	67
V.	Resultados y conclusiones .....	69
A.	Representación que corrobora lo propuesto, resultados obtenidos y grado de desvío respecto de los resultados esperados. ....	69
B.	Evaluación general de procedimientos, recursos y facilidades utilizados. ....	70
C.	Recomendaciones.....	71
VI.	Futuras líneas de investigación .....	72
VII.	ANEXO I.....	73
VIII.	Bibliografía .....	74
IX.	Glosario.....	76
X.	Índice de ilustraciones.....	77
XI.	Índice de Ecuaciones.....	78
XII.	Índice de Tablas.....	78

## Introducción

### A. Breve descripción del problema y su importancia

Desde la aprobación de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR, 1982) los Estados ribereños han procurado asegurar sus derechos, particularmente los que se refieren a la explotación de los recursos vivos y no vivos marinos en lo que se denomina Zona Económica Exclusiva (ZEE). Este espacio de mar se extiende hasta las 200 millas marinas (M) contadas desde las líneas de base según la definición de la citada Convención.

La República Argentina por Ley Nº 23.968 llamada "Ley de los Espacios Marítimos", fijó en 1991, las líneas de base a partir de las cuales se miden sus espacios marítimos. Las líneas de base normal y recta están definidas en una lista y su trazado figura en las cartas a que hacen referencia. El listado se agrega como anexo I y las cartas como anexo II a la citada ley.

La Prefectura Naval Argentina, incorporó entre 1982 y 1983 cinco buques guardacostas de gran porte (ver Ilustración 1), capaces de efectuar el patrullado marítimo por largos períodos (30 días) en torno al límite exterior de la ZEE. Estas naves, durante sus tareas de patrullado, deben monitorear si los buques bajo inspección se encuentran dentro de la ZEE, y su actividad se efectúa conforme las leyes y reglamentaciones de la República Argentina.



*Ilustración 1- Guardacostas GC 26 "Thompson"*

Si bien la línea de las 200 M está graficada en cartas náuticas, debido a su pequeña escala, no resulta apropiada para efectuar cálculos precisos. Esto obligó a diseñar un procedimiento estándar de cálculo, que fuera observado por todos los guardacostas en forma uniforme, para que se pueda establecer en forma fehaciente la posición del buque bajo observación y la distancia a los puntos de base fijados en la ley; para así poder determinar su situación respecto de las aguas jurisdiccionales argentinas.

Este procedimiento ha permaneció invariable a lo largo del tiempo y fue utilizado por más de 30 años; no obstante es posible de sensibles mejoras a la luz de los avances tecnológicos disponibles que permiten automatizar procesos y disminuir la incertidumbre que conlleva el cálculo de las coordenadas del buque bajo inspección para determinar su posición respecto de las aguas jurisdiccionales argentinas.

**B. Motivación e importancia para abordarlo.**

El presente trabajo pretende efectuar aportes significativos en pos de optimizar la operatividad de las unidades Guardacostas, lo que redundará en una mejora sustancial en la eficiencia con que se desarrolla el patrullaje marítimo; además de aportar una fuente documental que justifique la pertinencia técnica del procedimiento adoptado.

La solución viene a resolver problemas operativos que tienen los buques guardacostas durante el patrullaje marítimo de la ZEE; incorporando nuevos elementos para la determinación de la situación de un buque respecto de la zona de las 200M y las ventajas que la automatización de procesos genera para mejorar la toma de decisiones y el registro de las operaciones.

Existen problemas de naturaleza tecnológica, que pueden ser abordados a través de la integración de sistemas existentes a bordo, a bajo costo y con grandes beneficios.

En el mercado no existen soluciones específicas para esta problemática, por lo que el desarrollo de una solución a medida, cobra relevancia en tanto producirá un notable mejoramiento en la eficiencia del patrullaje marítimo, con ingentes beneficios para la Nación.

**C. Que pasos se realizarán:**

Para la solución del problema planteado, se deberán abordar tres cuestiones fundamentales:

a) Automatización del proceso de identificación de buques.

- (1) Resolver las coordenadas del buque objetivo.
- (2) Determinar un procedimiento de medición.
- (3) Resolver las coordenadas del punto de referencia.
- (4) Otras cuestiones que ayuden a mejorar la operatividad.

b) Transferencia de información entre buque y estación costera.

- (1) Circuito tierra-buque de información.
- (2) Circuito buque-tierra de información.

c) Integración de toda la solución.

- (1) Desarrollo de software de gestión.
- (2) Implementación eléctrica e informática a bordo.

La solución tecnológica, implica el desarrollo de un sistema de información específico, que permita automatizar procesos, integrando mediante las interfaces NMEA la información proporcionada por las interfaces que provee el equipamiento electrónico de comunicaciones y navegación que los guardacostas poseen a bordo.

**D. Cuáles son los criterios de éxito:**

- a) Incrementar la precisión y velocidad en la ejecución de los cálculos de posición de buques objetivos.
- b) Permitir monitorear múltiples objetivos simultáneamente.
- c) Contar con una base de datos para documentar procesos administrativos o legales.
- d) Reducir la cantidad de personal de abordaje empleado en roles de cálculo de posición de buques objetivos.
- e) Lograr que en los buques guardacostas se encuentre disponible y actualizada la información que Prefectura posee en las estaciones costeras, originado en los distintos sistemas de identificación y seguimiento de buques.
- f) Permitir que desde las estaciones costeras se pueda monitorear la actividad del buque guardacostas y recibir información actualizada desde su base de datos.
- g) Poseer una fuente documental que avale el procedimiento de medición adoptado.

## II. Estado de la cuestión

### A. Antecedentes relacionados con el problema

La CONVEMAR establece que "La Zona Económica Exclusiva es un área situada más allá del mar territorial y adyacente a éste, sujeta al régimen jurídico específico establecido en esta Parte, de acuerdo con el cual los derechos y la jurisdicción del Estado ribereño y los derechos y libertades de los demás Estados se rigen por las disposiciones pertinentes de esta Convención".

En la ZEE, el Estado ribereño tiene "derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales, tanto vivos como no vivos, de las aguas suprayacentes al lecho y del lecho y el subsuelo del mar, y con respecto a otras actividades con miras a la exploración y explotación económicas de la zona, tal como la producción de energía derivada del agua, de las corrientes y de los vientos..." (CONVEMAR, 1982).

También establece que "la zona económica exclusiva no se extenderá más allá de 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial" (CONVEMAR, 1982).

El "Manual sobre los Aspectos Técnicos de la Convención de las Naciones Unidas Sobre el Derecho del Mar – 1982" publicado por la Organización Hidrológica Internacional, proporciona una orientación sobre los aspectos técnicos con el objetivo de asegurar una mayor normalización internacional de los aspectos técnicos relativos a Convención.

Este Manual indica que "Un punto de base es cualquier punto a lo largo de la línea de base. En el método de las líneas de base rectas, donde una línea de base recta se encuentra con otra línea de base en un punto común, puede decirse que una línea 'se vuelve' en ese punto para formar otra línea de base. Puede denominarse ese punto un 'punto de inflexión de la línea de base' o simplemente 'punto de base'. (IHO, 2006)

Respecto de la publicidad de las líneas de base, continúa: ... "De acuerdo con el Artículo 16 de la CONVEMAR, las líneas de base se deben publicar en cartas o mediante listas de coordenadas geográficas. En general la "línea de base normal", compuesta por la línea de bajamar, se indica de manera más conveniente en cartas reconocidas oficialmente. La enumeración de las coordenadas geográficas suficientes para definir con el detalle necesario la línea de bajamar completa, sería una tarea excesivamente tediosa. Por otro lado, las líneas de base rectas se pueden definir de manera fácil y precisa al enumerar las coordenadas geográficas, referidas a un dátum geodésico determinado, de los puntos extremos de cada segmento". (IHO, 2006)

“Las coordenadas geográficas que definen los puntos de base se indican, normalmente, con un margen de aproximación de un segundo de arco en latitud y longitud; algunas veces, si los datos de base son lo suficientemente exactos, se puede alcanzar una precisión mayor”. (IHO, 2006)

“Para deducir en una carta una posición con un margen de aproximadamente 30 metros (alrededor de 1 segundo de arco en latitud), la carta necesitará tener una escala de aproximadamente 1:75.000, lo que representa una escala inconvenientemente grande para mostrar cualquier longitud considerable de la costa. En la mayoría de los casos, la escala que esté comprendida entre 1:100.000 y 1:250.000 será apropiada para mostrar las líneas de base. El requisito para un nivel de alta precisión en la definición de las líneas de base y las fronteras derivadas de ellas, es impuesto principalmente por la necesidad de administrar y controlar los importantes recursos de mar adentro, como por ejemplo hidrocarburos y minerales. Para alcanzar un alto nivel de alta precisión será necesario utilizar técnicas geodésicas”. (IHO, 2006)

“Los límites de la zona económica exclusiva no se extenderán más allá de 200 millas náuticas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial (Artículo 57). Los procedimientos para trazar los límites de esta zona son similares a los utilizados para definir los límites del mar territorial, con la excepción de que en todas las determinaciones finales deben utilizarse métodos informáticos”. (IHO, 2006)

La República Argentina por Ley N° 23.968 denominada “Ley de los Espacios Marítimos” (1991) fijó las líneas de base, a partir de las cuales se miden sus espacios marítimos, las líneas de base normales y de base rectas definidas en el listado que como Anexo I a dicha ley, y cuyo trazado figura en cartas náuticas que se agregaron como Anexo II.

En realidad, en el Anexo I de la ley, se indican los ‘puntos de inflexión de la línea de base’ o simplemente ‘punto de base según la definición de la IHO. (IHO, 2006).

En la Ilustración 2, se observa un extracto del Anexo I, tal como está agregado a la ley, donde se indica: carta, número de punto, accidente geográfico, coordenadas geográficas (Lat. S / Long. W), y tipo de línea de base.

Carta	Punto Nro.	Accidente Geográfico	Coordenadas Geográficas Latitud S Longitud W		Línea de Base
<b>RED DE LA PLATA HASTA PUNTA DUNGENESS</b>					
CARTA H-113 - 1ra. Edición 1969 - ESCALA 1: 250000					
H 113	1	Punto medio límite exterior Río de La Plata (artículo 1 Tratado del Río de la Plata y su frente marítimo-1973).	35°38'.0	55°52'.0	Recta
F-113	2	Punta Rasa	36°17'.4	56°47'.0	
CARTA H-114 - 5ta. Edición 1984 - ESCALA 1: 250000					
F-114	2	Punta Rasa	36°17'.4	56°47'.0	Normal
F-114	3	Cabo Corrientes.	38°00'.9	57°31'.2	

Ilustración 2 – Extracto Anexo I Ley 23.968

Como se aprecia, las coordenadas geográficas de los “puntos de base” están definidas con un décimo de minuto de arco (Ej. Punta Rasa: 36° 17',4 S– 56° 47",0 W).

En la CONVEMAR, se estableció como unidad de distancia y medida de longitud estándar, la milla náutica Internacional (M). Esta milla náutica, aprobada en la Conferencia Hidrográfica Internacional de 1929, tiene un valor de 1.852 metros que equivale a la longitud de un minuto de arco de latitud geográfica a aproximadamente 44° de latitud. (IHO, 2006).

Teniendo en cuenta entonces los párrafos precedentes, los “punto de base” definidos en la ley, poseen una incertidumbre de 1/10 de milla náutica, es decir 185,2 metros, lo que indica que debemos considerar ése margen de error en cualquier medición a dicho punto.

Los espacios marítimos argentinos, se encuentran demarcados en la carta náutica H-50 (ilustración 3), pero debido a su pequeña escala (1:3.500.000) y conforme la leyenda impresa en la misma carta, los límites representados deben ser tomados como aproximados; lo cual se ajusta a las recomendaciones de la IHO.

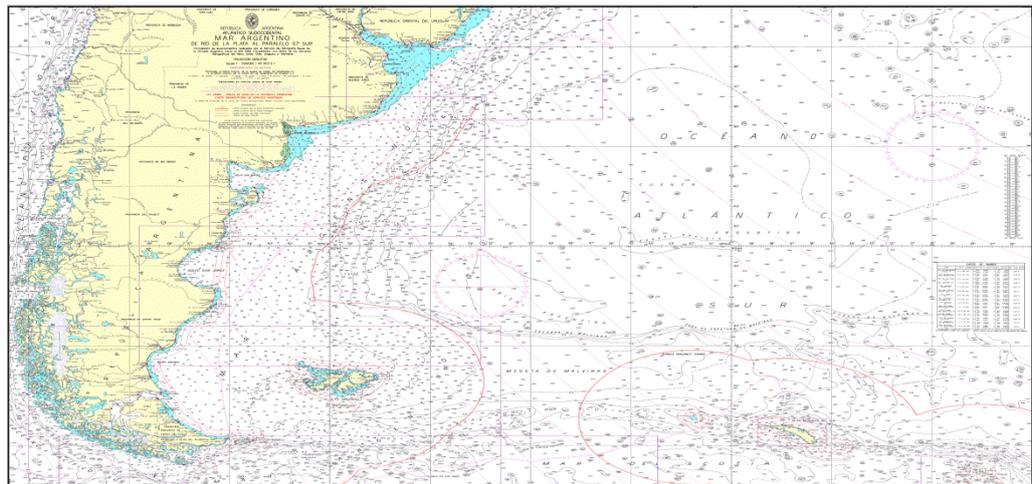


Ilustración 3 - Carta H-50 (general) SHN

En la siguiente ampliación de la Carta H50 (ilustración 4), podemos observar la representación de las líneas de base rectas y el límite exterior de la Zona Económica Exclusiva. Las líneas de base normal, compuestas por las líneas de bajamar, no están taxativamente referenciadas.

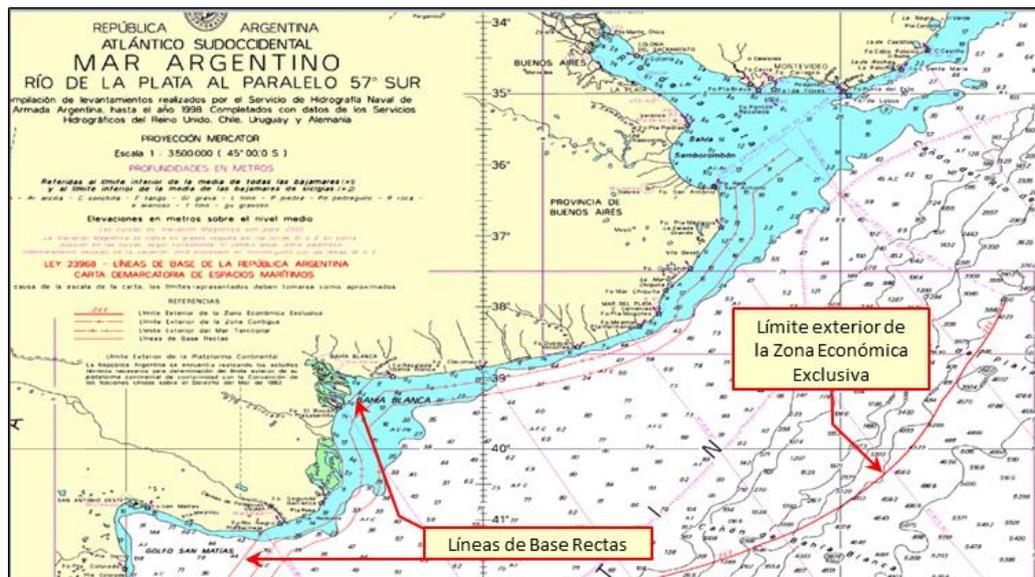


Ilustración 4 - Carta H50 (ampliación parcial) SHN

El límite exterior de la Zona Económica Exclusiva, es la línea que resulta de la envolvente de los arcos trazados desde las coordenadas de los puntos base con un radio de 200 M. No todos los puntos de base proyectan sobre el límite exterior de la ZEE, ya que solo la integran arcos de los puntos ubicados en los accidentes geográficos más salientes.

Al momento de efectuar cálculos del límite de la ZEE, es preciso tener en cuenta que la IHO en el manual de referencia expresa que, se podrán utilizar métodos total o parcialmente automatizados para el cálculo de límites

exteriores y será condición básica comenzar con una secuencia de coordenadas de puntos de base en formato digital. En nuestro caso, usando los puntos de base determinados en la Ley de los Espacios Marítimos.

Pero también prevé que: “en los casos en que las coordenadas no se publiquen oficialmente, por una cuestión de conveniencia, éstas se podrán extraer de cartas apropiadamente detalladas, utilizando una tabla digitalizadora, o mediante la determinación visual de las coordenadas de los puntos de base deseados”. (IHO, 2006)

Esto da sustento a la posibilidad de utilización de puntos base que, aun cuando no estén oficial o convenientemente publicados, puedan ser extraídos de cartas apropiadamente detalladas que si lo están; tal es el caso de los puntos correspondientes a las líneas de bajamar que componen las líneas normales.

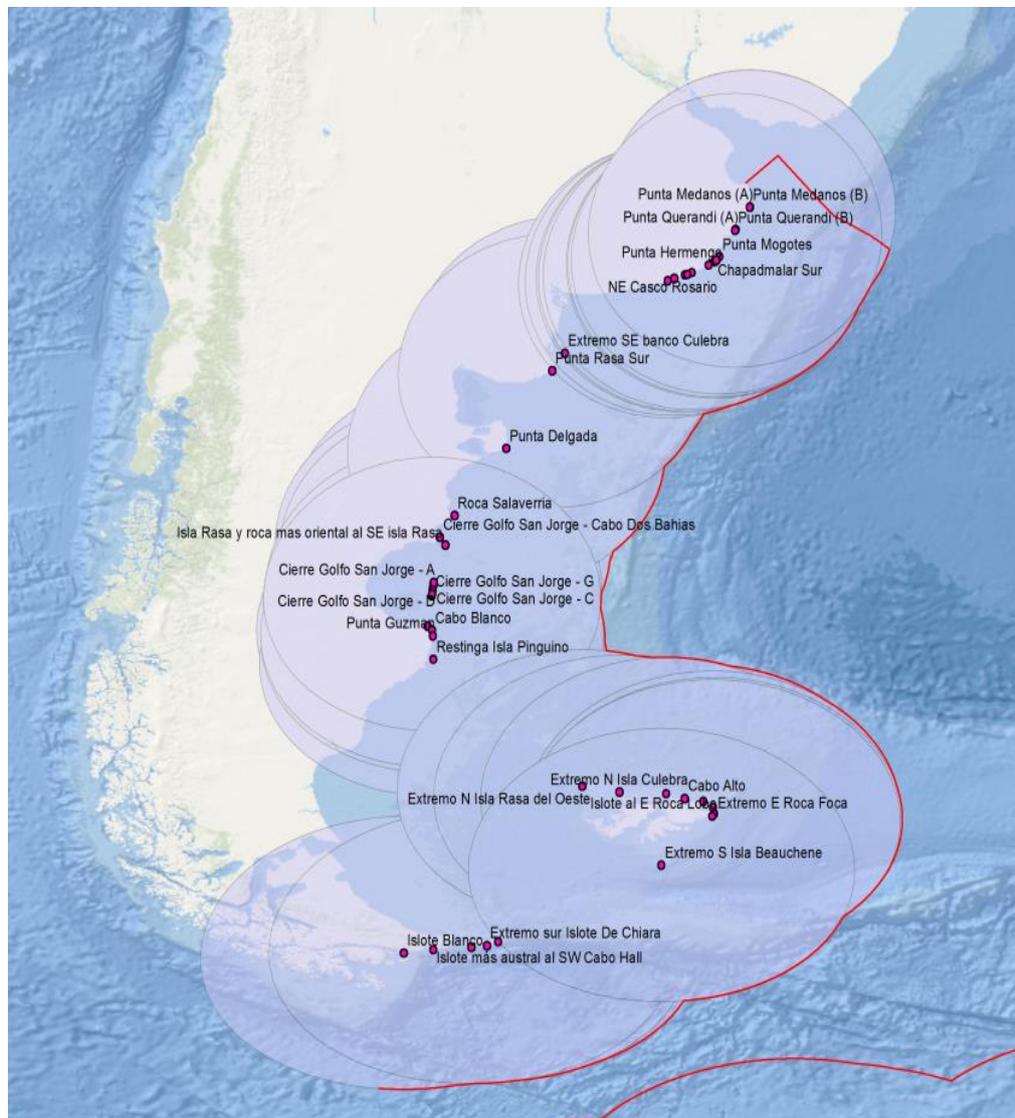


Ilustración 5 - Puntos base que delimitan la ZEE

Después de la publicación de la Ley de los Espacios Marítimos, se fueron identificando otros puntos en las líneas de base que proyectan más que los arcos publicados en las cartas de la época (ilustración 5); siendo éstos los que en la práctica comenzaron a utilizarse para determinar la posición de un objeto en relación al límite de la ZEE.

Estas coordenadas ya se encuentran definidas con una precisión de un décimo de segundo de arco (Ej. Restinga Balneario Los Ángeles: 38° 40' 44.8" S – 59° 00' 42.2" W); y la totalidad de estos puntos de la línea de base, se encuentran detallados en el Anexo I "Puntos de líneas de base que definen el límite exterior de la zona económica exclusiva de la República Argentina".

De los puntos que definen el límite exterior de la ZEE, sólo en ocho ocasiones coincide la denominación del accidente geográfico con la de los puntos base indicados en la Ley; los cuales se detallan en la Tabla 1

ACCIDENTE_GEOGRAFICO	Origen	NRO	LAT_DMS	LON_DMS	Distancia	Angulo
Extremo Sur islote De Chiara	Ley	200	54° 52' 36" S	64° 10' 36" W	448	164
	Normal	A32	54° 52' 50,3" S	64° 10' 31,8" W		
Isla Rasa y roca mas oriental al SE isla Rasa	Ley	51	45° 07' 12" S	65° 22' 18" W	411	54
	Normal	A16	45° 07' 02,5" S	65° 22' 04,8" W		
Islote Blanco	Ley	134	55° 03' 48" S	66° 33' 12" W	469	74
	Normal	A35	55° 03' 41,2" S	66° 32' 48,4" W		
Islote más austral al SW Cabo Hall	Ley	122	55° 58' 24" S	64° 41' 40,34" W	917	195
	Normal	A34	54° 58' 53,3" S	65° 42' 08,1" W		
Islote más austral de la Punta Fallows	Ley	198	54° 47' 12" S	63° 50' 48" W	908	241
	Normal	A31	54° 47' 32,2" S	63° 51' 24,9" W		
Islote mas austral de los islotes 350 Pies	Ley	201	54° 55' 00" S	64° 37' 12" W	493	153
	Nomal	A33	54° 55' 15,3" S	64° 37' 04,2" W		
Punta Hemengo	Ley	6	38° 17' 12" S	57° 50' 06" W	1950	241
	Normal	A06	38° 17' 48,2" S	57° 51' 11,8" W		
Restinga Isla Pinguino	Ley	56	47° 54' 30" S	65° 42' 54" W	562	74
	Normal	A21	47° 54' 23,0" S	65° 42' 29" W		

Tabla 1

Si analizamos para éstos accidentes geográficos el par de coordenadas que los definen (las de la Ley y las que define el límite de la ZEE), centrando en un gráfico polar el punto de Ley y en forma radial el que indica el límite de la ZEE, como se observa en la ilustración 6, podemos advertir –en todos los casos- que éstos últimos no sólo tienen una mayor precisión en la definición de sus coordenadas (un décimo de segundo), sino que también mejora su geolocalización; pero todos quedan fuera del décimo de minuto de tolerancia con que están definidos los puntos en la Ley.

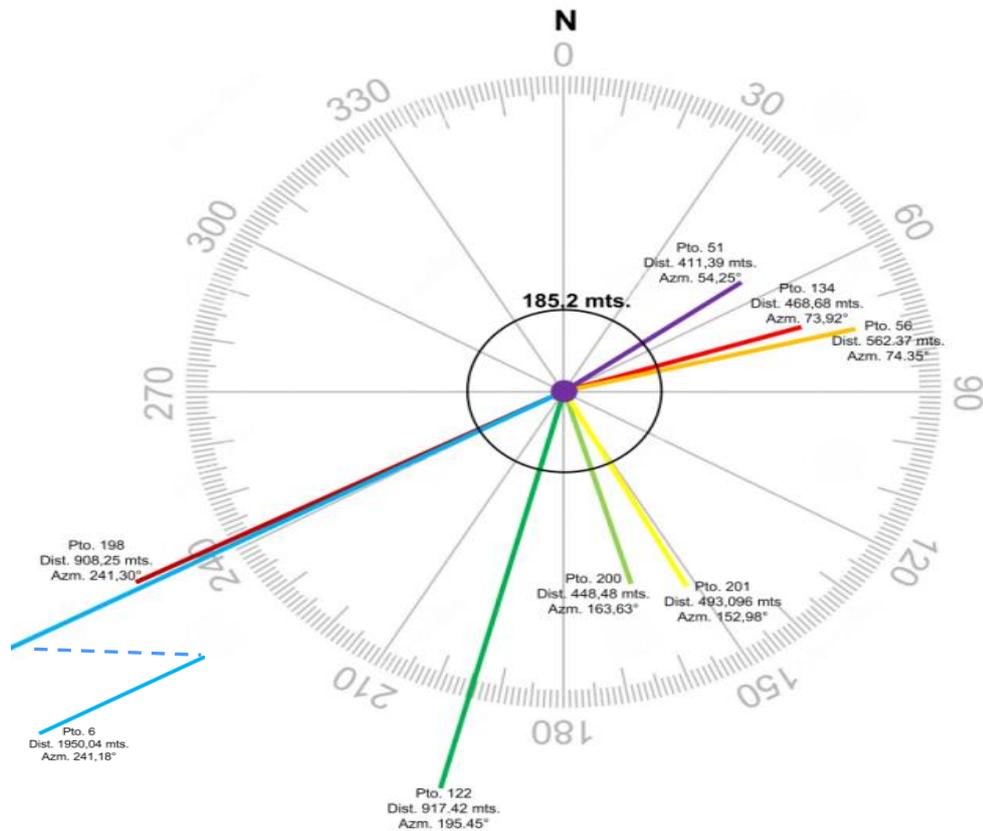


Ilustración 6 – Análisis de puntos base

En la ilustración 7, podemos ver una fotografía aérea correspondiente al área de Punta Hermengo (Pcia. BsAs.), donde se observa la posición indicada en la Ley como punto base a la derecha con una precisión en sus coordenadas de un décimo de minuto (185,2 m) y a la izquierda la ubicación de las coordenadas fijadas con una precisión de un décimo de segundo (3,1 m) que señalan el punto de la línea normal que define un arco del límite de la ZEE.



Ilustración 7 - Fotografía aérea Punta Hermengo

## PLATAFORMA CONTINENTAL ARGENTINA

Antes de continuar avanzando con el estado actual de la problemática de la delimitación de la zona económica exclusiva; se considera oportuno en esta instancia, desarrollar los lineamientos generales del proceso de delimitación de la plataforma continental argentina, tarea que ha llevado casi veinte años de labor a la Comisión Nacional del Límite de la Plataforma Argentina (COPLA).

En principio, cabe destacar que los procedimientos para determinar el límite exterior de la plataforma continental se prescriben en el Artículo 76 de la CONVEMAR. Para examinar los datos y toda la información presentada por los Estados ribereños sobre el límite exterior de la plataforma continental, dicha Convención creó en el seno de la ONU, un organismo científico integrado por 21 expertos internacionales de reconocido prestigio, denominada "Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLPC)".

Esta Comisión, una vez concluido el análisis de la información aportada por los Estados, emite recomendaciones relacionadas con la adecuación del límite presentado a los criterios y restricciones establecidos en la CONVEMAR. Posteriormente el Estado ribereño determina el límite exterior de su plataforma continental que, si cumple con las recomendaciones de la CLPC, será definitivo y obligatorio.

Para encausar las presentaciones de los Estados, la CLPC publicó las "Directrices Científicas y Técnicas de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental" (ONU, 1999), con el propósito de orientar a los Estados miembros que presenten datos y otro tipo de material referido a la delimitación de la plataforma, y aclarar el alcance y el contenido de las pruebas científica y técnicas admisibles que habrá de examinar la Comisión. También es de aplicación el Manual sobre los aspectos técnicos de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos del Mar".

Otro dato que se considera relevante, es que las cartas en formato digital o papel que se presenten en el transcurso del proyecto a la CLPC, deben constituir un medio conveniente para representar - entre otros parámetros -, el límite de 200 millas náuticas. (IHO, 2006, pág. 114)

En este conjunto de recomendaciones, para nuestro propósito, rescatamos algunos pasajes relacionados con la introducción de la tecnología informática en el proceso de implementación, lo que sirven para orientarnos sobre la pertinencia de la utilización de sistemas de información geográfica digitales y paquetes de bases de datos comerciales:

"...En las primeras etapas del proceso de implementación, será necesario tomar una decisión respecto a los métodos para manejar y archivar los conjuntos de datos georeferenciados en formato digital, lo cual podría suponer el uso de paquetes de bases de datos comerciales.

...

...Luego, será necesario escoger o diseñar una base cartográfica adecuada (a la cual llamaremos carta de trabajo) para representar los diferentes parámetros involucrados en la implementación del Artículo 76. Lo anterior puede consistir en una carta en blanco convencional, aunque normalmente es preferible utilizar un mapa digital a la medida, que haya sido creado por un Sistema de Información Geográfica (SIG) y que cubra toda el área de estudio....

...Un mapa digital tiene muchas más ventajas que una carta de papel: (a) se puede elaborar rápidamente a partir de los contenidos de una base de datos digital; (b) se puede mostrar a cualquier escala; (c) a medida que se dispone de nueva información, se puede corregir de manera sencilla; (d) sus contenidos se pueden correlacionar fácilmente o exhibir simultáneamente con los datos complementarios y se puede imprimir en papel con mucha flexibilidad en cuanto a tamaño y formato...."

(IHO, 2006, pág. 113)

La Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA) fue creada en 1997 mediante la Ley N° 24.815, como el órgano estatal encargado de elaborar la presentación final del límite exterior de la plataforma continental argentina, de conformidad con la CONVEMAR y la Ley N° 23.968 de Espacios Marítimos. (COPLA, 1997)

COPLA es una comisión interministerial, presidida por el Ministerio de Relaciones Exterior y Culto, e integrada por un miembro del Servicio de Hidrografía Naval y un miembro del entonces Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Los miembros son asistidos por un Coordinador General. COPLA cuenta con profesionales propios de las distintas disciplinas involucradas: geodestas, hidrógrafos, geólogos, geofísicos, cartógrafos, oceanógrafos, expertos en sistemas de información geográfica, abogados y expertos en derecho internacional. Colaboran con COPLA además numerosos organismos públicos y universidades relacionados con la temática. (COPLA, 1997)

La plataforma continental sobre la cual ejerce derechos de soberanía la República Argentina a los efectos de la exploración y de la explotación de sus recursos naturales, comprende el lecho y subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio.

Jurídicamente, la plataforma continental comienza donde termina el lecho y el subsuelo del mar territorial, que en la Argentina, llega a las 12 millas marinas, medidas desde las líneas de base. Más allá de ese punto, todo Estado ribereño tiene reconocida una plataforma continental de, por lo menos, hasta las 200 millas marinas, medidas desde las líneas de base.

El régimen de la plataforma continental se halla establecido en la Ley N° 23.968 y en la Parte VI de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR), que entró en vigor para la República Argentina en 1995. De acuerdo con estas normas, la plataforma continental de un Estado ribereño comprende el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio, hasta el borde exterior del margen continental.

Cuando esta plataforma se extiende más allá de las 200 millas marinas, el Estado ribereño debe presentar información sobre el límite exterior a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLPC).

Por Decreto N° 752/2000, se aprobó el plan general y el presupuesto global de los trabajos y tareas comprendidas en el proyecto de fijación del mencionado límite; teniendo como una de sus tareas de levantamientos geodésicos, la realización de nuevas determinaciones de los sistemas geodésicos de referencia y la actualización de las coordenadas geodésicas al sistema WGS84 de los puntos de las líneas de base.

La presentación del límite exterior de la plataforma continental argentina fue entregada a la CLPC el 21 de abril de 2009. Esta presentación consta de un Cuerpo Principal estructurado en seis capítulos desarrollados en 13 tomos, que contienen la fundamentación científica del límite exterior de la plataforma continental argentina. En otros 13 tomos y en 30 DVDs y 84.6 GB se encuentran recopilados los datos científicos y técnicos justificativos. (COPLA, 1997).

El límite exterior de la plataforma continental argentina dibujado en el mapa que se muestra en la ilustración 8, es el contenido en la presentación realizada por la República Argentina ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLPC) el 21 de abril de 2009

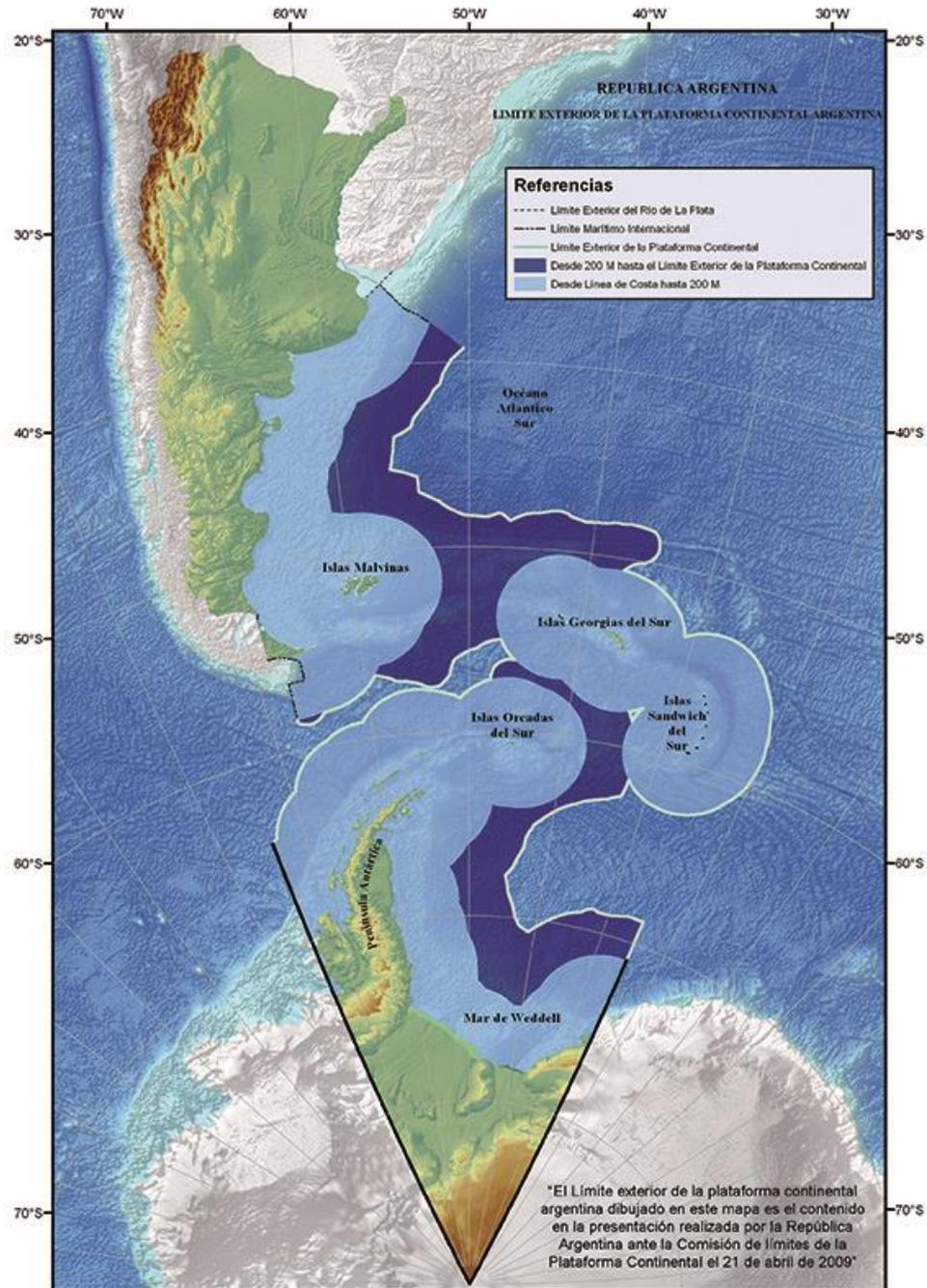


Ilustración 8 - Mapa de la Plataforma Continental Argentina

Después de casi 7 años de estudios, el 11 de marzo de 2016, la CLPC adoptó por consenso (es decir sin votos en contra) las recomendaciones sobre la presentación argentina, lo que implica que se ha reconocido de manera fehaciente y definitiva el límite exterior de la plataforma continental República Argentina en base a la información técnica aportada por la COPLA, entre la que se incluyen las líneas de base y el límite de la Zona Económica Exclusiva referenciados en WGS84.

En el año 2013, en los prolegómenos del presente trabajo y a los fines de la implementación de un sistema informático para uso operacional de los guardacostas, se requirió al SHN la lista de puntos base utilizados en el cálculo del límite de la ZEE, un vector geo-referenciado WGS84, la fórmula o método utilizado para el cálculo de distancias geodésicas en WGS84 y cartas versión más actualizadas formatos raster/bsb del litoral marítimo.

A tal fin el SHN remitió un listado de puntos cada trescientos metros (300m) que componen la línea de 200 M que conforman el límite de la Zona Económica Exclusiva en WGS84, ya calculados por ese Servicio. Se aclara al respecto que los puntos que componen dicha línea construida a partir de cálculos geodésicos geo-referenciados, aún no se encuentran actualizados en la Ley N° 23.968. Indica además, que la precisión de dichos puntos permite que ésta información pueda ser representada vectorialmente a cualquier escala para el uso solicitado con una precisión aproximada de diez metros (10 m).



Ilustración 9 - Vista parcial de la línea de 200M límite ZEE en WGS84- SHN 2013

El SHN como organismo técnico especializado efectuó los cálculos geodésicos en WGS84, para evitar que se tengan que efectuar las mediciones entre puntos muy distantes (200 M). La representación en cualquier escala del polígono vectorial que define el límite de la ZEE, se adapta apropiadamente para su utilización en sistemas informáticos de información geográfica. En la ilustración 9 se puede observar una representación parcial de la línea de 200 M en WGS84 calculada por el SHN.

## B. Fundamentos teóricos y prácticos que cimientan las soluciones escogidas

En cuanto al modo de calcular las coordenadas del límite exterior, la Organización Hidrológica Internacional en su "Manual sobre los aspectos técnicos de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos del Mar", establece que: "al calcular las coordenadas del límite exterior, es fundamental el uso de un programa capaz de realizar cálculos geodésicos, teniendo en cuenta las variaciones que surgen debido a la curvatura de la superficie terrestre. De lo contrario, los límites exteriores resultantes pueden presentar errores significativos" (IHO, 2006).

### a) Cálculos de distancias entre dos puntos en la Tierra

Existen diferentes métodos para la medición de distancias en la Tierra aplicables a la navegación, y sin ser exhaustivos en su clasificación, en principio las dividiremos en: los que consideran a la Tierra una superficie plana; los que consideran a la Tierra una esfera perfecta y finalmente los que consideran la Tierra en un esferoide en revolución (esfera aplanada en los polos). Estos últimos permiten efectuar cálculos geodésicos que son en definitiva lo de nuestro interés. Seguidamente veremos algunas de las más representativas para nuestro caso:

#### (1) Modelos que consideran la Tierra plana

##### (a) Teorema de Pitágoras

Según el PhD. Robert G. Chamberlain, puede considerarse la superficie de la Tierra plana para medición de distancias entre dos puntos, cuando la "distancia es inferior a unos 20 km (12 millas) y las ubicaciones de los dos puntos en coordenadas cartesianas son X1, Y1 y X2, Y2" (Chamberlain, 1996).

En este caso, basta el Teorema de Pitágoras expresado en ecuación 1, para conocer la distancia entre los puntos:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Ecuación 1 - Ecuación del teorema de Pitágoras

Chamberlain, nos indica que debido a la convergencia de los meridianos hacia los polos y a la curvatura de los paralelos, se observarán errores con valores menores a:

- 30 metros para latitudes inferiores a 70 grados (polos)
- 20 metros para latitudes menores de 50 grados.

- 9 metros para latitudes menores de 30 grados

También nos advierte, que este método requiere que las unidades estén expresadas como coordenadas cartesianas o rectangulares, ya que si fueran expresas como coordenadas esféricas, el coste computacional de la conversión, puede exceder el costo de utilizar el modelo esférico más preciso.

Si bien en este caso, el cálculo resultaría sencillo, dado que la información brindada por los instrumentos de posicionamiento global (GPS) es proporcionada en coordenadas esféricas decimales, el mayor costo computacional que representa su conversión y las limitaciones de distancias que posee, no lo hacen un método suficientemente práctico para su empleo en las circunstancias que se planean.

(b) *Calculo loxodrómico*

La trayectoria loxodrómica es una curva que corta todos los meridianos terrestres con el mismo ángulo, lo cual simplifica mucho la navegación en trayectos medios, ya que si se usara para distancias mayores y se mantuviera el rumbo, el buque dibujaría una espiral alrededor del globo terrestre hasta alcanzar uno de los polos (excepto que navegue rumbo  $90^\circ - 270^\circ$ ).

Para navegaciones de menos de 300 millas náuticas, antiguamente se realizaban cálculos loxodrómicos que se basan en el Teorema de Pitágoras, pero que tienen en consideración los incrementos de latitud y longitud.

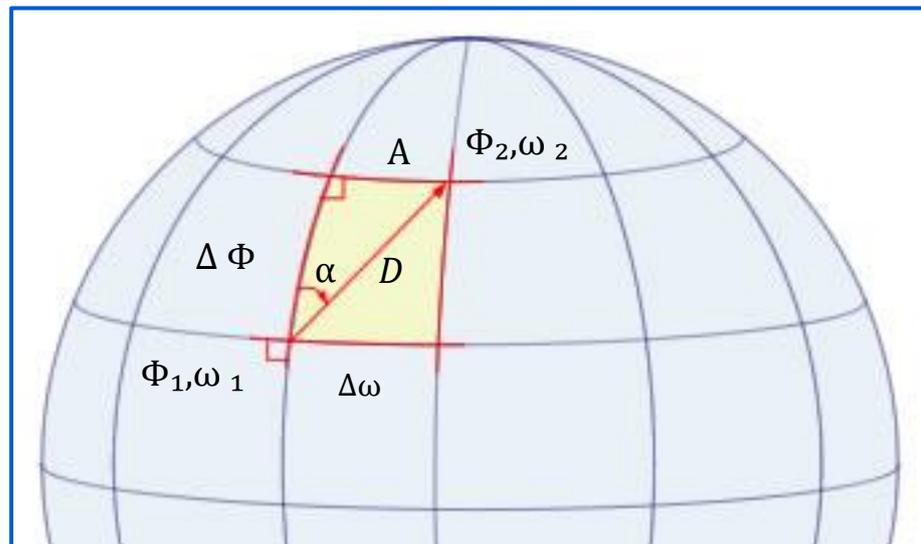


Ilustración 10 - Navegación loxodrómica

El principal problema a resolver, es hallar los grados de longitud que se ha desplazado el buque. Los grados de latitud no representan problema porque todos poseen el mismo tamaño alrededor de la Tierra; sin embargo los paralelos decrecen del Ecuador hacia los polos (ilustración 10).

Entonces podemos hallar los nuevos valores de latitud y longitud siguiendo las siguientes formulas loxodrómicas como se aprecia en ecuación 2:

$$\begin{aligned} A &= D \times \text{Sen } \alpha; && \text{(Apartamiento)} \\ \Delta\Phi &= D \times \text{Cos } \alpha; && \text{(Diferencia de latitud)} \\ \Phi_m &= (\Phi_2 + \Phi_1) / 2; && \text{(Latitud media)} \\ \Delta\omega &= A / \text{Cos } \Phi_m; && \text{(Diferencia de longitud)} \end{aligned}$$
$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Delta\Phi \quad \text{y} \quad \omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega \quad (\text{lat y long buscadas})$$

Ecuación 2 - Fórmulas Loxodrómicas

Con este método, fundamentalmente se obtienen las coordenadas de un objeto, al que se lo localiza mediante una marcación radar que nos aporta el azimut y la distancia respecto de nuestra posición. Estas marcaciones se efectúan usualmente por debajo de las 20 millas náuticas de distancia, lo que representa un típico alcance de radar de navegación.

## (2) Modelos que consideran la Tierra una esfera perfecta

Las fórmulas para cálculos basados en considerar a la Tierra de forma perfectamente esférica (ignorando los efectos elipsoidales) son lo suficientemente precisas para la mayoría de los propósitos.

### (a) Cálculo ortodrómico

La ortodromia es el arco del círculo máximo más corto que une dos puntos de la superficie terrestre, considerada ésta como una esfera. Si los puntos son antipodales (separados 180°) se podrían trazar infinitos arcos de igual longitud. La navegación ortodrómica se la conoce también como navegación por el círculo máximo y es la intenta realizar el camino más corto entre dos puntos. (ilustración 11)

Una característica del arco ortodrómico es que presenta un ángulo diferente en cada meridiano, (excepto cuando el arco coincide con la línea del ecuador). La necesidad de variar constantemente el rumbo (ángulo respecto el meridiano) resulta en una complicación para la navegación, por lo que en la práctica se definen puntos intermedios en el trayecto donde se hacen los ajustes en el rumbo; así la navegación se transforma en una combinación de ortodrómica y loxodrómica: Se calcula el rumbo inicial con la ortodrómica

(menor distancia) y se navega en forma loxodrómica (rumbo fijo) hasta el primer punto, luego se recalcula el rumbo ortodrómico y se navega la siguiente pierna en forma loxodrómica.

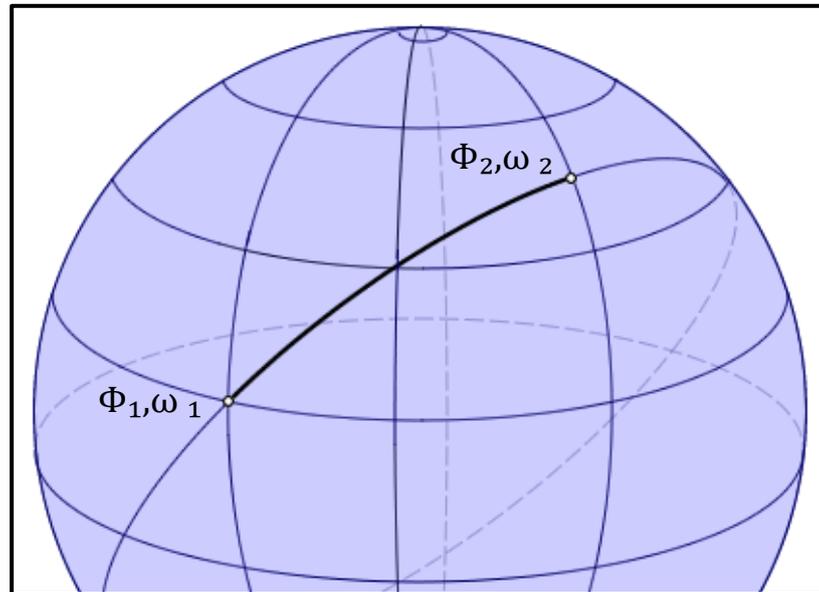


Ilustración 11 - Navegación ortodrómica (círculo mayor)

En el cálculo ortodrómico el problema de la distancia se resuelve con la fórmula de haversine (que se verá luego) y el rumbo inicial mediante la ecuación 3:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_2 - \varphi_1 \\ \Delta\omega &= \omega_2 - \omega_1 \\ R &= 6.378.137 \text{ metros} \\ R_i &= \cos \varphi_1 * \left[ \left( \frac{\tan \varphi_2}{\sin \Delta\omega} \right) - \left( \frac{\tan \varphi_1}{\tan \Delta\omega} \right) \right]\end{aligned}$$

Ecuación 3 – Cálculo rumbo inicial ortodrómico

(b) Fórmula de haversine

La fórmula Haversine, supone una Tierra esférica con radio R y las ubicaciones de los dos puntos en coordenadas esféricas (longitud y latitud) son lat.1 ( $\varphi_1$ ), long.1 ( $\omega_1$ ) y lat.2 ( $\varphi_2$ ), long.2 ( $\omega_2$ ): La aplicación la fórmula de Haversine (Sinnott, 1984 ) entonces resulta de ecuación 4:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_2 - \varphi_1 \\ \Delta\omega &= \omega_2 - \omega_1 \\ R &= 6.378.137 \text{ metros} \\ a &= \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)^2 + \cos\varphi_1 * \cos\varphi_2 * \sin\left(\frac{\Delta\omega}{2}\right)^2 \\ c &= 2R * \arcsin(\min(1, \sqrt{a})) \\ d &= R * c\end{aligned}$$

Ecuación 4- - Fórmula Haversine

Esta fórmula fue publicada por R.W Sinnott en 1884, (si bien se conocía desde hace mucho tiempo) (Hijmans, 2016), y "dará resultados matemáticos y computacionalmente exactos. El resultado intermedio c es la gran distancia del círculo en radianes. La gran distancia de círculo d estará en las mismas unidades que R. La función min () protege contra posibles errores de coma flotante que pudieran llevar que el valor de a sea superior a 1. El valor del arcsin en los puntos antipodales tiende a 1 y si se usa precisión finita puede dar errores muy grandes. Aun así, en este caso inusual, el error podría ser de 2 km (1 milla), en la medición de una distancia cercana a los 20.000 km (0,0001%)". (Sinnott, 1984 )

La fórmula de Haversine era una ecuación importante en la navegación, dando distancias de gran círculo entre dos puntos de una esfera de sus longitudes y latitudes, antes que existieran las calculadoras de navegación digitales, ya que permitía el uso de tablas náuticas detalladas para el haversine, haversine/inverso y sus logaritmos (para ayudar en las multiplicaciones) ahorrando a los navegantes calcular los cuadrados de los senos, el cálculo de raíces cuadradas, etc., un proceso arduo y que podía agravar los pequeños errores. (Wikipedia, 2010)

Cualquier fórmula es sólo una aproximación cuando se aplica a la Tierra, que no es una esfera perfecta: el "radio de la Tierra" R varía de 6356.752 km en los polos a 6378.137 km en el ecuador. Más importante aún, el radio de curvatura de una línea norte-sur en la superficie terrestre es 1% mayor en los polos ( $\approx 6399.594$  km) que en el ecuador ( $\approx 6335.439$  km) - por lo que la fórmula de la haversina puede poseer un error del 0.5%. (Wikipedia, 2010)

Otros métodos más precisos que consideran la forma elipsoidal de la Tierra son dados por las fórmulas geodésicas; pero previamente se verá que es el Sistema Geodésico Mundial WGS84.

(3) Sistema geodésico mundial WGS84

El Sistema Geodésico Mundial WGS84 es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984). (Wikipedia , 2006)

Se trata de un estándar en geodesia, cartografía, y navegación, que data de 1984. Tuvo varias revisiones (la última en 2004), y se considera válido hasta una próxima reunión (aún no definida en la página web oficial de la Agencia de Inteligencia Geoespacial). Se estima un error de cálculo menor a 2 cm. por lo que es, en la que se basa el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). (Wikipedia , 2006)

Consiste en un patrón matemático de tres dimensiones que representa la tierra por medio de un elipsoide, un cuerpo geométrico más regular que la Tierra y que se denomina WGS 84. (Wikipedia , 2006)

Basado en este patrón matemático, disponemos -entre otras- de dos fórmulas de medición:

(4) Fórmula geodésica del Servicio de Hidrografía Naval - 1985

Para la medición de distancias geodésicas en sistema WGS, el Servicio de Hidrografía Naval proporcionó en el año 1985, la siguiente fórmula (ecuación 5):

$$C = a \left[ 1 + f \operatorname{sen}^2 \left( \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \right) \right] \sqrt{[\cos \varphi_2 \cdot \cos(\omega_2 - \omega_1) - \cos \varphi_1]^2 + [\cos \varphi_2 \cdot \operatorname{sen}(\omega_2 - \omega_1)]^2 + [(1 - 2f) \cdot (\operatorname{sen} \varphi_2 - \operatorname{sen} \varphi_1)]^2}$$
$$S = C + \frac{c^3}{9,77 \cdot 10^{14}}$$

$\varphi_1, \varphi_2$  = latitudes en sistema WGS  
 $\omega_1, \omega_2$  = longitudes en sistema WGS  
 $a$  = 6.378.137 metros  
 $f$  = 0,0033528107  
 $S$  = Distancia 1 – 2 en metros

Ecuación 5 - "Algoritmo para el cálculo de distancias geodésicas en sistema WGS SHN"

Asimismo, se aportaron a modo de ejemplo un par de cálculos resueltos que son utilizados para control y que se detallan en la tabla 2.

Ejemplos:

	Latitud S	Longitud W	Distancias (m)	Distancias (MN)
1	51° 17' 54,4"	58° 27' 42,4"	357528	193,050
2	53° 34' 29,4"	54° 44' 59,4"		
1	45° 00' 00,0"	65° 00' 00,0"	399984	215,974
2	43° 07' 08,6"	60° 44' 33,1"		

Tabla 2- Ejemplo fórmula WGS85 - SHN 1985

Según lo oportunamente informado por el SHN, "Este algoritmo tiene una exactitud de cálculo del orden de cinco (5) metros para distancias menores de 500 km. A este margen de este error se le debe agregar el de las vacilaciones propias de las determinaciones de posición satelital, las cuales dependen del sistema del equipo receptor y de la precisión con que esté determinada la velocidad y rumbo de la embarcación; la suma de estas influencias es, por lo general, superior a los 100 metros y frecuentemente a los 1000 metros". (SHN, 1985).

A continuación vemos en la ilustración 12 una imagen del desarrollo de la fórmula implementada en planilla de cálculo que fuera usada por los guardacostas para el cálculo de distancias entre dos puntos:

	Posición 1			Posición 2		
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos
Latitud	-51	-17	-54,4	-53	-34	-29,4
Longitud	-58	-27	-42,4	-54	-44	-59,4
	Posición 1			Posición 2		
	Grados decimales			Grados decimales		
Latitud	-51,29844444			-53,57483333		
Longitud	-58,46177778			-54,74983333		
Parte A	$a * (1 + f * (\text{sen}((\text{Lat1} + \text{Lat2})/2)))^2$					
Parte A	6.391.573,87557545000000000000					
Parte B	$(\text{cos}(\text{Lat2}) * \text{cos}(\text{Lon2} - \text{Lon1}) - \text{cos}(\text{Lat1}))^2$					
Parte B	0,00107171914339082000					
Parte C	$(\text{Cos}(\text{Lat2}) * \text{Sen}(\text{Lon2} - \text{Lon1}))^2$					
Parte C	0,00147771252174949000					
Parte D	$((1 - 2 * f) * (\text{Sen}(\text{Lat2}) - \text{Sen}(\text{Lat1})))^2$					
Parte D	0,00057875012378480700					
Parte E	ParteA * Raiz(ParteB + ParteC + ParteD)					
Parte E	357.481,691876730000000000					
Resultado	ParteE + ((ParteE ^ 3)/(9.77 * 10 ^ 14))					
Resultado (m)	357.528,451052838000000000					
Resultado (MN)	193,049919574966000000					

Ilustración 12 - Fórmula geodésica SHN 1985  
Gentileza Ing. Mauricio Gobbi

Si bien esta fórmula no merece objeciones respecto su precisión, la carencia de mayores referencias en cuanto a su desarrollo nos lleva a la búsqueda de una fórmula de medición de distancias geodésicas en sistema WGS de uso más difundido y reconocida a nivel internacional.

(5) VINCENTY, Soluciones de geodesia en el elipsoide (Vincenty, 1975)

Las fórmulas de Vincenty forman un algoritmo muy eficiente para el cálculo de la distancia entre dos puntos de la superficie de un elipsoide de revolución. Son utilizadas ampliamente en geodesia para calcular distancias sobre la superficie de la Tierra debido a que requiere un número de operaciones bajo a pesar de dar una precisión de 0.5mm (0.000015"), mucho mejor que el método tradicional de la fórmula de Haversine usada en trigonometría esférica. El algoritmo fue publicado por Thaddeus Vincenty en 1975 y la fórmula inversa (cálculo distancia entre dos puntos) se expresa en la ecuación 6.

```
α, b = semiejes mayor y menor del elipsoide
φ1, φ2 = latitud geodésica
L = diferencia en longitud
f = achatamiento del elipsoide (a-b)/a
U1 = atan((1-f).tanφ1) (U es 'latitud reducida')
U2 = atan((1-f).tanφ2)
λ = L, λ' = 2π
do while abs(λ-λ') > 10-12 (implica un error < 0.06mm)
{
  sin σ = √[ (cosU2.sinλ)² + (cosU1.sinU2 - sinU1.cosU2.cosλ)² ]
  cos σ = sinU1.sinU2 + cosU1.cosU2.cosλ
  σ = atan2 (sin σ, cos σ)
  sin α = cosU1.cosU2.sinλ / sin σ
  cos²α = 1 - sin²α (trig identity)
  cos2σm = cos σ - 2.sinU1.sinU2/cos²α
  C = f/16.cos²α.[4+f.(4-3.cos²α)]
  λ' = λ
  λ = L + (1-C).f. in a.{σ+C.sinσ.[cos2σm+C.cosσ.(-1+2.cos²2σm)]} (cos2σm=0 en el
ecuador)
}
u² = cos²α.(a²-b²)/b²
A = 1+u²/16384.{4096+u².[-768+u².(320-175.u²)]}
B = u²/1024.{256+u².[-128+u².(74-47.u²)]}
Δσ = B.sinσ.{cos2σm+B/4.[cosσ.(-1+2.cos²2σm)]}
B/6.cos2σm.(-3+4.sin²σ).(-3+4.cos²2σm)]}
s = b.A.(σ-Δσ)

α1 = atan2(cosU2.sinλ, cosU1.sinU2 - sinU1.cosU2.cosλ)
α2 = atan2(cosU1.sinλ, -sinU1.cosU2 + cosU1.sinU2.cosλ)

Dónde:
*s es la distancia (mismas unidades que a, b)
*a1 es el azimut inicial
*a2 es el azimut final (en dirección p1→p2)
y para el elipsoide WGS84, es:
a = 6 378 137 m (±2 m)
b = 6 356 752.3142 m
f = 1 / 298.257223563
```

Ecuación 6 - Fórmula de Vincenty (Movable Type Scripts, 2002)

Vincenty, usa un método iterativo, y señala que en cuatro iteraciones se alcanza el valor con la precisión indicada. En los puntos antipodales, la recursividad puede tender a infinito, por eso conviene acotar el número de iteraciones a un máximo prefijado.

Thaddeus Vincenty ideó fórmulas para el cálculo de las distancias geodésicas entre un par de puntos de latitud / longitud en la superficie de la tierra, utilizando un modelo elipsoidal exacto. Esta fórmula es simple de programar en lenguajes de programación modernos.

(6) Distancia entre dos puntos (solución inversa)

La solución inversa del cálculo de distancias de Vincenty, se adapta a nuestras necesidades, es decir, dadas las coordenadas de dos puntos en la Tierra, calcular su distancia:

La solución de Vincenty para la distancia entre puntos en un modelo de Tierra elipsoidal es exacta a una distancia de 0,5 mm, en el elipsoide que se está utilizando. La solución inversa de Vincenty puede fallar en puntos casi antipodales (opuestos en la Tierra) pero para el caso que nos ocupa eso no tiene relevancia.

Vincenty escribió esto en un momento en que los recursos de computación eran caros, e hizo que sus soluciones fueran muy eficientes desde el punto de vista computacional. Actualmente el cálculo de la distancia tarda entre 5 y 10 microsegundos con Chrome en una computadora Core i5 mediana. (Chamberlain, 1996)

Como se aprecia, el trabajo de Vincenty presenta un conjunto de fórmulas en lugar de un solo programa, y su justificación requiere de conocimientos de geodesia que exceden los alcances de este trabajo. Actualmente existen muchos paquetes de software estándares que implementan esta fórmula para resolver cálculos de distancias.

b) Sistemas de Navegación y de Comunicaciones

(1) Sistema de posicionamiento global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global, más conocido por sus siglas en inglés, GPS (Global Positioning System), es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Wikipedia , 2017).

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta Tierra, a 20.200 km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda

la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante el método de trilateración inversa, el cual se basa en determinar la distancia de cada satélite al punto de medición (Wikipedia , 2017).

Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o las coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que lleva a bordo cada uno de los satélites (Wikipedia , 2017).

La antigua Unión Soviética construyó un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa. Actualmente la Unión Europea está desarrollando el sistema de posicionamiento por satélite, denominado Galileo. A su vez, la República Popular China está implementando su propio sistema de navegación, el denominado Beidou, que está previsto que cuente con 12 y 14 satélites, y que esté plenamente operativo para 2020 con 30 satélites. En abril de 2011 tenían ocho satélites en órbita (Wikipedia , 2017).

La Resolución A.819(19) de la Organización Marítima Internacional "Normas de Funcionamiento del Equipo Receptor de a bordo del sistema mundial de determinación de la posición (GPS)" establece que el equipo tendrá una precisión dinámica y estática "tal que la situación del buque se determine con un error inferior a 100 m" (OMI, 1995).

A los efectos de los cálculos de distancia en este trabajo, tomaremos entonces el valor de 100 m como el error de atribuible a este sistema.

## (2) Sistema de Identificación Automática de buques (AIS)

El sistema de identificación automática (AIS) está diseñado para proporcionar información sobre el buque a otros buques y a las autoridades costeras de forma automática. En la ilustración 13 podemos observar la descripción general del sistema AIS.

La regla 19 del capítulo V del SOLAS (SOLAS-OMI, 1974)- Requisitos de transporte para los sistemas y equipos de navegación a bordo - establece el equipo de navegación que se transportará a bordo de los buques, según el tipo de buque. En 2000, la OMI adoptó un nuevo requisito (como parte de un nuevo capítulo V revisado) para todos los buques de llevar sistemas de identificación automática (SIA) capaces de proporcionar información sobre el buque a otros buques y a las autoridades costeras de forma automática.

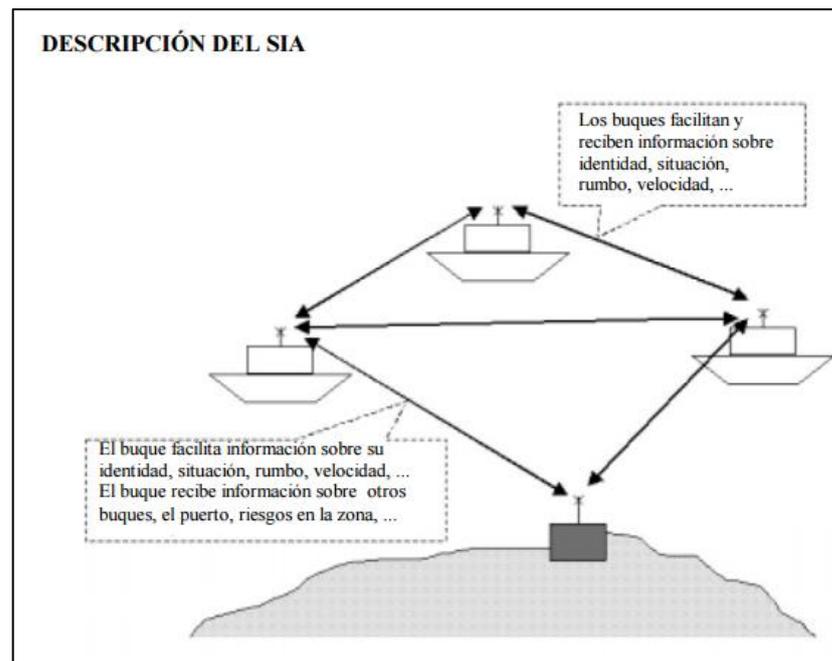


Ilustración 13 - Descripción general del AIS  
Ilustración extraída de la Resolución OMI A.917(22)

El reglamento requiere que el AIS sea instalado a bordo de todos los buques de arqueo bruto igual o superior a 300, dedicados a viajes internacionales, buques de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 que no participen en viajes internacionales y todos los buques de pasajeros, independientemente de su tamaño. El requisito entró en vigor para todos los buques antes del 31 de diciembre de 2004. En Argentina, esta obligación se extendió a los buques pesqueros de eslora mayor a 150 m, remolcadores y buques dedicados al practica; aunque su uso está muy extendido en el resto de los buques no obligados.

Tipo de buque	Intervalo general de notificación
Buque fondeado	3 minutos
Buque a 0 - 14 nudos	12 segundos
Buque a 0 - 14 nudos y cambiando el rumbo	4 segundos
Buque a 14 - 23 nudos	6 segundos
Buque a 14 - 23 nudos y cambiando el rumbo	2 segundos
Buque a más de 23 nudos	3 segundos
Buque a más de 23 nudos y cambiando el rumbo	2 segundos

Tabla 3- Régimen de actualización de la información dinámica  
Tabla extraída de la Resolución OMI A.917(22)

Los buques equipados con AIS mantendrán en funcionamiento el AIS en todo momento, excepto cuando los acuerdos, reglas o normas internacionales prevean la protección de la información de navegación.

El transpondedor AIS (ilustración 14) proporciona información, incluida la identidad del buque, el tipo, la posición, el rumbo, la velocidad, el estado de la navegación y otra información relacionada con la seguridad a otros buques; a las estaciones costeras y aeronaves debidamente equipadas. El objetivo primario del AIS es intercambiar automáticamente información con otros buques con el fin de evitar abordajes; y en segunda instancia permitir la identificación de los buques en los centros de ordenamiento de tráfico y estaciones costeras a todos los fines.



Ilustración 14 - Transpondedor AIS  
Imagen: [www.imo.org](http://www.imo.org)

La información AIS complementa al radar marino, que sigue siendo el principal método de evitar colisiones en el transporte de agua. La conjunción radar-AIS incrementa notablemente las capacidades de información en el puente de un buque. Los buques que poseen transceptor AIS, podrán ser detectados (no identificados) por el radar; mientras que el AIS permite identificar los buques –solo detectables por radar- y además localizar buques fuera del alcance del radar, particularmente detrás de islas o en los recodos de los ríos.

Los datos AIS son emitidos por dos frecuencias de banda marina de VHF: 161,975 MHz (canal 87 B) y 162,025 MHz (Canal 88 B) y tienen un alcance de aproximadamente 30 M. Los datos se envían automáticamente con distintos regímenes de actualización, a saber:

- información dinámica (posición, rumbo, velocidad, etc.) dependiendo de los cambios de velocidad y rumbo (véase tabla 3),
- datos estáticos y datos relacionados con la travesía (MMSI, nombre, destino, etc.): cada seis minutos o cuando se soliciten (automáticamente)

(3) Radar de puntero automático o radar ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) (Ed.Guardacostas, 2016)

El radar ARPA o radar de punteo automático es un equipo en el que aparecen en la pantalla los movimientos verdaderos de todos los ecos

detectados, incluido el barco propio además de activar alarmas que nos avisan de un posible riesgo de colisión. El sistema puede calcular el rumbo que lleva el blanco, la velocidad y el punto más próximo de abordaje (CPA), con lo que es posible saber si existe peligro de colisión con otro buque o de tierra.

La adquisición de los ecos en pantalla se puede hacer en forma manual o automática. En la adquisición manual es el operador el que decide los ecos que le interesan para ello se lleva el círculo marcador por medio del cursor y se pulsa la tecla de adquisición del blanco y aparece en pantalla un vector que representa el movimiento del barco y en un recuadro la información de rumbo, velocidad, demora y distancia al nuestro, tiempo y mínima distancia que va a pasar del barco propio. La adquisición automática de ecos, se fija una zona (zona de guardia) para que nos indique todos los datos de los ecos detectados y suena una alarma cada vez que se detecta un eco en ella.

La adquisición manual se efectúa si un eco es presentado positivamente más de una vez. La automática, cuando el blanco es detectado de 5 a 7 veces seguidas. El seguimiento se consigue cuando el blanco es detectado 5 veces (no necesariamente seguidas) en 10 exploraciones; si no es así, se considera "blanco perdido". El ARPA adquiere un eco que está presente una vez en cada seis exploraciones de la antena y continúa el seguimiento si 1 en 10. (Kasakovich, 2009)

Normalmente está acoplado al girocompás o al compás electrónico, corredera y sistema AIS.

Hay unos ítems a tener en cuenta en todo RADAR ARPA:

- CPA/TCPA: CPA es la menor distancia a la que se acercará el blanco al barco propio. TCPA es el tiempo al CPA. Ambos, CPA y TCPA, se calculan automáticamente. Si el CPA calculado indica que el blanco se aleja del barco, el TCPA se indica con signo -. El TCPA se cuenta hasta 99,9 minutos; si es mayor se indica como  $TCPA > 99.9 \text{ MIN}$ .

-Un blanco con dimensión de 800 m o más, en uno u otro sentido, es considerado como una masa de tierra y por tanto no es adquirido ni seguido. Blancos menores de 800 m son adquiridos y seguidos.

Para la medición de distancias, se dispone en la pantalla de marcas impresas electrónicamente a intervalos regulares sobre el haz de barrido las que, con la rotación de la antena, reproducen círculos concéntricos igualmente espaciados, cuya separación depende de la escala empleada (los equipos comunes trabajan generalmente en cinco escalas diferentes). La distancia al objeto, normalmente se determina por apreciación visual aunque existen unidades medidoras que proyectan una marca móvil.

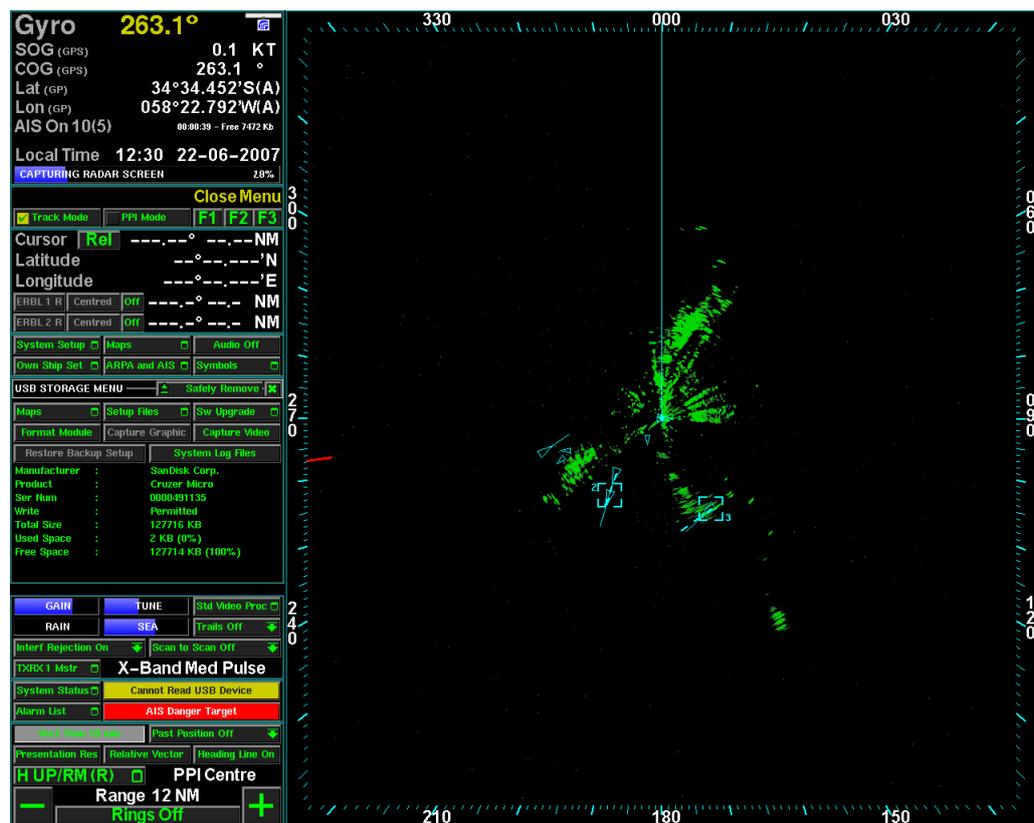


Ilustración 15 - Imagen de la pantalla de un radar ARPA

En la ilustración 15, se observa la imagen de la pantalla de un radar ARPA, pudiéndose destacar recuadrados en color azul los blancos que están siendo automáticamente seguidos.

Para facilitar la determinación del azimut, la pantalla dispone en su borde exterior, de un círculo graduado; hay equipos que por medio de una adecuada conexión al girocompás, mantienen la imagen orientada con relación al norte verdadero.

Para lograr un buen rendimiento del radar, se debe tener pleno conocimiento de su capacidad y de sus limitaciones; su precisión varía en consonancia con el tipo de equipo y destreza del operador.

El horizonte radar es, aproximadamente, 1/3 mayor que el visual; el alcance varía con la altura de la antena y la del objetivo y puede ser reducida por la presencia de lluvia, granizo, nieve y estado del tiempo.

La distancia al horizonte del radar en millas, para altura de antena sobre el nivel del mar, dada en metros (hm) se detalla en la ecuación 7:

$$D = 2,4178 * \sqrt{hm}$$

Ecuación 7 - Distancia al horizonte

Esta distancia es aproximadamente un 15% mayor que la del horizonte aparente para la altura del ojo del observador. Bajo condiciones anormales de refracción esta distancia se llega a extender apreciablemente.

El punteo automático que permite este radar, se hace por intermedio del sistema integrado radar-computadora y que el que combina datos obtenidos por el propio sistema, por las entrada de los brindados por equipos periféricos y por la decisión del propio observador, resolviendo él los problemas cinemáticos, que luego evaluará el observador.

(4) Girocompás (Ed.Guardacostas, 2016)

Un girocompás es un instrumento que cumple funciones similares al compás magnético o la simple brújula, es decir apunta siempre al Norte geográfico. En este caso lo hace usando un juego de discos o anillos que giran muy rápido (movidos electrónicamente) y las fuerzas de fricción para aprovechar la rotación de la Tierra. Los girocompases se usan ampliamente en los barcos. Tienen dos ventajas principales sobre las brújulas magnéticas:

- Señalan al norte geográfico, es decir, la dirección del eje de rotación de la Tierra, y no al norte magnético.
- No se ven afectados por el metal del casco de los barcos.

Estas ventajas permiten la aplicación del girocompás en minería, donde instrumentos como el GPS o la brújula no serían útiles debido a la dificultad en la recepción en GPS o a la poca fiabilidad de la brújula debido a la presencia de vetas metálicas.

Un girocompás es esencialmente un giróscopo, cuyo eje apunta hacia el norte. Esto se debe a que el norte geográfico es la única dirección para la que el giróscopo puede permanecer sobre la superficie de la Tierra sin ser forzado a cambiar. Se considera que éste es un punto de energía potencial mínima.

(5) Sistema de comunicaciones satelitales Inmarsat Fleet (Louzán Lago & Iglesias Baniela, 2015)

Inmarsat Fleet es un estándar de comunicaciones diseñado para satisfacer las necesidades de comunicaciones de datos del mundo marítimo, que permite el servicio global de Internet, telefonía, mensajes de texto SMS y red ISDN para buques de alta mar que utilizan antenas terminales abovedadas portátiles. Estas antenas terminales varían en tamaño desde 291 × 275 mm (La FB150) hasta el sistema más grande de 605mm x 630mm (FB500), que es capaz de velocidades de 432 kbps. Estas antenas, y los controladores interiores correspondientes, se utilizan para conectar teléfonos y computadoras portátiles, en cualquier océano, con el resto del mundo.

Con el sistema FleetBroadBand (FBB), Inmarsat extendió el servicio de banda ancha BGAN (Broadband Global Area Network) para las comunicaciones marítimas. Es un sistema que opera en la banda L y funciona con los satélites de cuarta generación Inmarsat-4. El segmento espacial de la red Inmarsat-4 fue formalmente situada en 2009 con cobertura de banda ancha prácticamente en todo el planeta, excepto para los polos. El servicio de FBB está disponible globalmente entre los paralelos 74 N y 74S.

Los sistemas FBB instalados en los buques pueden viajar de océano a océano sin interacción humana. Si hay una línea de visión a uno de los tres satélites I-4, entonces se puede lograr conectividad. Dado que la red utiliza la banda L, el desvanecimiento de la lluvia es mucho menos problemático que la banda VSAT Ku o los sistemas de banda C más grandes.

El servicio de FBB fue modelado después de los servicios de Internet terrenales donde el tráfico basado en IP dominó sobre ISDN y otros protocolos de comunicación anteriores.

Hay tres tipos de equipos terminales disponibles. FB150 de antena pequeña (291 × 275 mm) capaz de transmitir hasta 150 kbps, el FB250 de antena mediana (329 × 276 mm) capaz de transmitir hasta 284 kbps, y el FB500 más grande y más rápida con antena grande (605 × 630 mm) capaz de hasta 432 kbps.

FBB soporta dos tipos de conexiones IP con la finalidad de cubrir distintos servicios: IP estándar e IP streaming. En IP estándar las velocidades son las indicadas según el modelo de antena. Para emplear un canal IP streaming se requiere de una tasa de datos garantizada para aquellas aplicaciones que requieren calidad de servicio (QoS). Se trata de un servicio que garantiza ancho de banda y se paga por tiempo de conexión. Los canales IP streaming están optimizados para aplicaciones que utilizan el protocolo UDP como video en vivo o audio mediante Windows Media o QuickTime. Dependiendo del tipo de terminal tiene tasas de hasta 256 kbps y mediante eficientes CODEC compresores de video se obtienen interesantes resultados con calidad aceptable.

La evolución en la banda ancha marítima viene de la mano de INMARSAT GlobalExpress un sistema satelital que utiliza terminales híbridas de banda Ka, complementadas con la banda L, y se alcanzan tasas de hasta 50 mbps.

(6) El protocolo NMEA 0183 (NMEA , 2012)

La National Marine Electronics Association (NMEA) es una organización de comercio electrónico estadounidense que establece estándares de comunicación entre electrónica marina.

NMEA 0183 es un estándar de la organización, que es una combinación de especificaciones eléctricas y de datos para la comunicación entre la

electrónica marina tales como ecosonda, sonares, anemómetro, girocompás, piloto automático, receptores GPS y muchos otros tipos de instrumentos. Ha sido definido y está controlado por la NMEA. Sustituye a los estándares anteriores NMEA 0180 y NMEA 0182. En aplicaciones marinas, se está eliminando paulatinamente a favor del nuevo estándar NMEA 2000.

El estándar eléctrico que se utiliza es EIA-422, aunque la mayoría del hardware con salidas NMEA-0183 son también capaces de conducir un solo puerto EIA-232. Aunque las llamadas estándar para entradas y salidas aisladas, hay varias series de hardware que no se adhieren a este requisito.

El estándar de interfaz NMEA 0183 define requisitos de señal eléctrica, protocolo de transmisión de datos y tiempo, y formatos de oración específicos para un bus de datos en serie de 4800 baudios. Cada bus puede tener solamente un "locutor" pero muchos "oyentes". Mediante el uso de multiplexores intermedios, un locutor puede tener una conversación unidireccional con un número casi ilimitado de oyentes, y mediante multiplexores, varios sensores pueden hablar con un solo puerto de computadora.

Estos datos están en formato ASCII imprimible y pueden incluir información como posición, velocidad, profundidad, asignación de frecuencia, etc. En la capa de aplicación, el estándar también define el contenido de cada tipo de oración (mensaje), de modo que todos los oyentes puedan analizar los mensajes con precisión. En las ilustraciones 16, 17, 18 y 19 se muestran distintos mensajes NMEA

**Girocompás:**

\*HDT: indica el heading (rumbo) del buque. Este puede ser verdadero (T) o relativo (R).

\$GPHDT,x.x,T\*hh

*Ilustración 16 - Ejemplo NMEA de girocompás*

**GPS:**

\*GGA: contiene posición, fecha, información de satélites

\$GPGGA,1,23519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,\*47

\*GSA: contiene información detallada de satélites

\$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1\*39

\*GSV: detalla los satélites conectados

\$GPGSV,2,1,08,01,40,083,46,02,17,308,41,12,07,344,39,14,22,228,45\*75

\*RMC: contiene los datos mínimos para la navegación.

\$GPRMC,1,23519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W\*6ª

\*GLL: contiene solo la posición

\$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A,\*1D

\*VTG: velocidad y curso

\$GPVTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K\*48

*Ilustración 17 - Ejemplos de mensajes NMEA de GPS*

**AIS:**

\$AIVDM (otros buques), \$AIVDO (buque propio), \$AIALR (alarmas).

Ejemplo: \$AIVDM,1,1,,B,177KQJ5000G?+O`K>RA1wUbN0TKH,0\*5C

*Ilustración 18 - Ejemplo de NMEA de AIS*

**Radar:**

\*OSD: información propia del radar

\$RAOSD,264.90,A,264.86,P,0.0,P,,,N\*41

\*TTM: target con marcación y distancia

\$RATTM,01,0.438,018.9,T,0.99,103.5,T,0.438,0.0,N,T GT 01,T,,180600.47,M\*57

\*TLL: target con latitud y longitud

\$RATLL,03,5359.920,N,01423.130,E,,121543.00,T,\*2E

*Ilustración 19 - Ejemplo de NMEA de radar ARPA*

(7) El protocolo NMEA 2000 (NMEA, 2012)

La norma NMEA 2000 contiene los requisitos para la implementación mínima de una red de comunicaciones de datos en serie para interconectar equipos electrónicos marinos a bordo de los buques.

Los equipos diseñados para este estándar tendrán la capacidad de compartir datos, incluyendo comandos y estado, con otros equipos compatibles a través de un solo canal.

Los mensajes de datos se transmiten como una serie de paquetes de datos, cada uno con una comprobación de errores sólida y confirmación de entrega del paquete. Los paquetes de datos contienen, además de control y chequeo de error de bits, un campo de datos de 8 bytes y un campo de identificación de 29 bits que establece la prioridad del mensaje e identifica el mensaje de datos, la fuente y el destino.

Como el actual contenido de datos de una trama de datos es en el mejor de los casos 50% de los bits transmitidos, esta norma está principalmente destinada a soportar mensajes de datos relativamente breves que pueden ser periódicos, transmitidos según sea necesario, o bajo demanda mediante el uso de comandos de consulta.

Los datos típicos incluyen parámetros discretos tales como latitud y longitud de posición, valores de estado de GPS, comandos a los pilotos automáticos, listas de parámetros finitos, como "way-points", y de tamaño moderado bloques de datos tales como actualizaciones electrónicas de la base de datos de gráficos.

Esta norma no está necesariamente destinada a soportar aplicaciones de gran ancho de banda como radar, gráficos electrónicos u otros datos de vídeo u otras aplicaciones intensivas de base de datos o transferencia de archivos.

c) Sistemas de Posicionamiento de buques

(1) Sistema MBPC

El sistema Movimientos de Buques, Pasajeros y Cargas (MBPC) es un sistema que opera en la red Intranet de Prefectura y que permite registrar toda la información sobre movimientos de buques, pasajeros y cargas, basándose en la información radiotelefónica que se cursa con las Estaciones Costeras PNA, conforme las exigencias del Reglamento del Servicio Móvil Marítimo.



Ilustración 20- Sistema MBPC

Este sistema permite a las Estaciones Costeras conocer información de urgencia, seguridad y de movimiento de buques, como así también registrar el tráfico de pasajeros y cargas, lo que se constituye en datos útiles para la confección de estadísticas portuarias y de movimientos. (ilustración 20)

## (2) Sistema Nacional AIS

El Sistema Nacional AIS de la República Argentina, está compuesto por más de 45 estaciones del sistema AIS costero que se encuentran distribuidas en la Hidrovía Paraná- Paraguay y en los principales puertos patagónicos, inclusive una en la Base Carlini del Instituto Antártico Argentino.

Una red de comunicaciones mediante conexiones MPLS y VSAT, permite integrar todas las estaciones con el servidor central ubicado en el edificio Guardacostas (sede de Prefectura en Buenos Aires) y del que se abastecen los datos que son brindados a la comunidad náutica bajo registro a través de la página web del organismo.

También, Prefectura cuenta con el servicio de AIS Satelital, proporcionado por dos empresas (ORBCOMM y ExactEarth) cuyas constelaciones de satélites poseen la capacidad de seguimiento de buques a escala mundial.

El sistema AIS satelital, se basa en que las emisiones de VHF pueden ser captadas por los receptores AIS instalados en satélites de órbita baja, en cada pasaje sobre el objeto. El período de resolución temporal o intervalo de revisita de los satélites de las constelaciones de ORBCOMM y ExactEarth es de aproximadamente cada 104 minutos; transitan sobre el horizonte por un período de entre 7 y 10 minutos en cada pasada, prestan un servicio del tipo "best effort" y proporcionan relevante información para conocimiento del dominio marítimo.



Para ello, los buques que poseen más de 300 toneladas de arqueo, deben poseer a bordo de un equipo que transmita a intervalos de cada seis horas: identificación del buque, posición y fecha/hora de la emisión; la cual debe ser enviada automáticamente y sin intervención humana a un satélite, el cual la reenvía al Centro Nacional de datos (NDC) de la bandera del buque.

Los Centros Nacionales de datos a su vez, comparten esta información con los restantes miembros de la organización, a través de un Centro Internacional de Intercambio de datos que tiene sede en Londres, y del cual se pueden obtener la información de los buques de otros países al precio de intercambio estipulados por las partes (U\$S 0,25 x registro). La Organización Internacional de Satélites Marítimos (IMSO) es un organismo dependiente de la OMI, y tiene entre sus funciones velar por el funcionamiento de este sistema de intercambio de información.

#### (4) Sistema Satelital de Control Pesquero (SSCP)

El sistema satelital de control pesquero tiene por objeto monitorear la actividad de la flota pesquera nacional y extranjera que opera con licencia de pesca argentina. El sistema implementado por la ex Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, estableció que todos los buques pesqueros bajo jurisdicción argentina, deben poseer un sistema automático de monitoreo de posición satelital que informe su situación cada hora. Esta información es proporcionada entre otras agencias del Estado a la Prefectura y para llevar un adecuado control se desarrolló un sistema de información que efectúe una comprobación automática de varios parámetros que requieren fiscalización (salida de puerto, entrada o salida de zonas de pesca o zonas de veda, certificados de pesca, etc.). En caso de existir alguna irregularidad se activan alarmas para que el área correspondiente tome intervención y actúe en consecuencia.

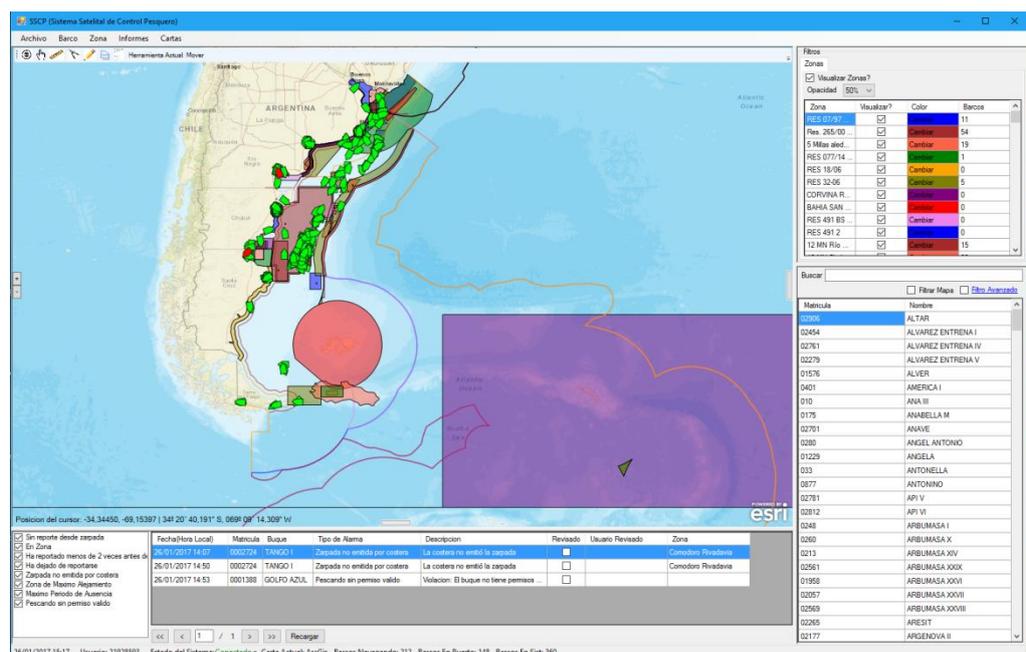


Ilustración 23 - Sistema Satelital Control Pesquero

(5) Sistema satelital de monitoreo de Guardacostas PNA.

Este sistema satelital, permite efectuar un seguimiento de los Guardacostas en cualquier momento y lugar que se encuentren utilizando para ello las capacidades de los sistemas Inmarsat o Iridium, que proveen información de posición de flota. El sistema emite automáticamente cada cierto período esta información, o bien a demanda de la estación terrena cuando se requiera. Todas las unidades guardacostas que efectúan navegación marítima, entre otros sistemas de posicionamiento, cuentan con este servicio.

The screenshot shows the I-SAT interface with a header bar containing the text 'I-SAT' and a 'Salir' button. Below the header is a table titled 'Embarcaciones' with the following columns: Nombre, Matrícula, MMSI, MDN, and Armador. The table lists 16 vessels, all of which are operated by the Prefectura Naval Argentina. Below the table, there is a globe icon with the text 'Ver última posición en Mapa' and a 'Pantalla Anterior' button.

Embarcaciones				
Nombre	Matrícula	MMSI	MDN	Armador
GC-187 PREFECTO MANSILLA	0000000	701006105	300025010248170	Prefectura Naval Argentina
GC-189 PREFECTO GARCIA	0000000	701006105	881623492155	Prefectura Naval Argentina
GC-24 MANTILLA	0000000	701523000	00422-052	Prefectura Naval Argentina
GC-25 AZOPARDO	0000000	701522000	00422-055	Prefectura Naval Argentina
GC-26 THOMPSON	0000000	701537000	00422-053	Prefectura Naval Argentina
GC-27 PREFECTO FIQUE	0000000	701536000	00422-051	Prefectura Naval Argentina
GC-28 PREFECTO DERBES	0000000	701535000	00422-054	Prefectura Naval Argentina
GC-65 MARTIN GARCIA	0000000	701515000	300025010246200	Prefectura Naval Argentina
GC-68 RIO PARAGUAY	0000000	701512000	300025010247710	Prefectura Naval Argentina
GC-69 RIO PARANA	0000000	701511000	300025010245180	Prefectura Naval Argentina
GC-70 RIO DE LA PLATA	0000000	701509000	300025010246210	Prefectura Naval Argentina
GC-73 CABO CORRIENTES	0000000	701507000	881623430183	Prefectura Naval Argentina
GC-79 RIO DESEADO	0000000	701502000	881623430184	Prefectura Naval Argentina
MVO BERNARDO HOUSSAY	0000000	701006249	00422-056	Prefectura Naval Argentina
SB-15 TANGO	0000000	701006248	00422-048	Prefectura Naval Argentina

Ilustración 24 - Interfaz del Sistema Satelital Monitoreo Guardacostas

(6) Sistema de Control Unificado de Buques (Guardacostas)

La dinámica y complejidad de las actividades de navegación, en aguas jurisdiccionales o ríos navegables del país, requiere una actualización permanente de los movimientos de barcos que operan en el espacio marítimo nacional o bajo su área de control o influencia. Dada la gran cantidad de datos que se reciben a través de los distintos sistemas enumerados, se hace necesario contar con una plataforma que posibilite la fusión de todos esos datos y manejar toda la información independientemente del sistema que la está generando.

Para ello, sobre una plataforma estándar de un sistema de información geográfica, se implementó el control unificado de buques que permite manejar toda la información proporcionada por los sistemas de seguimiento y además complementarla con toda otros datos disponibles, ya sea en la propia organización o de otras fuentes externas a través de servicios GIS.



Ilustración 25 - Interfaz sistema Guardacostas

Dado que la mayoría de los sistemas cuentan con distintas claves de identificación de buques (número de matrícula, señal distintiva, número OMI, MMSI, etc.) se hace necesario en principio registrar cada barco que se suma al sistema con un identificador único por barco, lo cual representa un verdadero desafío debido al constante proceso de actualización que se producen en las base de datos a nivel mundial, debido a cambios de nombre de los buques, bandera, propietarios, etc.

Una vez que se le agrega el identificador de buque único a cada registro de información que procede de cada sistema, cabe su representación en la pantalla del sistema de información; el cual tiene todas las funcionalidades necesarias para que las estaciones costeras puedan operar con una única plataforma integrada.

#### d) Errores en la medición

Sabemos que en los procesos de medición existen desvíos propios de los instrumentos utilizados en la medición, el método de medición empleado y los propios del operador que realiza la medición. La diferencia entre el valor real y la cantidad medida se denomina incerteza o error de la medición; que es inevitable y propia del acto de medir, en consecuencia no hay mediciones reales con error nulo. (Jasen & González).

La exactitud de la medición da una idea del grado de aproximación con que el valor medido concuerda con el valor verdadero. (F. Cernuschi, 1968)

La precisión es el detalle con que un instrumento o un método pueden medir una variable. Los errores debidos al operador son los que se atribuyen a un defecto en las percepciones sensoriales del observador (como por ejemplo mala visión). (F. Cernuschi, 1968).

El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) define la precisión como la proximidad entre las indicaciones o valores medidos de un mismo mensurando, obtenidos en mediciones repetidas bajo las mismas condiciones. La precisión de una medida suele expresarse numéricamente mediante medidas de dispersión o variabilidad como la varianza y el desvío estándar. Cuanto más acotada es la distribución de los resultados, menor será la desviación estándar y mayor será la precisión. La precisión depende pues únicamente de la distribución de los resultados y no está relacionada con el valor convencionalmente "verdadero" de la medición. (Prieto, 2012)

La exactitud está definida como la proximidad entre el valor medido y el valor "verdadero" del objeto medido. Una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida. Considerando mediciones individuales, la más próxima al valor verdadero será la más exacta. Sin embargo, tras una serie de mediciones repetidas, será la distancia desde el valor medio de la distribución de valores observados, habitualmente el resultado, hasta el valor "verdadero"; es decir el sesgo (valor estimado del error sistemático), la que caracterizará la exactitud de la medición. La dispersión de la distribución de los valores, estimada por su desviación típica, caracterizará la precisión. (Prieto, 2012).

Observando la ilustración 26, se aprecia que:

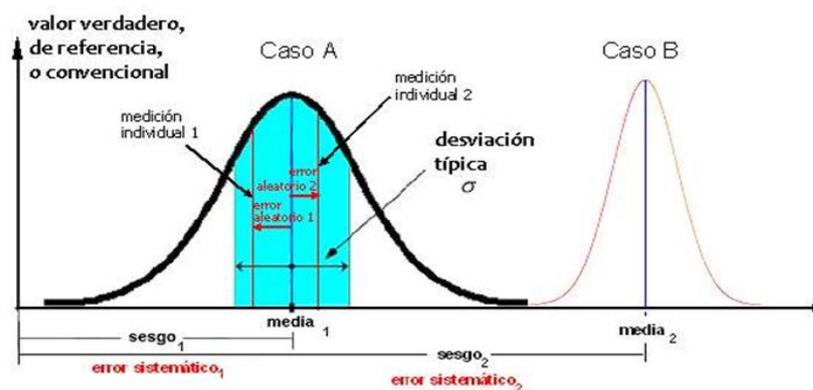


Ilustración 26 \_ Exactitud y precisión  
(Figura extraída de la revista española metrología e-medida N° 1)

La medición individual 1 es más exacta que la medición individual 2, ya que el valor obtenido está más próximo al valor "verdadero". (Prieto, 2012)

Cuando se realizan series de mediciones repetidas, solo el valor medio obtenido juega un papel de cara a la exactitud, independientemente de la precisión. Así, el valor medio obtenido en el Caso A es más exacto que el obtenido en el Caso B, por poseer menor sesgo respecto al valor verdadero. (Prieto, 2012)

Acudiendo a la analogía de disparos en la diana, como típicamente se representa considerando el valor verdadero el centro de la diana; en la ilustración 27 se puede efectuar el siguiente análisis:

Caso 1: gran dispersión en los disparos con distribución uniforme: poco preciso - falta de exactitud (alejado del centro)

Caso 2: disparos agrupados, pero distribuidos alejados del centro de la diana: buena precisión - falta de exactitud.

Caso 3: algunos disparos en el centro, pero con bastante dispersión (falta de precisión): buena exactitud, pero impreciso

Caso 4: todos los disparos muy agrupados en torno al centro: precisión y buena exactitud. (Prieto, 2012)

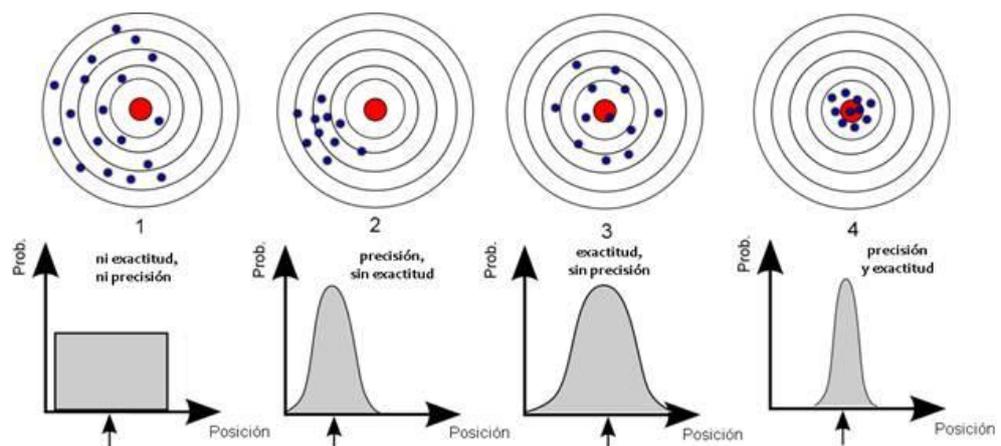


Ilustración 27 - funciones de densidad de probabilidad.  
(Figura extraída de la revista española metrología e-medida N° 1)

### III. Hipótesis de trabajo

#### A. Definir exactamente el problema

La determinación de la situación de un buque respecto de la ZEE exclusiva de la República Argentina, ha representado para los guardacostas una tarea exigente y reiterativa cada vez que emprenden el patrullaje.

Realizar estas maniobras en forma manual, exige de la tripulación una constante vigilia y la permanente disposición de al menos dos operadores para ir realizando en cada caso, una serie de operaciones rutinarias y repetitivas, en las que fácilmente se puede incurrir en errores propios del proceso de medición, como es la lectura o carga incorrecta de datos en los formularios o dispositivos dispuestos para efectuar los cálculos.

Si a estas circunstancias habituales, se suma el grado de tensión que sufre la tripulación en situaciones operativas extremas como las que se producen en circunstancias de una persecución, donde además de la atención en el presunto infractor, no se debe perder de vista el comportamiento de otros buques que se encuentran en los alrededores y que pueden interferir en las operaciones; se tendrá una acabada idea de la complejidad que esta tarea demanda.



Ilustración 28 - Esquema operativo convencional

Los elementos con que cuenta el guardacostas para poder determinar en estas condiciones si un objeto se sitúa ubicado dentro de la ZEE, son:

- Los instrumentos electrónicos de navegación.
- Los puntos de referencia en la costa.
- Una fórmula de cálculo de distancias.

La determinación de la situación, entonces comprenderá los siguientes pasos:

a) Determinación de la posición del buque objetivo.

La posición del buque objetivo, serán las coordenadas de la posición del buque que se quiere conocer y que se toma como el punto de origen en el cálculo de distancia para poder determinar su ubicación respecto de la ZEE.

Se pueden dar dos situaciones:

- 1) que el buque emita información a través del sistema AIS.
- 2) que el buque carezca de sistema AIS o éste se encuentre apagado.

Si el buque realiza emisiones a través de su sistema AIS, se contará con las coordenadas de su posición y de toda la información dinámica y estática de rigor<sup>1</sup>.

En el segundo caso, el guardacostas deberá calcular la posición. Para ello, cuando el objetivo se encuentra dentro del alcance del radar, se procede a realizar un "marcación" con el radar, lo que permite conocer la distancia y el ángulo ("demora") (ilustración 28). Con la ayuda de una calculadora de navegación o computadora, se efectúan los cálculos de la posición del otro buque, usando la fórmula loxodrómica.

Se debe tener presente que esta posición así lograda puede contener los siguientes errores:

- El error de precisión del GPS, que se definió en 100 metros.
- El error en la marcación radar, que conforme lo establecido en el Anexo 3 de la Resolución OMI N° 823, puede alcanzar valores de hasta 30 metros en la distancia y 0,5° en la demora.
- El error en el cálculo (considerando la Tierra plana) para las latitudes de entre 30 y 50 grados (campo operacional de los guardacostas), que como se indicó se puede estimar de entre 9 y 20 metros.

Es decir, que si se suman linealmente estos tres errores, en el peor de los casos, la posición inicial para el cálculo tendría un error máximo de 150 m.

b) Determinación del punto de referencia en la línea de base.

Una vez establecida la posición del buque bajo inspección, el siguiente paso es identificar el punto base más próximo, cuyas coordenadas se tomará como el punto de destino para el cálculo de distancia.

Como se vio, la República Argentina fijó en Ley de los Espacios Marítimos, los puntos base con una precisión de un décimo de minuto, lo que equivale a una incertidumbre de 185,2 metros. Posteriormente en la práctica se identificaron puntos base que se definieron con una precisión de un décimo

---

<sup>1</sup> Frecuentemente los buques infractores alteran los datos estáticos de identificación como MMSI, nombre y bandera, pero difícilmente los dinámicos generados automáticamente por los dispositivos

de segundo (3,1 m); pero al no estar taxativamente publicados, en cada caso se necesitará una demostración para validar su utilización, lo cual puede requerir de una precisa y detallada justificación.

c) Determinar un procedimiento de medición.

Dado que las distancias entre los puntos se ubican en torno a las 200 M (370 km), se utiliza la fórmula proporcionada por el Servicio de Hidrografía Naval en 1985.

Como se indicó, el SHN refiere que este algoritmo tiene una exactitud de cálculo del orden de cinco (5) metros para distancias menores de 500 km. Respecto del error producto de la determinación de la posición satelital a que también hace referencia, en este caso no será computado debido a que fue considerado en el punto de origen.

La suma de los errores de a, b y c (sin considerar errores del operador), están dando una incertidumbre en la medición de aproximadamente 340 metros. Cabe señalar que estos valores son referencias generales para el análisis de los factores que influyen en el procedimiento y no pretenden ser una fuente de controversias, ya que en cada caso en particular los instrumentos y las circunstancias particulares de la medición determinarán los valores reales o específicos.

Existen también otros factores que contribuyen negativamente en la operatividad del guardacostas y que se enumeran a continuación:

- 1. El proceso de medición debe ser efectuado de a un buque por vez**  
Resultaría imposible para la tripulación realizar la toma de datos y ejecución de cálculos para más de un buque.
- 2. El proceso de toma de datos y ejecución de la operación de cálculo se repite aproximadamente cada 3 minutos.**  
Esto obliga a que inmediatamente de terminada una operación de cálculo, se deba volver a iniciar un nuevo proceso, ya que se recomienda poseer cálculos al menos cada 5 minutos durante una persecución.
- 3. Existe alta probabilidad de tener lecturas o registro de datos erróneos.**  
El stress, la premura y las condiciones de luz en el puente, pueden ocasionar típicos errores de operador en la lectura o el registro de los datos.
- 4. Se requiere de dos operadores (operador radar y operador de cálculo).**  
El procedimiento requiere de un operador radar para indicar la marcación y distancia a la indicación del "top", para que el operador de cálculo obtenga la posición GPS y realice los cálculos de distancia en forma sincronizada.
- 5. El programa de cálculos solo puede acumular 20 registros de posiciones por barco que tiene bajo inspección.**  
Esta limitación del sistema actual, ha demostrado ser extremadamente insuficiente para registrar todas las alternativas de una persecución, que a veces se extiende por horas; obligando a la tripulación a desechar

registros que pueden resultar valiosos al momento de documentar el procedimiento.

6. **El guardacostas carece de una imagen de superficie.**

No se posee a bordo de un registro actualizado de los buques que se encuentran operando en torno del límite de la ZEE; lo que impide planificar de antemano las zonas o sectores de mayor concentración de buques identificados que delatan la presencia del recurso ictícola que atrae la atención de los buques pesqueros, tengan éstos operando o apagado su sistema de identificación.

7. **Los registros de buques observados/identificados se debe realizar de forma manual.**

La tripulación debe ingresar manualmente el registro de buques observados o identificados en navegación; tarea que demanda un minucioso registro que está destinado a interrumpirse en caso de que la tripulación sea destinada a realizar tareas más urgentes o significativas.

8. **La actividad del guardacostas, no puede ser monitoreada desde tierra.**

El guardacostas informa su posición y las novedades de navegación a períodos regulares mediante enlaces radiotelefónicos usando equipos de alta frecuencia (HF) o satelitales. Sin embargo, estas comunicaciones frecuentemente que deben ser atendidas por la tripulación, resta su atención a situaciones como una persecución; privando a los escalones de decisión en tierra de información vital, ya que carecen de información gráfica debidamente actualizada sobre la dinámica del buque.

B. **Objetivos**

El presente trabajo tiene el propósito entonces del desarrollo de un sistema de información que convine los métodos y técnicas más apropiadas; y permita maximizar el aprovechamiento de las capacidades instaladas a bordo de los Guardacostas, como ayudas a la navegación y sistemas satelitales de comunicaciones, procediendo a la automatización de procesos claves de información como la localización, identificación y verificación de la posición de buques objetivo para mejorar la capacidad operativa los guardacostas.

Se trata de minimizar errores, acelerar el procedimiento de cálculo y que la ejecución sea en forma segura, metódica y rápida, para brindar al guardacostas y las autoridades la mayor certeza y confianza en el proceso.

C. **Restricciones o límites de trabajo.**

En el presente trabajo se adoptan los márgenes de error típicos en los instrumentos electrónicos o procedimientos de cálculo, definidos en documentos de organizaciones reconocidas o usualmente aceptados en la industria. Mediciones específicas, darán valores que podrán coincidir o no con estas estimaciones en función de los instrumentos electrónicos empleados, sus ajustes o calibraciones y las circunstancias particulares en que se efectúa cada medición.

## IV. Solución propuesta

### A. Establecer la solución

#### Automatización del proceso de identificación de buques

Para resolver los problemas descritos en el punto III - A, se instrumenta un sistema de información con las siguientes características:

Se automatiza la captura de datos de los instrumentos del buque (GPS, radar ARPA, girocompás y estación AIS) utilizando sus interfaces NMEA, y se procede a almacenarlos en una base de datos liviana (ORACLE Express) para su registro y utilización en los cálculos de distancia.

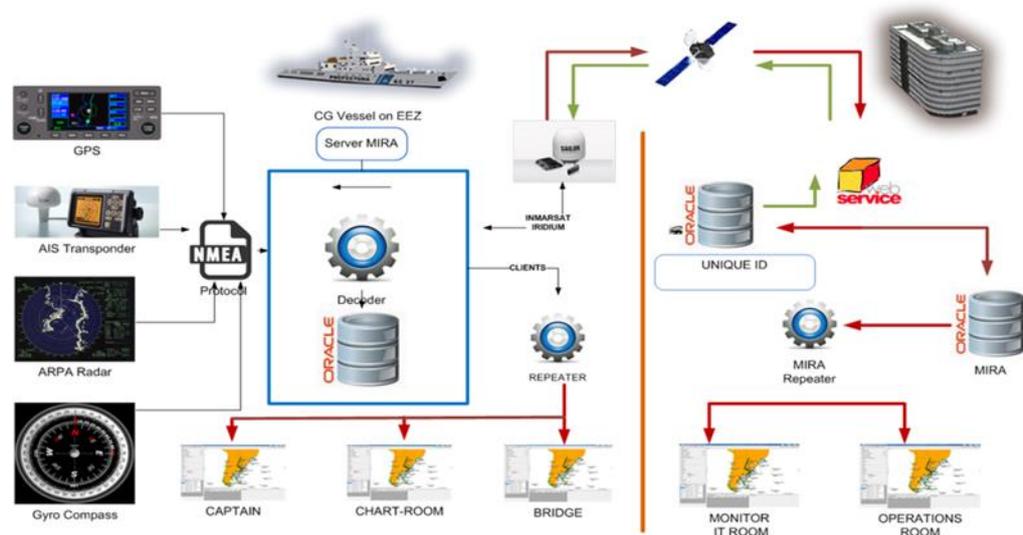


Ilustración 29 - Esquema general del sistema

Se desarrolla un sistema informático, en el lenguaje de programación .Net, de arquitectura cliente-servidor para ser instalado en cada guardacostas. El servidor es alojado junto a la base de datos en un equipo robusto con procesadores de 8 cores, con 8 GB de memoria RAM y disco de estado sólido para que no lo afecten las vibraciones del buque. Este material es acondicionado en el rack de informática y comunicaciones que dispone el barco, para que se tenga acceso a las interfaces NMEA. Otro servidor de respaldo está en modalidad stand-by fuera de línea. Los clientes tienen acceso desde la red interna del guardacostas, y se poseen repetidores en el puente de navegación, sala de derrota y cámara del capitán (ilustración 29).

En la ilustración 30 se observa el esquema del diagrama de tratamiento de las interfaces NMEA.

Se dispone de las interfaces NMEA de los siguientes instrumentos: girocompás (para que brinde el norte verdadero); GPS (para que brinde las coordenadas de la posición del guardacostas; AIS para que brinde las coordenadas y demás información de las estaciones instaladas en los barcos dentro de su alcance y radar ARPA para obtener las coordenadas de los blancos que el sistema efectúa se encuentra punteando (tracking).

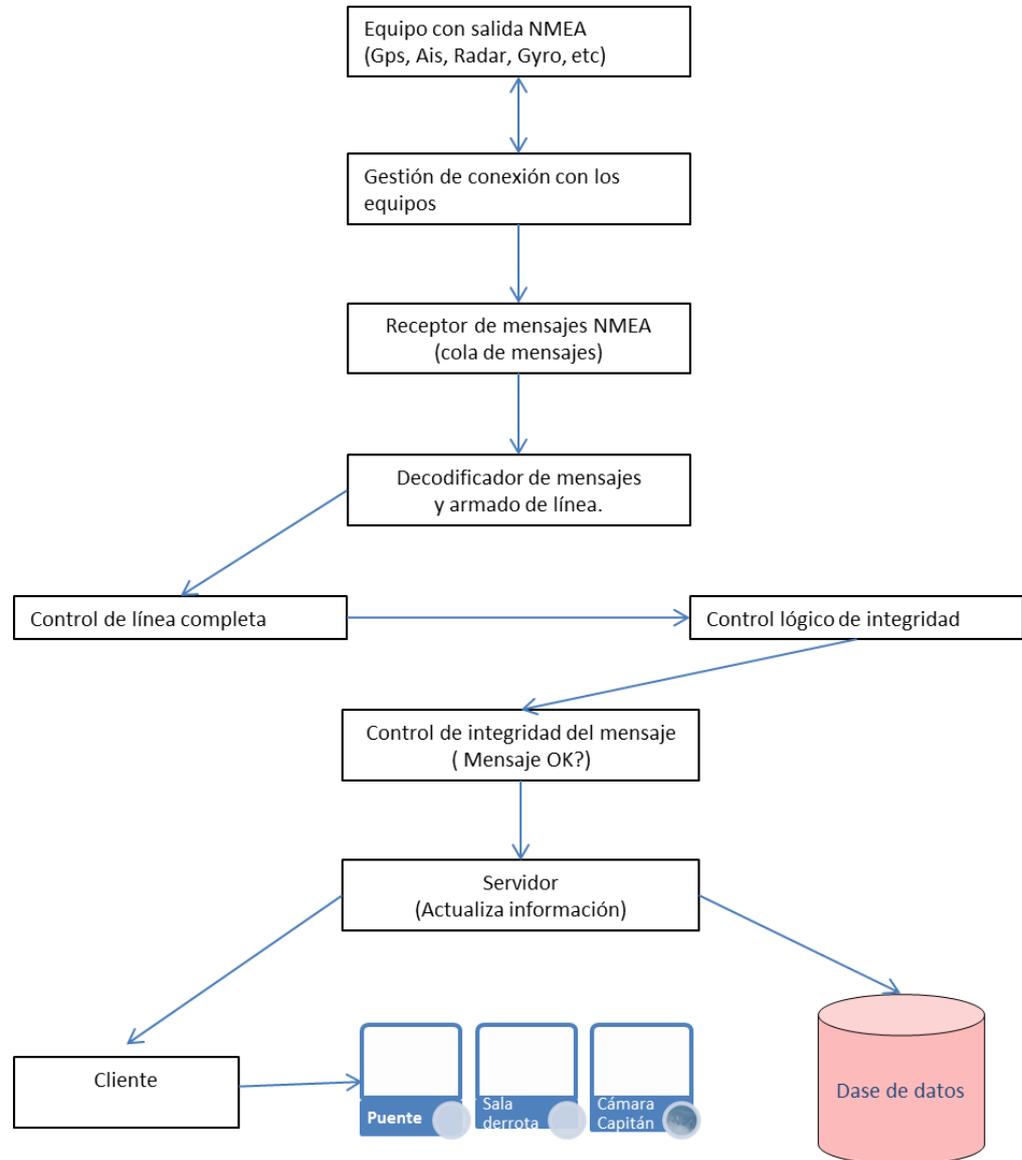


Ilustración 30 - diagrama de tratamiento de NMEAs

El sistema dispara un evento al encenderse, para gestionar las conexiones con los instrumentos electrónicos de navegación, manteniendo e informando el estado de las mismas. En caso de falla se advierte que la/s conexión/es presenta/n dificultad/es mediante mensajes al operador.

Todas las NMEA convergen en un hub de conexiones donde se toman las señales para el sistema, que ingresan mediante una conexión serie RS-232 al computador. Cada flujo de datos que ingresa, es almacenado en un buffer hasta que se completa una línea, lo que ocurre cuando se recibe la señal retorno de carro (CR) que indica que se completó la línea. Al final de cada flujo se arranca un timer para evitar un tiempo de espera indefinido, si en determinado período no se recibe el retorno de carro que indica que se ha completado la línea.

Debido a que en la codificación NMEA para AIS a cada carácter ASCII le corresponden 6 bits binarios (el ASCII normal posee 8 bits), una función convierte el ASCII a 8bits, para que pueda ser interpretada en la siguiente etapa de manera estándar.

Posteriormente se comprueba que la sintaxis y semántica de la línea se encuentre conforme lo define el estándar, y por otra parte se verifica la integridad de los datos con el control de redundancia cíclica (CRC).

Si la sentencia es correcta, entonces el servidor toma el dato y verifica si el time-stamp del nuevo dato es posterior al último dato de ese sistema que fue procesado para el ID del mismo buque. Si es posterior, la procesa, actualiza la información en el sistema y posteriormente la almacena en la base de datos. Si es anterior simplemente la guarda en la base de datos sin procesar.

La información producida con los datos, se muestra entonces en los distintos clientes de la aplicación que al menos se encuentran instalados en el cuarto de derrotas, el puente de navegación y en la cámara del capitán.

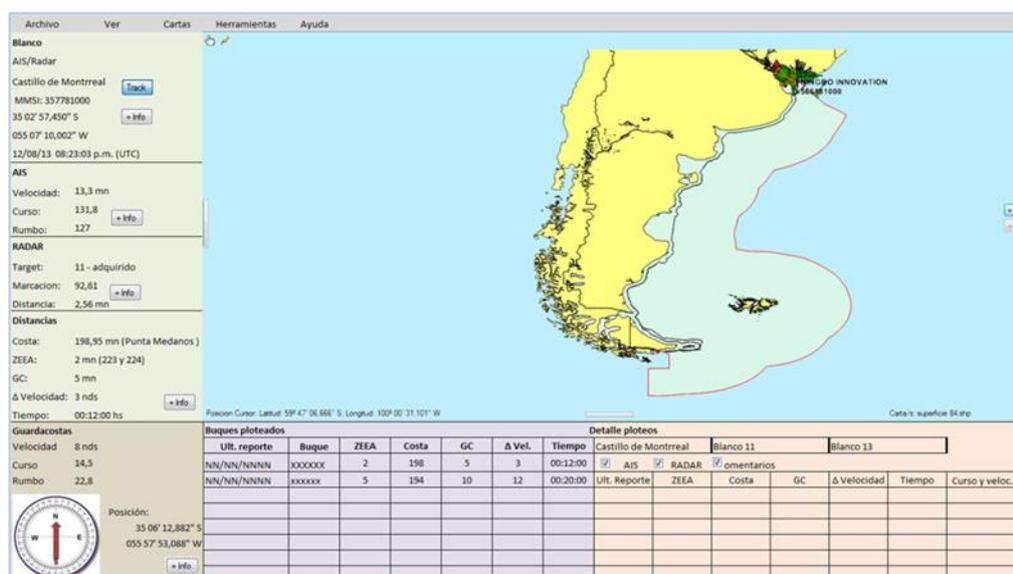


Ilustración 31 - Maqueta de la interfaz de monitoreo

Conforme la maqueta de la figura 31, se desarrolla una interfaz para visualizar la información en un monitor, en el que se muestran mapas vectoriales o cartas electrónicas de navegación, y se integra la información de posición, rumbo y velocidad del buque obtenidos de las interfaces NMEA de los sistemas electrónicos del buque, tales como girocompás, GPS, radar ARPA y transpondedor AIS.

Esta interfaz, posee en la parte superior el menú; a la derecha una columna de datos dinámicos de propio buque y del blanco que está siendo inspeccionado; en la parte inferior dos secciones: una a la izquierda que muestra el ultimo evento de cada blanco y otra a la derecha que genera una solapa por cada blanco, mostrando todos los eventos de ese buque (ilustración 32). El resto del área se deja libre para representación de cartas, dibujos vectoriales y símbolos que representan los buques. Los paneles son intercambiables de lugar dentro de la pantalla, lo que permite que la tripulación los adapte según sus necesidades.

**Buques Ploteados**

Fecha (UTC)	Buque	Zee	Costa	GC	ΔVel.	Tiempo	
23/01/2017 11:34:27	Target: 19	0,49	200,48	1,76	-2,8 nds	-	X
23/01/2017 11:34:24	J.Y.SIXO EIGHT	1,44	201,41	6,57	-2,2 nds	-	X
23/01/2017 11:34:26	Target: 81	1,65	201,63	3,83	-4,6 nds	-	X
23/01/2017 11:34:16	RUN DA 9	11,55	211,45	12,45	-6,9 nds	-	X

**23/01/2017 Detalle Ploteos**

Radar Target: 19  
  AIS J.Y.SIXO EIGHT  
  AIS J.Y.SIXO ONE  
  AIS RUN DA 9  
  Radar Target: 81

Ais  
  Radar  
  Comentarios  
  Manual  
 Pagina: 1

Fecha (UTC)	T	Zee	Costa	GC	ΔVel.	Tiempo	Curso y Veloc.
23/01/2017 11:34:24	A	1,44	201,41	6,57	-2,2 nds	-	67,7 °/0,3 nds
23/01/2017 11:34:06	A	1,44	201,41	6,55	-2,2 nds	-	74,1 °/0,3 nds
23/01/2017 11:33:56	A	1,43	201,41	6,55	-2,2 nds	-	86,7 °/0,6 nds
23/01/2017 11:33:36	A	1,43	201,41	6,54	-2,2 nds	-	85,4 °/0,3 nds
23/01/2017 11:33:24	A	1,43	201,41	6,53	-2,2 nds	-	90,8 °/0,4 nds
23/01/2017 11:33:06	A	1,43	201,41	6,52	-2,1 nds	-	49,5 °/0,2 nds
23/01/2017 11:32:56	A	1,43	201,41	6,51	-2,1 nds	-	78,8 °/0,4 nds

Ilustración 32 - Panel de detección

Respecto los cálculos de medición de distancias, se adopta la librería Gavaghan.Geodesy (Gavaghan, 2008); implementándose las funciones para los cálculos de distancia en forma directa e indirecta mediante la fórmula de Vincenty.

El sistema efectúa el cálculo de distancia a la línea del límite de la ZEE, representada por puntos cada 300 m en WGS84 aportados por el SHN en 2013, identificando el par de puntos más próximos al segmento de la línea que se efectuó la medición.

También se efectúa el cálculo al punto de la línea base conforme el método anteriormente utilizado, identificando el accidente geográfico que lo determina, ya que sirve como referencia habitual para ubicar de manera genérica el área donde se encuentra el objeto.

También se calcula la distancia existente entre el buque guardacostas y el buque bajo inspección. Para el caso que el guardacostas deba planificar o proceder a una interceptación del blanco, se calcula además la velocidad relativa de aproximación y tiempo que demandaría efectuar el alcance.

Si bien los datos se incorporan automáticamente a la base de datos, el sistema admite también el ingreso manual de datos de posición, para que ante la eventual falla en el sistema automático de ingreso de datos por problemas en las interfaces NMEA, se puedan continuar realizando cálculos con el software.

Por otro lado se permite al operador agregar notas en cada una de las entradas registradas, que le servirán luego como referencia para documentar el procedimiento. Normalmente se indica el punto inicial de observación, donde se inició la persecución y todas otras circunstancias relevantes (órdenes de detención, advertencias, etc.)

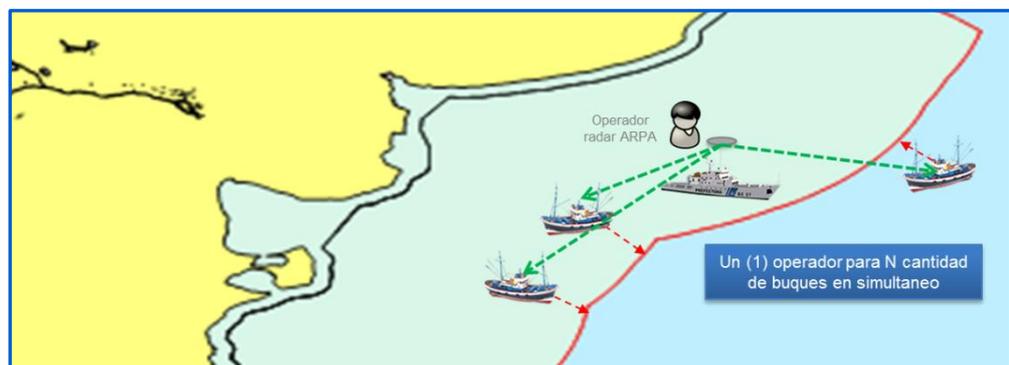


Ilustración 33 - Nuevo esquema operativo

El sistema puede monitorear múltiples blancos simultáneamente con un solo operador (ilustración 33), y registra en la base de datos toda la información que recibe de las interfaces NMEA, independientemente si los blancos son efectivamente monitoreados. Para ello se cuenta con un panel donde se informan los buques que están siendo monitoreados, la última actualización de datos correspondientes al mismo, y en otro panel se lleva todo el historial de información de los buques bajo observación.

El sistema representa en pantalla la última posición e identificación de todos los buques, que navegan en aguas jurisdiccionales argentinas y sus adyacencias en mar libre, que se disponen en el sistema Guardacostas (fusión de los sistemas MBPC / AIS / LRIT / SSCP), la que es recibida a bordo en forma automática o a demanda, mediante una conexión de datos con módem satelital o de HF.

La información de posiciones e identificación recibida desde la estación costera, es actualizada con los reportes AIS del propio buque, y transferida por el mismo medio a la estación costera. Los blancos radar que fueron traqueados por el Guardacostas, también son transmitidos a tierra (ilustración 34).

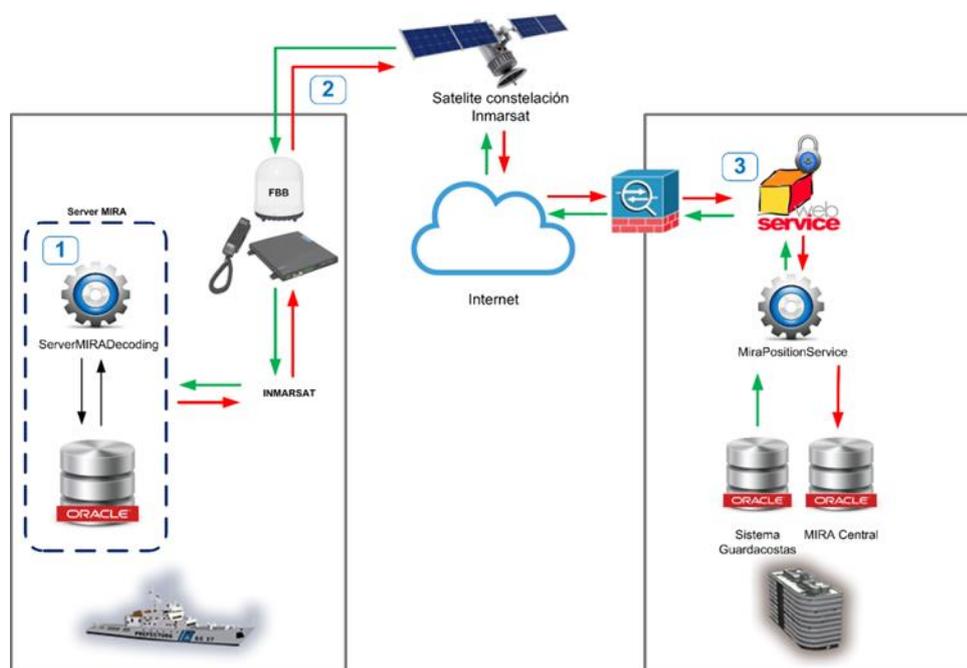


Ilustración 34 - Interoperabilidad tierra-buque

Con toda la información disponible a bordo, el guardacostas tiene una composición de la situación de la flota en alta mar –mayoritariamente pesquera– pudiendo localizar las zonas de mayor concentración de actividad a donde dirigir su patrullaje. Por su parte la estación costera, tiene las actualizaciones que le envían los guardacostas, pudiendo en caso de una persecución seguir las alternativas del hecho en la sala de situación del comando.

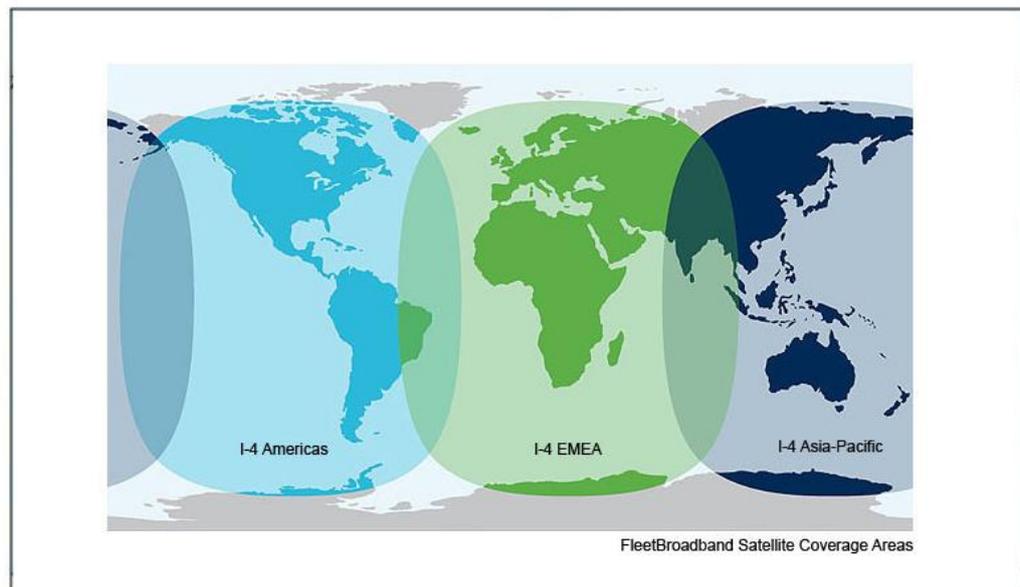
El sistema y la base de datos corren en el servidor ubicado en la sala acondicionada al efecto, y se distribuyen repetidores en la sala de derrota, puente de mando y cámara del capitán.

En la estación costera, la información es almacenada en la base de datos central y se puede reproducir en clientes locales del sistema a través de la intranet/extranet de la organización, para que desde cualquier puesto de comando se puedan seguir las alternativas operacionales.

El sistema cuenta con facilidades para documentar todas las incidencias de un procedimiento, pudiéndose reflejar mediante tablas y cartas de navegación las trayectorias del buque monitoreado y del guardacostas, de modo que puedan adjuntarse fácilmente a los informes o actuaciones sumariales que eventualmente se efectúen.

### **Transferencia de información entre buque y estación costera**

La transferencia de información entre el buque y la estación costera, se resuelve utilizando una arquitectura cliente- servidor, basada en un servidor central que se ubica en el edificio sede de Prefectura<sup>2</sup>, en tanto los clientes pueden encontrarse navegando en el cualquier sitio del área de cobertura del sistema Fleet Broad Band de Inmarsat; el cual comprende cómo se puede observar en la ilustración 35, prácticamente la totalidad de las aguas navegables del mundo.



*Ilustración 35 - Areas de cobertura de Inmarsat FBB*

Como se observa en la figura 36, el servidor central (1), cumple la función de centralizar toda la información que se intercambia con los distintos clientes del sistema MIRA, enviando (2) y recibiendo (4) peticiones de datos desde cada guardacostas (3), mediante un servicio web (WebService) que utiliza métodos HTTP y residente en el servidor. Este servicio se encuentra en línea 24x7x365 y es controlado por un sistema de monitoreo.

---

<sup>2</sup> Eduardo Madero 235 – Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

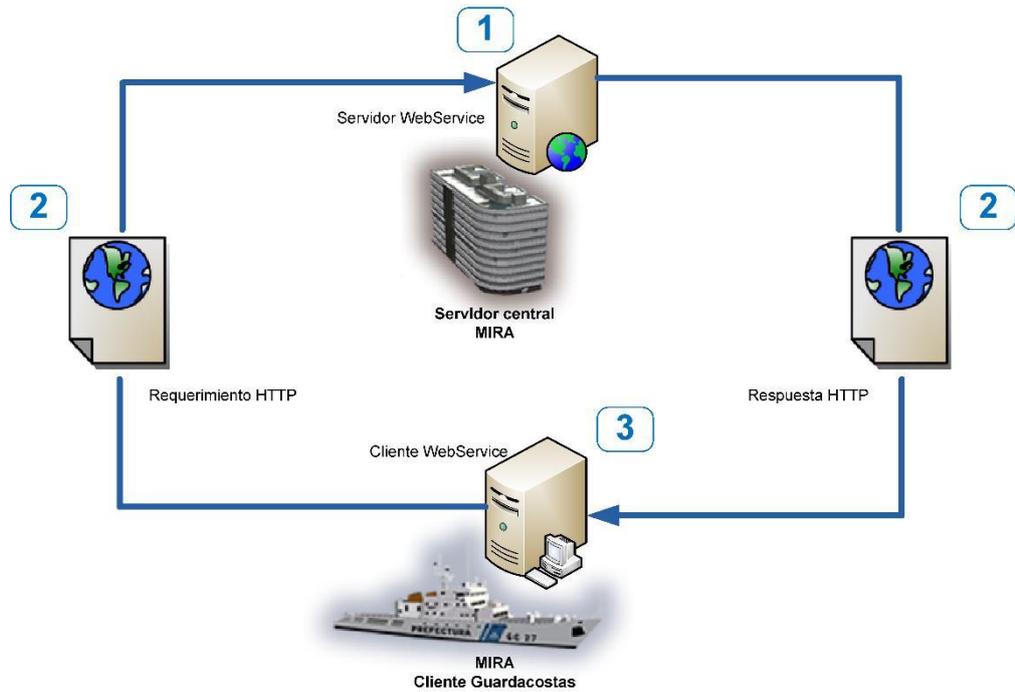


Ilustración 36 - Arquitectura intercambio información

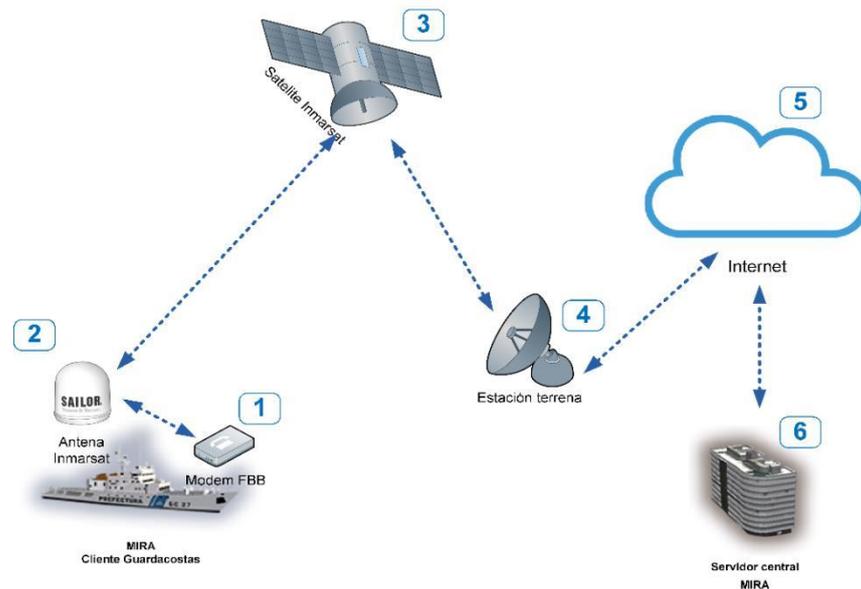
Todas las peticiones, de envío o recepción de datos, se hacen mediante el método POST, en el cual se envía una cabecera del tipo: `http:// IP : PUERTO /Versión / handler?sist = Cliente`. Esta cabecera es seguida de los datos correspondientes a la operación solicitada, en un contenedor del tipo array de bytes encriptado.

Los distintos tipos de operaciones que se pueden efectuar a través del servicio web, se encuentran codificadas y el código de operación que se debe ejecutar es transmitido dentro de los bytes encriptados. Estas operaciones son identificadas por un ID; siendo por el ejemplo la operación "2" la de actualización de la base datos de buques, la "3" la respuesta a dicha petición y así las demás peticiones.



Ilustración 37 - Método de cifrado simétrico

La encriptación de los datos se hace en base a un algoritmo de clave simétrica entre el servidor (1) y el cliente (2); y se configura al momento de la implementación (3). Se utiliza cifrado AES Rijndael (incluido en el framework del .NET) con una llave de 128 bits en ambos extremos. El servidor en el edificio tiene guardadas todas las llaves que corresponden a los buques, y cada buque tiene su identificador y su llave guardada (ilustración 37)



*Ilustración 38 - Arquitectura de comunicación buque-tierra*

Siguiendo la secuencia de la ilustración 38; para iniciar la comunicación satelital se requiere que un operador en el buque cliente conecte el módem (1) que compone el equipo FBB a bordo, para que la señal a través de la antena (2) sea subida o "upstream" al satélite (3) y de éste sea bajada o "downstream" a la estación terrena (4); la cual a través de internet (5) la hace llegar al servidor ubicado en la sede de Prefectura (6).

Establecida la comunicación, el servidor queda habilitado para enviar datos hacia el buque; pero en todos los casos el control de la conexión la posee el cliente en el barco. En la ilustración 39 se aprecia la interfaz de la aplicación LaunchPad que se posee a bordo para establecer la comunicación mediante Inmarsat FBB.

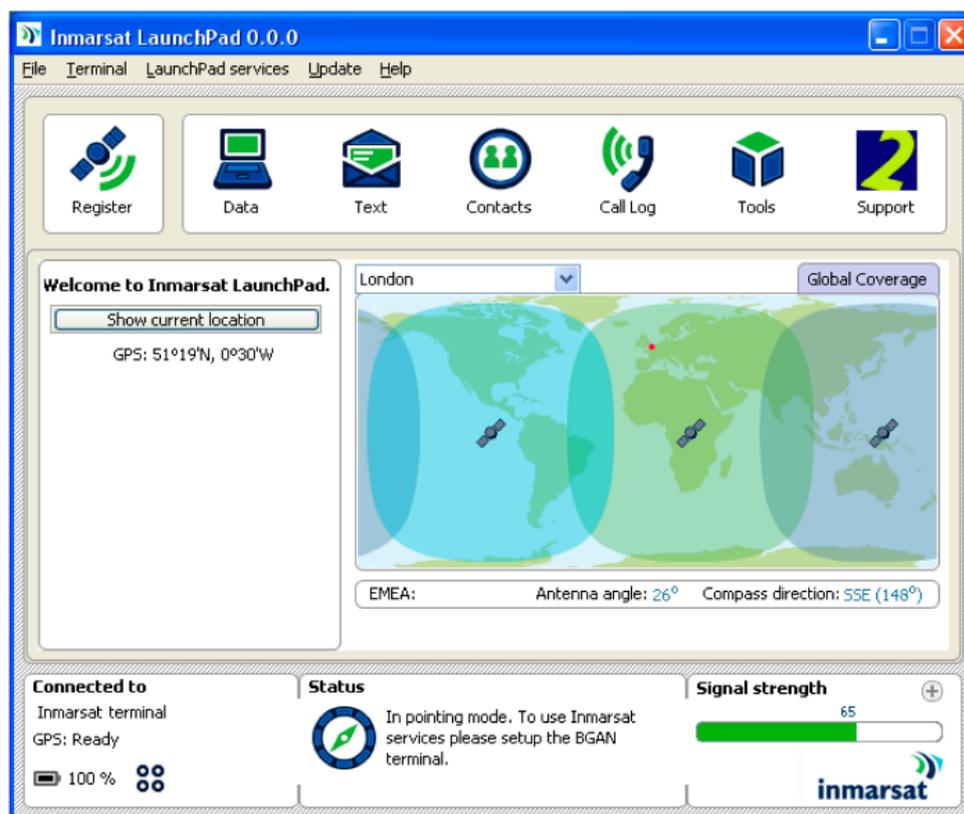


Ilustración 39 - Inmarsat launch pad

En el telepuerto de Inmarsat se cuenta con el servicio “FleetBroadBand Firewall Traffic Controls”, en el que se efectúa el control de tráfico mediante la aplicación de reglas específicas para determinadas direcciones IP o listas blancas o negras; que permiten reducir el uso no autorizado del enlace y proteger a la terminal del tráfico de entrada malicioso.

El intercambio de información entre buque y tierra o viceversa, se configura en la terminal del sistema, y por defecto se produce una actualización de datos aproximadamente cada dos (2) minutos en cada sentido. En caso de operaciones de seguimiento de un buque, se puede configurar la terminal para que actualice en forma continua; en tanto que en situaciones normales y para minimizar costos operativos, el período de actualización se puede extender a más de una hora.

### **Integración de toda la solución en el buque**

Además del software específico para esta aplicación, la implementación del sistema exigió la integración de distintos sistemas electrónicos de navegación, cuyas antenas como se puede observar en la ilustración 40 se disponen en la arboladura del buque

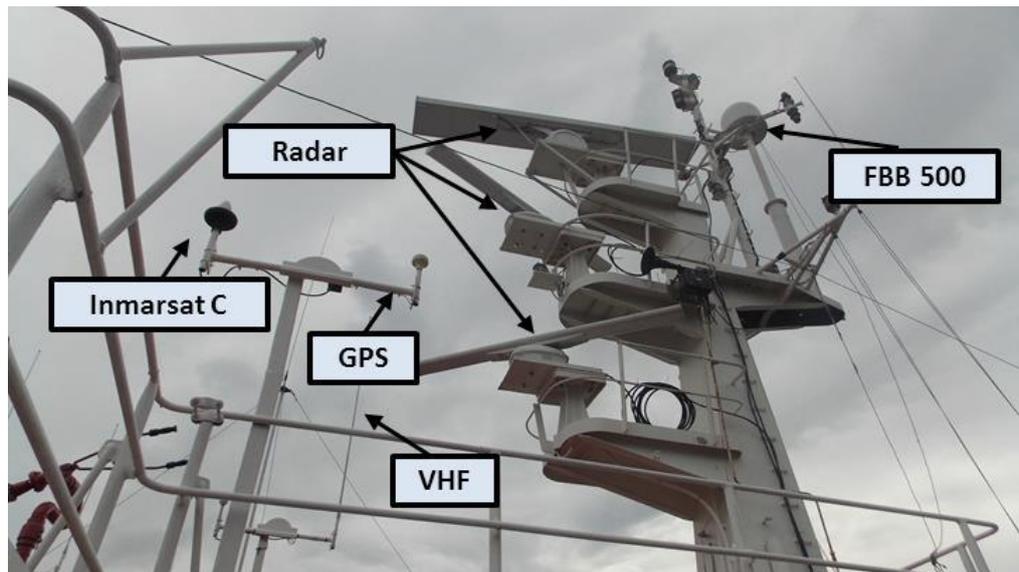


Ilustración 40 - Arboladura y antenas

Las interfaces NMEA para integración de la información que proporcionan estos dispositivos, son obtenidas de las borneras que a tal efecto disponen los equipos electrónicos de navegación; ya sea mediante conectores externos con interfaces seriales RS-232, o bien como se aprecia en la ilustración 41 para el caso del radar de navegación de la bornera del controlador.



Ilustración 41 - Bornera de radar ARPA con interfaces NMEA

La solución requiere de un cableado para extensión de todas las interfaces (girocompás, GPS, AIS y Radar ARPA) hasta el rack de comunicaciones, de modo que estén disponibles para su conexión al servidor del sistema como se aprecia en las ilustración 42.

De estas borneras se conectan los cuatro dispositivos (Radar, GPS, AIS y Girocompás) a un HUB de cuatro puertos RS-232, que permiten conectar a través de un conector DB9 a la entrada de la interfaz serie de comunicaciones del computador.



*Ilustración 42 – Borneras de interfaces NMEA 3n rack comunicaciones*

En la ilustración 43, se puede apreciar el servidor local del sistema acondicionado en el rack de informática y comunicaciones del buque, y el equipo de respaldo en modalidad stand-by fuera de línea.



*Ilustración 43 - Servidor principal y de respaldo*

El modem del equipo Fleet Broad Band de Inmarsat, se dispone en el mismo rack, junto a su interfaz de conexión. (ilustración 44)



*Ilustración 44 - Módem del equipo FBB*

Mediante la utilización de la red de datos del buque, se dispone de conexión en distintas secciones del buque como el puente, el cuarto de derrotas y la cámara del capitán para conectar clientes locales de la aplicación, tal como se observa en las ilustraciones 45 y 46.



*Ilustración 45 - Cliente en sala derrotas*



Ilustración 46 - Cliente en puente de navegación

### Denominación del sistema

Este sistema se denomina "MIRA", acrónimo que significa "Monitoreo e Identificación mediante Radar y AIS", dado que resume las principales funciones y dispositivos electrónicos de a bordo utilizados para esta función.



**Sistema informático MIRA (Monitoreo e Identificación Radar / AIS)**

Ilustración 47 - Logotipo MIRA

**B. Justificación de la solución aportada.**

Este sistema de información, permite tomar los datos necesarios para los cálculos en forma automatizada a través de los mensajes NMEA que generan los equipos electrónicos de navegación que aportan información significativa para este proceso.

Toda la información captada por esos sensores es almacenada en la base de datos e independientemente que sea de utilidad en ese momento para poder identificar a un objeto; se procede a su tratamiento uniforme para eventualmente poderse utilizar con fines estadísticos. La premisa es que todos los datos que son obtenidos deben ser resguardados y conservados aunque momentáneamente no se advierta utilidad. Esa será una base de información que en un futuro cercano podría tratarse y analizarse mediante técnicas de big-data para poseer estadísticas más precisas en cuanto a la dinámica de los guardacostas y el comportamiento de la flota pesquera que se encuentra en torno a sus derrotas.

La captura electrónica de la información mediante los mensajes NMEA, no solo evita la introducción de errores por parte del operador y minimiza el tiempo en que los datos se encuentran disponibles; sino que también se cuenta con muchísima más información para ser registrada y analizada, lo que resulta de gran valor tanto para las operaciones de interceptación, como del registro certero de los eventos ocurridos.

El sistema informático, aporta mayor velocidad en los cálculos, y la interfaz gráfica de los mapas y la ubicación de los objetos en ellos, facilita la comprensión del dominio marítimo en tiempo real conforme se van sucediendo los hechos.

El intercambio de información buque-costa, permite a la tripulación tener información actualizada para la toma de decisiones e incremento de la eficiencia del patrullaje marítimo; en tanto que posibilita a las autoridades en tierra monitorear las actividades y disponer de mayor comprensión de la situación operativa.

Se han aprovechado las facilidades electrónicas y de comunicaciones satelitales del guardacostas, gestionando la interoperación de dispositivos y el efectivo flujos de datos entre los servicios del buque y la costera de manera automática; liberando a la tripulación de una importante carga de trabajo y asegurando una más eficiente operación del buque guardacostas.

**C. Destacar el contenido de los conocimientos aportados.**

En el desarrollo de este trabajo hemos advertido que la dificultad para determinar la situación de un buque en relación a la ZEE (200M), más que

cuestiones de raíz tecnológica, se encuentra en la incertidumbre que existe respecto de la definición de los puntos de referencia que sirven para definir el límite.

La falta de precisión de la Ley para definir los puntos, dio lugar a la utilización de otros puntos en las líneas de bases normales y rectas que aportaban mayor proyección al límite de la ZEE. El inconveniente que presenta el empleo de estas coordenadas, es que requieren de una justificación técnica sobre su utilización. Esta tarea propia de la agrimensura naval, recayó en la práctica en los capitanes de guardacostas, quienes haciendo uso de sus conocimientos profesionales y elevado compromiso, solventaron en los hechos la defensa de la posición adoptada.

La utilización de la línea que define el límite de la ZEE aportada por el SHN en 2013, aparece entonces como el método más recomendable para definir la situación de un buque respecto la ZEE; aun cuando las coordenadas de los puntos de base utilizados para su determinación no se hayan publicado oficialmente.

Esta recomendación, tiene su fundamento en lo siguiente:

Los cálculos geodésicos para definir los puntos cada 300 metros de la línea que define el límite de la Zona Económica Exclusiva, fueron efectuados por el Servicio de Hidrografía Naval, que es el organismo técnico competente en la República Argentina.

La información fue entregada oficialmente a Prefectura a los fines de la implementación de un sistema informático para uso operacional de los guardacostas, contando en consecuencia con un respaldo documental.

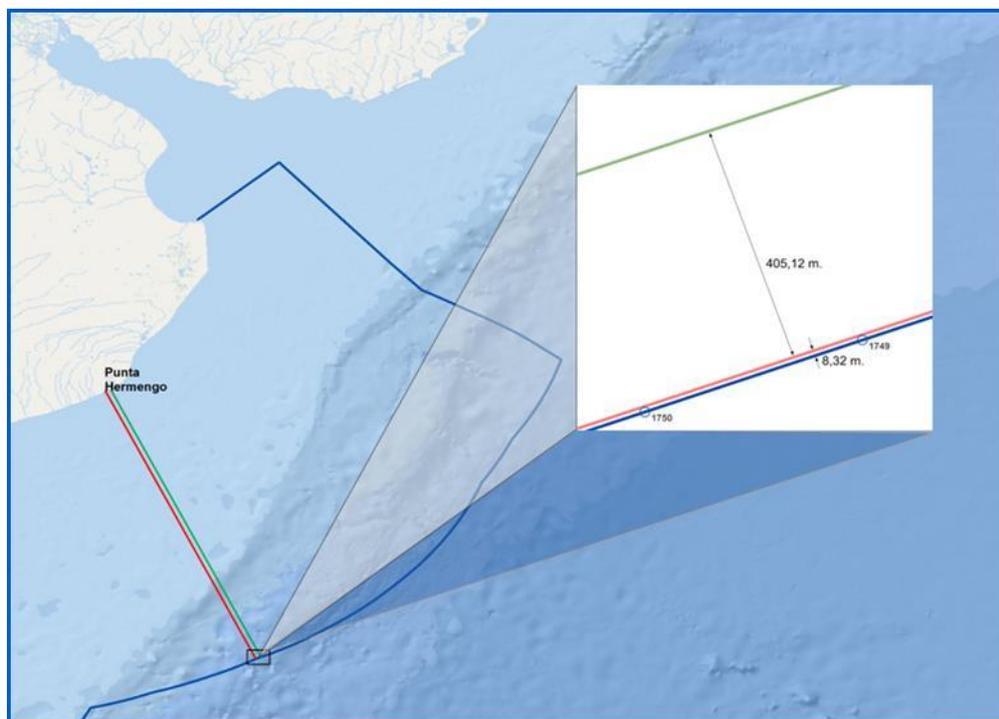
Los puntos que conforman el vector están geo-referenciados en WGS84 y tienen una precisión que permite que puedan ser representados vectorialmente en sistemas informáticos a cualquier escala con una precisión aproximada de diez metros (10m); lo que resulta más preciso que cualquier otro método utilizado.

La Organización Hidrográfica Internacional admite la posibilidad que: "en los casos en que las coordenadas no se publiquen oficialmente, por una cuestión de conveniencia, éstas se podrán extraer de cartas apropiadamente detalladas, utilizando una tabla digitalizadora, o mediante la determinación visual de las coordenadas de los puntos de base deseados". Esto da sustento a la utilización de cualquier coordenada que pertenezca a las líneas de bases rectas o normales que no estén taxativamente indicados en la Ley 23.968. Las coordenadas de los puntos citados en la Ley, indican puntos de inflexión de la línea de base que señalan el punto en que comienza una línea normal o una línea recta; pero de ningún modo indican que esos puntos son necesariamente el origen de los arcos que conforman la envolvente que define el límite de la ZEE.

El límite de la ZEE aportado por el SHN en 2013, según puede constatarse en la práctica, es consistente con la información aportada por la Comisión de la Plataforma Continental Argentina en la presentación que efectuó a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLPC) de Naciones Unidas y que ha permitido el reconocimiento de manera fehaciente y definitiva el límite exterior de la plataforma continental República Argentina a partir del 11 de marzo de 2016.

**D. Método utilizado y justificación técnica que amparen la solución.**

Para constatar los métodos utilizados en la búsqueda de la solución y su justificación técnica, se generaron dos arcos de 200M de radio con centro en el accidente geográfico "Punta Hermengo" de color verde para representar la proyección conforme la Ley 23.968 y en rojo usando las coordenadas del punto en la línea normal adoptado en la práctica. Asimismo, se trazó en color azul el vector que define el límite de la ZEE aportado por el SHN.



*Ilustración 48 - Ampliación área 200 M*

En la ampliación de la zona límite de la ZEE (ilustración 48), se puede observar que entre el arco del punto base indicado en la Ley (verde) y el arco del punto correspondiente a la línea normal (rojo) existe una diferencia mayor a 400 metros. Esto indica que el segundo caso se referencia las coordenadas de un punto correspondiente a una línea normal o recta, pero no necesariamente coincidente con el fijado en la Ley.

También se observa, que la línea que define el límite de la ZEE aportada por el SHN (azul) se encuentra aún más al Este, unos 8 metros. Estas diferencias se explican en la mayor precisión que ha conseguido, ya sea por la introducción de instrumental de medición más preciso, como así también la mayor atención y conocimiento que se ha logrado en la definición de las líneas de bases. Basta recordar, que cuando se sancionó la Ley 23.968 (1991) era incipiente el uso del GPS.

Nótese también, que en el último caso, ya no se informaron puntos sobre la costa, sino un vector compuesto por la serie de puntos cada 300 metros que conforman la línea del límite de la ZEE en las 200M. El sistema informático con ese vector puede generar la línea del límite representable en forma electrónica; por lo que ahora no es necesario (ni resulta apropiado) efectuar mediciones a puntos en la costa para saber la situación de los buques en relación al límite de la ZEE, ya que simplemente basta observar la pantalla, como se advierte en la siguiente imagen (ilustración 49).

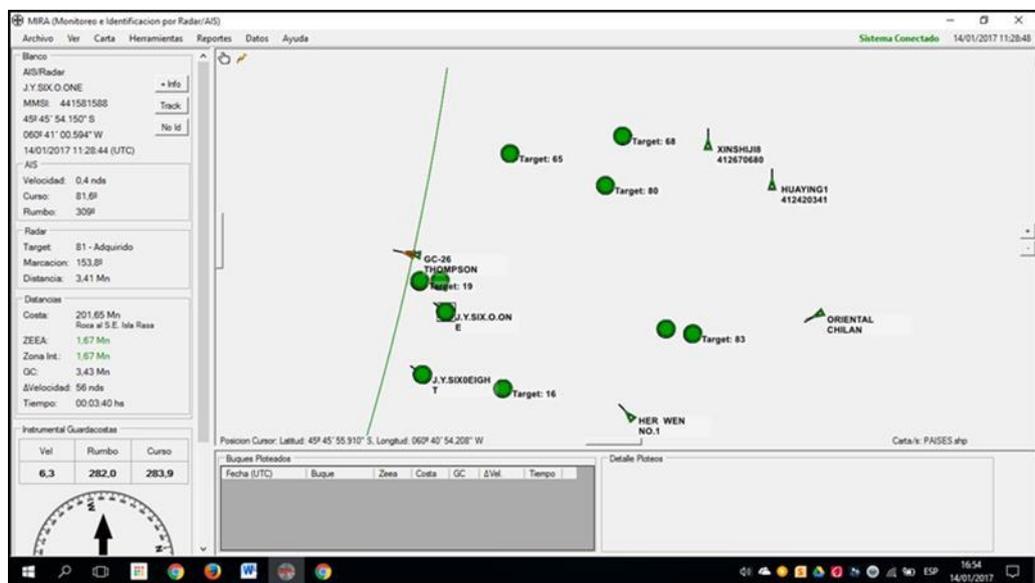


Ilustración 49 - Situación buques en el límite

Si bien, como se señalara, con el nuevo sistema no es necesario que la tripulación efectúe mediciones para establecer la situación de un buque respecto la ZEE, se efectúan cálculos para determinar la distancia del buque al límite de la ZEE; como así también entre el guardacostas y el buque bajo inspección.

A modo de referencia por otra parte se informa además la distancia a las coordenadas del accidente geográfico más próximo de la costa coincidente con los puntos usados en la práctica hasta ahora; pero por las razones expresadas más arriba, no debe esperarse que la proyección de arcos de estas coordenadas sea coincidente con el límite proporcionado recientemente por el SHN.

## V. Resultados y conclusiones

### A. Representación que corrobora lo propuesto, resultados obtenidos y grado de desvío respecto de los resultados esperados.

A fin de corroborar la precisión de los cálculos proporcionados por el sistema propuesto (MIRA), se procedió a efectuar cálculos de distancia en base a los métodos descritos en el presente trabajo, a saber: loxodrómico, WGS-84 SHN 1985, Haversine, Vincenty y además se efectuaron cálculos con la plataforma del sistema de información geográfica ArcGIS Desktop de ESRI; comparando los resultados obtenidos en rangos de larga y corta distancia.

En la siguiente tabla se representan el punto A, sobre la costa, el B próximo al límite de la ZEE y el C que integra la línea que conforma el límite de la ZEE proporcionado por el SHN. La distancia A-B se encuentra en el orden de las 200 M y la B-C es de aproximadamente 2 M. Con esto se obtienen valores representativos para mediciones que típicamente se deben realizar en el guardacostas.

Se procedió al cálculo de distancias en metros y millas náuticas entre los puntos A-B y B-C; obteniendo luego el promedio de todos los valores obtenidos. Contra este valor se compararon individualmente los resultados obtenidos por los diferentes métodos, consiguiendo los desvíos de cada medición respecto del valor promedio.

		Posición A			Posición B			Posición C		
		Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos
	Latitud	38° 17' 40,333" S			40° 3' 27,783" S			40° 4' 5,849" S		
	Longitud	57° 51' 9,745" W			54° 6' 18,201" W			54° 5' 7,726" W		
		Grados decimales			Grados decimales			Grados decimales		
	Latitud	38,294536			40,057717			40,068291		
	Longitud	57,852706			54,105055			54,085479		
Método cálculo		Distancia AB en m			$\Delta X(AB) - AB$		$\Delta X(BC) - BC$	Distancia B-C en m		
Loxodromia	m	378.775,91			450,17		2,96	2.044,59		
	M	204,52			0,24		0,00	1,10		
WGS84 SHN 1985	m	378.350,65			24,91		0,08	2.041,55		
	M	204,29			0,01		0,00	1,10		
Haversine	m	377.778,00			547,74		2,63	2.039,00		
	M	203,98			0,30		0,00	1,10		
Vincenty	m	378.349,95			24,21		0,08	2.041,55		
	M	204,29			0,01		0,00	1,10		
ArcGIS ESRI	m	378.349,95			24,21		0,08	2.041,55		
	M	204,29			0,01		0,00	1,10		
MIRA	m	378.350,00			24,26		0,08	2.041,55		
	M	204,29			0,01		0,00	1,10		
		Media X(AB) en m						Media A-B X (AB) en m		
	m	378.325,74						2.041,63		
	M	204,28						1,10		
		Máx. $\Delta$ a X(AB) en m						Max $\Delta$ a X(BC) en m		
	m	547,74			0,14		0,14	2,96		
	M	0,30			0,14		0,14	0,00		
		Máx. $\Delta$ a MIRA en m			Porcentajes			Max $\Delta$ a MIRA en m		
	m	24,26			0,01		0,00	0,08		
	M	0,01			0,01		0,00	0,00		

Tabla 4 - Comparación de cálculos

Del análisis de los resultados se verifica que los cálculos proporcionados por el sistema MIRA respecto la media obtenida usando los diferentes métodos, en largas distancias (hasta 200 M) posee un desvío de 24,26 metros y de solo 8 centímetros en distancias cortas (2 M); con valores similares a los obtenidos con Vincety (movable type scripts); fórmula SHN WGS84 1985 y ArcGIS de ESRI; lo que indica que es suficientemente preciso y con valores aproximados.

Por otra parte se destaca, que porcentualmente el desvío al valor medio de las mediciones es levemente menor en distancias cortas, y si bien no es significativo alcanza para reflejar que la incertidumbre será menor en distancias cortas. Dicho de otro modo, considerando la modalidad de operación de los guardacostas que navegan en torno al límite de la ZEE, resulta más preciso medir a la línea de las 200M que a la costa.

#### **B. Evaluación general de procedimientos, recursos y facilidades utilizados.**

En los albores de este proyecto, se tuvo como propósito mejorar las condiciones en que se realizaban las mediciones, automatizando procesos para minimizar errores y darle mayor celeridad, precisión y exactitud a un procedimiento que se ha venido observando por más de treinta años.

El objetivo inicial se centró en la búsqueda del método más preciso para medir distancias entre dos puntos en Tierra y a poco de andar se pudo advertir que la incertidumbre jugaría un papel relevante en varios aspectos. Quedó evidenciado que la exactitud como en cualquier proceso de medición es solo una aproximación al valor "verdadero" y que en todos los casos, lo máximo que se puede pretender es minimizar ese error.

Resuelto el sistema de referencias geodésicas y la fórmula que se debía utilizar para solventar de manera eficaz el proceso de medición, restaba abordar las cuestiones tecnológicas asociadas a la captura y tratamiento de datos para calcular. En este punto, se advierte que la problemática no pasaba por el método de medición, sino por la incertidumbre al momento de definir exactamente las coordenadas de los puntos extremos que se pretendían medir.

En alta mar encontramos que la manera de fijar la posición del buque objetivo puede ser cuestionable si no se cuentan con pruebas objetivas y auditables, como podrían ser mensajes AIS que se difunden y almacenan electrónicamente más allá del propio buque. Sobre la costa, nos encontramos que los puntos bien definidos en la legislación, son bastante laxos en su precisión y los que son lo suficientemente precisos, requieren de una necesaria demostración.

En una charla con profesionales del SHN, se plasmó tal dificultad y se llegó al entendimiento que la medición de distancias geodésicas en tal estado de incertidumbre, resulta un problema complejo y difícil resolución, ya que la justificación de los puntos adoptados para el cálculo requiere de conocimientos y habilidades que excede las incumbencias de la tripulación.

Al proporcionar el SHN la serie de puntos cada 300 metros que conforman la línea del límite de la ZEE en las 200M, calculados por ese organismo técnico, eximen a la tripulación de mayor justificación. Esto facilita de manera notable la determinación de la situación de un buque respecto de la ZEE y dio un giro importante e inesperado en el modo de encarar la solución.

C. **Recomendaciones**

Para determinar la situación del buque respecto de la ZEE, el sistema MIRA se basa en el límite de las 200M proporcionado por el SHN. Al momento en que este material fue aportado a Prefectura (2013), aún no se había definido la presentación efectuada por el estado nacional a la CLPC y por ello resultaba válida la advertencia en cuanto al aspecto legal. Se entiende que el reconocimiento del organismo de Naciones Unidas del 16 de marzo de 2016, sobre el límite de la plataforma continental argentina, da sustento al propio límite de las 200 M; no obstante cabría la correspondiente consulta y sería deseable su precisa definición y publicación.

## **VI. Futuras líneas de investigación**

Se sugiere el desarrollo de trabajos de investigación en otros sistemas electrónicos para detección de buques usando otras fuentes electrónicas de datos como dispositivos de radiolocalización (mediante sonar y emisión de señales radioeléctricas) y el uso vehículos no tripulados equipados con sensores opto-electrónicos, ya que su utilización a bordo de embarcaciones mejoraría sensiblemente sus capacidades operativas.

Asimismo, se recomienda efectuar un estudio tendiente a determinar la necesidad, posibilidades y en qué situación cabría la adopción de la norma NMEA2000 para la interoperabilidad de los dispositivos electrónicos de a bordo.

**VII. ANEXO I**

“Puntos de líneas de base que definen el límite exterior de la zona económica exclusiva de la República Argentina”

ORD	DENOMINACION	ACCIDENTE GEOGRAFICO	LATITUD	LONGITUD
1	A01-a	Punta Medanos (A)	36° 52' 50,20" S	56° 39' 55,10" W
2	A01-b	Punta Medanos (B)	36° 53' 18,20" S	56° 40' 09,80" W
3	A02-a	Punta Querandi (A)	37° 26' 16,40" S	57° 04' 58,90" W
4	A02-b	Punta Querandi (B)	37° 27' 02,50" S	57° 05' 31,10" W
5	A03	Punta Mogotes	38° 06' 01,00" S	57° 32' 35,70" W
6	A04	Chapadmalar Norte	38° 10' 23,30" S	57° 38' 06,30" W
7	A05	Chapadmalar Sur	38° 12' 17,40" S	57° 40' 42,40" W
8	A06	Punta Hermengo	38° 17' 48,20" S	57° 51' 11,80" W
9	A07	SW Centinela del Mar	38° 28' 46,80" S	58° 19' 20,30" W
10	A08	NE Casco Rosario	38° 31' 27,80" S	58° 27' 20,30" W
11	A09	NW Casco Rosario	38° 32' 38,80" S	58° 31' 14,30" W
12	A10	Restinga Punta Negra	38° 37' 24,10" S	58° 49' 38,20" W
13	A11	Restinga Balneario Los Angeles	38° 40' 44,80" S	59° 00' 42,20" W
14	A12	Extremo SE banco Culebra	40° 26' 38,40" S	61° 57' 12,10" W
15	A13	Punta Rasa Sur	40° 52' 16,90" S	62° 18' 36,80" W
16	A14	Punta Delgada	42° 45' 55,50" S	63° 37' 32,30" W
17	A15	Roca Salaverría	44° 24' 12,00" S	65° 05' 53,00" W
18	A16	Roca al SE Isla Rasa	45° 07' 02,50" S	65° 22' 04,80" W
19	A17	Cierre Golfo San Jorge - Cabo Dos Bahías	44° 55' 47,40" S	65° 31' 07,30" W
20	A17/18-a	Cierre Golfo San Jorge - A	46° 01' 48,42" S	65° 41' 33,30" W
21	A17/18-b	Cierre Golfo San Jorge - B	46° 04' 38,10" S	65° 42' 00,66" W
22	A17/18-c	Cierre Golfo San Jorge - C	46° 07' 27,78" S	65° 42' 28,08" W
23	A17/18-d	Cierre Golfo San Jorge - D	46° 10' 17,46" S	65° 42' 55,56" W
24	A17/18-e	Cierre Golfo San Jorge - E	46° 13' 07,14" S	65° 43' 23,04" W
25	A17/18-f	Cierre Golfo San Jorge - F	46° 15' 56,82" S	65° 43' 50,64" W
26	A17/18-g	Cierre Golfo San Jorge - G	46° 18' 46,50" S	65° 44' 18,24" W
27	A17/18-h	Cierre Golfo San Jorge - H	46° 21' 36,12" S	65° 44' 45,90" W
28	A18	Cierre Golfo San Jorge - Cabo Tres Puntas	47° 05' 47,30" S	65° 52' 01,60" W
29	A19	Cabo Blanco	47° 12' 06,20" S	65° 44' 12,40" W
30	A20	Punta Guzman	47° 19' 55,30" S	65° 43' 04,40" W
31	A21	Restinga Isla Pinguino	47° 54' 23,00" S	65° 42' 29,00" W
32	A31	Islote más austral de la Punta Fallows	54° 47' 32,20" S	63° 51' 24,90" W
33	A32	Extremo sur Islote De Chiara	54° 52' 50,30" S	64° 10' 31,80" W
34	A33	Islote mas austral de los islotes 350 Pies	54° 55' 15,30" S	64° 37' 04,20" W
35	A34	Islote más austral al SW Cabo Hall	54° 58' 53,30" S	65° 42' 08,10" W
36	A35	Islote Blanco	55° 03' 41,20" S	66° 32' 48,40" W
37	A38	Decreto 2654-90 - Centro Islas Malvinas	51° 40' 00,00" S	59° 30' 00,00" W

## VIII. Bibliografía

- Chamberlain, R. G. (1996). CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Obtenido de <http://www.movable-type.co.uk/scripts/gis-faq-5.1.html>
- CONVEMAR. (1982). CNUDM. Obtenido de Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar: [http://www.un.org/Depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/convemar\\_es.pdf](http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf)
- COPLA. (1997). La Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA). Obtenido de <http://www.plataformaargentina.gov.ar/es/la-comisi%C3%B3n-nacional-del-l%C3%ADmite-exterior-de-la-plataforma-continental-copla>
- Editorial Guardacostas. (2016). Manual de Conocimientos Marineros - 4ta Ed. Buenos Aires: Guardacostas.
- F. Cernuschi, F. G. (1968). "Teoría de errores de mediciones". Buenos Aires: EUDEBA.
- Gavaghan, M. (6 de January de 2008). C# Geodesy Library for GPS – Vincenty's Formulae. Obtenido de <http://www.gavaghan.org/blog/free-source-code/geodesy-library-vincentys-formula/>
- Hijmans, R. J. (14 de June de 2016). Introduction to the "geosphere" package. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/geosphere/vignettes/geosphere.pdf>
- IHO. (Marzo de 2006). MANUAL SOBRE LOS ASPECTOS TÉCNICOS DE LA CONVENCIÓN DE LAS NACIONES SOBRE EL DERECHO DEL MAR, 1982. Obtenido de [https://www.iho.int/iho\\_pubs/CB/C\\_51\\_SPA.pdf](https://www.iho.int/iho_pubs/CB/C_51_SPA.pdf)
- Kasakovich. (14 de April de 2009). Electrónica Marina. Obtenido de Radar ARPA: <https://kasakovich.wordpress.com/2009/04/14/radar-arpa/>
- Louzán Lago, F., & Iglesias Baniela, S. (2015). Manual de Comunicaciones Marítimas. La Coruña: Catamar.
- Movable Type Scripts. (2002). Movable Type. Obtenido de <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong-vincenty.html>
- NMEA . (June de 2012). NMEA 0183 Standar. Obtenido de National Electronic Maritime Asociación: [http://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp)
- OMI. (1995). Organización Marítima Internacional. Obtenido de Normas de funcionamiento del equipo receptor a bordo del sistema universal de determinación de situación (GPS): [http://www.prefectura naval.gov.ar/web/es/doc/dpsn\\_resoluc\\_asambleas/a0819.pdf](http://www.prefectura naval.gov.ar/web/es/doc/dpsn_resoluc_asambleas/a0819.pdf)
- ONU. (1999). "Directrices Científicas y Técnicas de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental".
- Prieto, E. (2012). ¿Sabías que Exactitud no es lo mismo que Precisión? Obtenido de <http://www.e-medida.com/documentos/Numero-1/exactitud-no-es-lo-mismo-que-precision.htm>
- SHN, S. d. (1985). "Algoritmo para el cálculo de distancias geodésicas en sistema WGS".
- Sinnott, R. W. (1984 ). Virtudes de la Haversine . Sky and Telescope- Vol. 68 - Nº 2, 159.
- SOLAS-OMI. (1974). Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974. Obtenido de [http://www.imo.org/es/about/conventions/listofconventions/paginas/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\)-1974.aspx](http://www.imo.org/es/about/conventions/listofconventions/paginas/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas)-1974.aspx)
- Vincenty, T. (April de 1975). Survey Review - XXII. Nº 176. Obtenido de <https://www.ngs.noaa.gov>: [https://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/inverse.pdf](https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf)

Wiki - La Mar en Calma. (16 de Nov de 2012). TÉCNICAS DE NAVEGACIÓN MARÍTIMA. Obtenido de [http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=T%C3%89CNICAS DE NAVEGACI%C3%93N MAR%C3%8DTIMA](http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=T%C3%89CNICAS%20DE%20NAVEGACI%C3%93N%20MAR%C3%8DTIMA)

Wikipedia . (11 de December de 2006). WGS84. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/WGS84>

Wikipedia . (2017). Sistema de Posicionamiento Global. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global)

Wikipedia. (2009). Fleet Broad Band. Obtenido de <https://en.wikipedia.org/wiki/FleetBroadband>

Wikipedia. (25 de Mayo de 2010). Haversine formula. Obtenido de Wikipedia, the free encyclopedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine formula](https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula)

Wikipedia. (2015). National Maritime Electronic Association. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/National\\_Marine\\_Electronics\\_Association](https://es.wikipedia.org/wiki/National_Marine_Electronics_Association)

Wikipedia. (26 de November de 2016). Automatic identification system. Obtenido de [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_identification\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_identification_system)

## IX. Glosario

- AES Rijndael: Advanced Encryption Standard (AES), también conocido como Rijndael, es un esquema de cifrado por bloques simétrico, 57
- AIS: Sistema de Identificación Automática de buques, 29
- ArcGIS: Sistema GIS de ESRI, 67, 68
- ARPA: Automatic Radar Plotting Aid; radar de punteo automático, 31
- ASCII: American Standard Code for Information Interchange, 36
- BGAN: Broadband Global Area Network, 35
- CLPC: Comisión de Límites de la Plataforma Continental, 15
- CODEC: codificador-decodificador, 35
- CONVEMAR: Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, 5
- CPA: Closest Point of Approach (Punto de Abordaje más Próximo), 32
- CR: carriage return, 51
- DB9: Conector analógico de 9 clavijas, 59
- EIA: Electronic Industries Alliance, 36
- ESRI: Environmental Systems Research Institute, 67
- FB250: Fleet Broad Band 250, 35; FleetBroadBand 250, 35
- FB500: FleetBroadBand 500, 34
- FBB: FleetBroadBand, 35
- GB: Gigabytes, 17
- GLONASS: Global Navigation Satellite System (ruso), 29
- GPS: Global Positioning System; sistema de posicionamiento global, 21
- HUB: Dispositivos concentrador de interfaces, 59
- ID: IDentificador, 51
- IHO: International Hydrographic Organization, 9
- IP: Internet Protocol, 35
- ISDN: Integrated Services Digital Network, 35
- kbps: kilo bytes por segundo, 34
- km: kilómetros, 47
- LRIT: Long Range Identification and Tracking System, 40
- m: Metros, 32
- M: Milla náutica, 5
- MBPC: sistema de Movimiento de Buques, Pasajeros y Cargas, 38
- MHz: Megahertz, 31
- millas marinas: La milla marina o milla náutica, es una unidad de longitud empleada en navegación marítima y aérea. La definición internacional, adoptada en 1929, es el valor convencional de 1852 m (aprox. la long. de un minuto de arco), 5
- MIN: Minutos, 32
- MIRA: Monitoreo e Identificación Radar /Ais, 62
- MMSI: Maritime Mobile Service Identification; número de identificación del servicio móvil marítimo, 31
- MPLS: Multi Protocol Label Switching, 39
- NDC: National Data Center, 41
- NMEA: National Marine Electronics Association, 7
- OMI: Organización Marítima Internacional, 29
- ONU: Organización de las Naciones Unidas, 15
- PNA: Prefectura Naval Argentina, 38
- QoS: Quality of Service, 35
- RAM: Random Access Memory, 49
- RS-232: Puerto serie de la interfaz de comunicaciones asincrónico (protocolo RS-232), 59
- SHN: Servicio de Hidrografía Naval, 19
- SIG: Sistema de Información Geográfica, 16
- SOLAS: Convenio Internacional sobre la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 29
- SSCP: Sistema Satelital de Control Pesquero, 41
- TCPA: Time to Closest Point of Approach; tiempo al punto más cercano de aproximación, 32; Time to CPA (Tiempo a CPA), 32;
- UDP: User Datagram Protocol, 35
- VHF: Very High Frequency, 31
- VIM: Vocabulario Internacional de Metrología, 43
- VSAT: Very Small Aperture Terminal, 35, 39
- WGS84: World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984), 18
- ZEE: Zona Económica Exclusiva, 5

## **X. Índice de ilustraciones**

Ilustración 1- Guardacostas GC 26 "Thompson" .....	6
Ilustración 2 – Extracto Anexo I Ley 23.968 .....	11
Ilustración 3 - Carta H-50 (general) SHN .....	12
Ilustración 4 - Carta H50 (ampliación parcial) SHN .....	12
Ilustración 5 - Puntos base que delimitan la ZEE .....	13
Ilustración 6 – Análisis de puntos base .....	15
Ilustración 7 - Fotografía aérea Punta Hermengo.....	15
Ilustración 8 - Mapa de la Plataforma Continental Argentina .....	19
Ilustración 9 - Vista parcial de la línea de 200M límite ZEE en WGS84- SHN 2013 .....	20
Ilustración 10 - Navegación loxodrómica .....	22
Ilustración 11 - Navegación ortodrómica (círculo mayor) .....	24
Ilustración 12 - Fórmula geodésica SHN 1985.....	27
Ilustración 13 - Descripción general del AIS .....	31
Ilustración 14 - Transpondedor AIS.....	32
Ilustración 15 - Imagen de la pantalla de un radar ARPA.....	34
Ilustración 16 - Ejemplo NMEA de girocompás.....	37
Ilustración 17 - Ejemplos de mensajes NMEA de GPS .....	38
Ilustración 18 - Ejemplo de NMEA de AIS .....	38
Ilustración 19 - Ejemplo de NMEA de radar ARPA .....	38
Ilustración 20 - Interfaz del sistema MBPC.....	39
Ilustración 21 - Interfaz del Sistema AIS costero .....	41
Ilustración 22 - Interfaz del sistema LRIT.....	41
Ilustración 23 - Sistema Satelital Control Pesquero .....	42
Ilustración 24 - Interfaz del Sistema Satelital Monitoreo Guardacostas.....	43
Ilustración 25 - Interfaz sistema Guardacostas.....	44
Ilustración 26 _ Exactitud y precisión .....	45
Ilustración 27 - funciones de densidad de probabilidad. ....	46
Ilustración 28 - Esquema operativo convencional.....	47
Ilustración 29 - Esquema general del sistema .....	51
Ilustración 30 - diagrama de tratamiento de NMEAs.....	52
Ilustración 31 - Maqueta de la interfaz de monitoreo .....	53
Ilustración 32 - Panel de detección .....	54
Ilustración 33 - Nuevo esquema operativo .....	55
Ilustración 34 - Interoperabilidad tierra-buque .....	56
Ilustración 35 - Areas de cobertura de Inmarsat FBB.....	57
Ilustración 36 - Arquitectura intercambio información .....	58
Ilustración 37 - Método de cifrado simétrico .....	58
Ilustración 38 - Arquitectura de comunicación buque-tierra .....	59
Ilustración 39 - Inmarsat launch pad.....	60
Ilustración 40 - Arboladura y antenas .....	61
Ilustración 41 - Bornera de radar ARPA con interfaces NMEA.....	61
Ilustración 42 – Borneras de interfaces NMEA 3n rack comunicaciones.....	62
Ilustración 43 - Servidor principal y de respaldo .....	62
Ilustración 44 - Módem del equipo FBB.....	63
Ilustración 45 - Cliente en sala derrotas.....	63
Ilustración 46 - Cliente en puente de navegación .....	64

Ilustración 47 - Logotipo MIRA.....	64
Ilustración 48 - Ampliación área 200 M.....	67
Ilustración 49 - Situación buques en el límite.....	68

## **XI. Índice de Ecuaciones**

Ecuación 1 - Ecuación del teorema de Pitágoras.....	21
Ecuación 2 - Fórmulas Loxodrómicas.....	23
Ecuación 3 - Cálculo rumbo inicial ortodrómico.....	24
Ecuación 4 - Fórmula Haversine.....	25
Ecuación 5 - "Algoritmo para el cálculo de distancias geodésicas en sistema WGS SHN".....	26
Ecuación 6 - Fórmula de Vincenty (Movable Type Scripts, 2002).....	28
Ecuación 7 - Distancia al horizonte.....	34

## **XII. Índice de Tablas**

Tabla 1.....	14
Tabla 2- Ejemplo fórmula WGS85 - SHN 1985.....	27
Tabla 3- Régimen de actualización de la información dinámica.....	31
Tabla 4 - Comparación de cálculos.....	69