

01168



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**POSGRADO DE INGENIERIA**

**TESIS PROFESIONAL**

**EL ANALISIS DE OPERACIONES NAVALES EN PROBLEMAS DE  
"BUSQUEDA Y DETECCION EN SUPERFICIE"**

**PRESENTADA POR:  
KARINA MALVAEZ BUENROSTRO**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
MAESTRO EN INGENIERIA  
(INVESTIGACION DE OPERACIONES)**



**DIRIGIDA POR:  
DR. SERGIO FUENTES MAYA**

**MEXICO, D.F AGOSTO DE 2005.**

m346880



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# INDICE

Objetivo.....	i
Resumen.....	ii
Introducción.....	iii

## Capitulo I “Introducción al Análisis de Operaciones Navales”

1.0 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Análisis de Operaciones.....	3
1.3 Análisis de Operaciones en la Marina.....	5
1.4 Análisis de Operaciones y el Oficial de Marina.....	7
1.5 Método del Análisis de Operaciones Navales.....	8

## Capitulo II “Teoría de búsqueda y detección”

2.0 Introducción.....	16
2.1 Teoría de la Detección.....	16
2.2 Generalidades concernientes a la detección.....	18
2.3 Teoría de Búsqueda.....	21
2.3.1 Clasificación general de tipos de Búsqueda.....	23

## Capitulo III “Métodos de Probabilidad de Búsqueda y Detección”

3.0 Introducción.....	28
3.1 Curva de alcance lateral.....	28
3.2 Detección de blancos aleatoriamente distribuidos.....	30
3.3 Ancho de barrido.....	32
3.4 Búsqueda aleatoria.....	34

3.5	Exploración aleatoria uniforme.....	39
3.6	Barridos paralelos.....	40
3.7	Exploración aleatoria uniforme.....	40
3.8	Ley Inversa del cubo.....	43
 <b>Capitulo IV “Aplicación de Búsqueda y Detección en Superficie” .....</b>		<b>44</b>
 <b>Conclusiones.....</b>		<b>59</b>
 <b>Anexo A .....</b>		<b>61</b>
 <b>Anexo B .....</b>		<b>68</b>
 <b>Glosario.....</b>		<b>70</b>
 <b>Bibliografía.....</b>		<b>74</b>

## **OBJETIVO:**

Estudiar, desarrollar y aplicar el Análisis de Operaciones Navales, en específico a problemas de Búsqueda y Detección en Superficie; con la finalidad de que una aplicación oportuna de dicho proceso en problemas de este tipo, proporcione al tomador de decisiones los elementos principales del problema y se pueda asesorarlo en la toma de decisiones; así como en la elección de alternativas óptimas.

## RESUMEN

En la actual generación naval el proceso de toma de decisiones, en específico en búsqueda y detección de una embarcación, ha pasado a ser no solamente una de las funciones más importantes de cualquier operación naval, sino que ha alcanzado la importancia de una ciencia con la cual se debe estar familiarizado.

Los problemas navales relacionados con búsqueda y detección son de suma importancia, debido a las consecuencias que podría originarse si se tomara a la ligera una decisión de este tipo.

Es importante mencionar que existen problemas de Búsqueda y Detección terrestres, marítimos y aéreos, pero el principal objetivo del presente trabajo de investigación, se enfocara únicamente a los problemas marítimos (superficie), debido a la importancia y recursos con los que se cuentan en las Armadas.

El Análisis de Operaciones es fundamental para todo oficial naval, ya que le proporciona una base cuantitativa que le encamina, de una manera lógica, a la elección de la alternativa óptima, le ayuda a alcanzar mayor conocimiento de las características esenciales y factores involucrados en todo problema naval, por lo que durante su aplicación se toman las decisiones más importantes de dicho proceso. Por ende, el presente trabajo está destinado a mostrar la utilidad de las técnicas y métodos del Análisis de Operaciones aplicables a problemas específicos de Búsqueda y Detección en superficie del ámbito naval, lo cual proporcionará más elementos de juicio en la toma de decisiones.

Las técnicas y métodos del Análisis de Operaciones tienen muchas aplicaciones, existen un sin fin de problemas que se pueden resolver con ellos. Los problemas de navales son de diversa índole, en el presente trabajo se circunscribirá a un problema en específico de Búsqueda y Detección en Superficie, por ser un tipo de problema naval representativo.

Por ultimo cabe mencionar que los problemas navales de búsqueda y detección, no han sido difundidos con mayor amplitud en México, pues no existe bibliografía que aborde este tipo de aplicaciones y no es muy conocido por los individuos, lo cual hace todavía mas importante la presente investigación.

## INTRODUCCION:

Los problemas de toma de decisiones se presentan en casi toda las facetas de la vida. Las decisiones que se tomen, para dar solución a estos problemas, afectan a muchas personas, grupos de interés, empresas u otras entidades, por lo que debe considerarse un aspecto de suma importancia, debido al grave problema que podría generar si se tomara una decisión a la ligera y por simple intuición. La intensidad del impacto, debido a los cambios ocasionados por las decisiones, depende de su vinculación a los aspectos significativos del sistema en el que se enmarca el problema. La toma de decisiones tiene dos concepciones: "**la acción de elegir entre varias alternativas y el proceso que se realiza en el marco de la evaluación**<sup>1</sup>". Las características del ámbito y propias del problema, conllevan a determinar el modelo que se utilice.

Al tomar una decisión debemos basarnos no sólo en la experiencia, sino en cómo adaptar esta experiencia al problema actual, con el fin de obtener resultados óptimos. Para resolver estos problemas, se requiere, además de una mente clara y lógica, un planteamiento del problema que ayude a obtener las conclusiones correctas y que nos evite el olvido de cualquiera de los elementos principales que intervienen en tal problema. Esto exige naturalmente, tener los conocimientos suficientes sobre todos los campos y variables que juegan un papel en el problema.

Han existido a lo largo del tiempo numerosos métodos que ayudan al planteamiento y obtención de la solución de un problema determinado. Estos métodos incluyen una evaluación de la situación, numerando todos los factores y su importancia relativa.

En numerosos problemas, la experiencia del tomador de decisiones y su juicio, son suficientes para predecir con cierta seguridad los resultados de cada alternativa sopesando sus méritos relativos.

En otras situaciones, los elementos que intervienen son tan numerosos o complicados que son necesarias nuevas técnicas o procedimientos de evaluación. En estos momentos interviene el Analista de Operaciones, el cual conoce los métodos de medición de la efectividad de las diferentes alternativas; proporcionando una base al tomador de decisiones para obtener una alternativa para decisión adecuada a las necesidades de una problemática.

---

<sup>1</sup> Ernesto Moreno Ramírez, "Técnicas para la toma de decisiones", Limusa, México, 1991.

Casi no es viable imaginar un campo de mayor trascendencia para el humano que el de la toma de decisiones. La toma de decisiones es también una ciencia aplicada que ha adquirido notable importancia y es el tema principal del Análisis de Operaciones. La buena toma de decisiones permite vivir mejor. Nos otorga algo de control sobre nuestras vidas, como dijo Harry Truman: ***"Toda mala decisión que se toma va seguida de otra mala decisión"***<sup>2</sup>.

En el ámbito Naval, las Operaciones Navales han llegado a ser tan complejas como el propio equipo utilizado.

El oficial naval, en otras épocas, consideraba únicamente la navegabilidad de sus barcos, la experiencia de su tripulación y el estado de la mar. La bóveda celeste era su guía y el horizonte marcaba el límite de sus observaciones. Estaba imposibilitado para detectar cualquier objeto que se hallara más del horizonte y pudiera realizar una toma de decisiones más confiable.

En la actual generación naval, el proceso de toma de decisiones en específico en búsqueda y detección de una embarcación ha pasado a ser, no solamente una de las funciones más importantes de cualquier operación naval, sino que ha alcanzado la importancia de una ciencia con la cual se debe estar familiarizado.

Es importante mencionar que existen problemas de Búsqueda y Detección terrestres, marítimos y aéreos, pero el principal objetivo del presente trabajo de investigación, se enfocara únicamente a los problemas marítimos (superficie), debido a la importancia y recursos con los que cuenta México.

En el ámbito naval el tomador de decisiones (militar), en la resolución de problemas de búsqueda y detección de blancos en superficie; actualmente realiza dicha actividad con un manual de procedimientos ya establecido, el cual se utiliza dependiendo de las condiciones de búsqueda, del tipo de blanco a detectar, la velocidad del viento y de la corriente marina, estado de la mar, etc. Este manual de procedimientos esta clasificado como confidencial, es decir que no cualquier persona puede utilizarlo, es por ende que surge la idea de utilizar el análisis de operaciones navales, para que cualquier persona que lo desee pueda entender y resolver en un momento dado

---

<sup>2</sup> <http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/040924180447.html>



un problema de búsqueda y detección sin necesidad de consultar dicho manual, asimismo con la finalidad de asesorar al encargado de tomar una decisión sin necesidad de ser militar.

La teoría de Búsqueda y Detección, es un recurso relevante en el Análisis de Operaciones Navales que se implementa para el Proceso de Toma de Decisiones.

En relación a lo anterior surge el principal propósito del presente trabajo de investigación; el cual es realizar un estudio, desarrollo y aplicación del Análisis de Operaciones Navales, en específico una aplicación de un tipo de problema de Búsqueda y Detección en Superficie<sup>3</sup>; con la finalidad de que la aplicación oportuna de dicho proceso en problemas Navales de Búsqueda y Detección en superficie; proporcione al tomador de decisiones los elementos principales del problema y se pueda asesorarlo en el proceso de toma de decisiones; así como en la elección de alternativas óptimas. Para dar cumplimiento a este propósito, se realizara un análisis, desarrollo y aplicación de los métodos en específico de Búsqueda y Detección en Superficie, lo cual proporcionara: Un conocimiento sobre el Análisis de Operaciones en si mismo y un conocimiento sobre ciertas tácticas navales (Búsqueda y Detección en Superficie).

Las decisiones racionales generalmente se toman sin darnos cuenta, quizás de manera inconsciente. Lo mejor es aprender el proceso de toma de decisiones para decisiones complejas, importantes y criticas.

La estructura general que tiene el presente trabajo de investigación es: En el **capítulo I**, se describen los conceptos básicos y fundamentales del Análisis de Operaciones. En el **capítulo II**, se desarrollan los conceptos principales de los elementos que intervienen en los procesos de Búsqueda y Detección en Superficie. En el **capítulo III**, se realiza una descripción a detalle de los métodos existentes de búsqueda en superficie para los Procesos de Operaciones Navales. En el **capítulo IV**, se realiza una aplicación de los métodos de Búsqueda y Detección en Superficie en un problema real del ámbito naval y por ultimo se hacen conclusiones, en donde se describirán los parámetros fundamentales que demuestran la importancia del Proceso de Toma de Decisiones en las Operaciones Navales.

---

<sup>3</sup> En el ámbito naval se entiende la teoría de Búsqueda y Detección como el proceso de búsqueda de naves perdidas, enemigos o la ausencia de blancos (en este trabajo de tesis será en específico en superficie). En Búsqueda y Detección en Superficie la herramienta como medio de detección a utilizar, será el radar (que se describe ampliamente en el anexo A) y los optronicos.

## CAPITULO I

### ANALISIS DE OPERACIONES NAVALES

#### INTRODUCCION

El Oficial Naval de Marina de cualquier Armada, debe dirigir, tanto en guerra como en paz las operaciones de la Marina. Debe realizar no solamente trabajos específicos por sí mismo, sino que también le corresponde la planificación y organización de todo aquello que sea necesario para alcanzar la misión que se le ha encomendado.

El hombre preparado en los distintos aspectos que componen el cuadro de un buen ejecutivo, es apreciado en cualquier tipo de organización o empresa y no solamente en la milicia. Entre estos aspectos sobresale por su importancia, la habilidad en la toma de decisiones oportunas y de señalar los aspectos más importantes de toda operación. Realmente, la experiencia es un elemento esencial, sin embargo, nunca podremos esperar que un oficial naval o cualquier otro ejecutivo, experimente por sí mismo todas las situaciones que se le puedan presentar en el futuro. En la resolución de un problema nuevo, la decisión necesaria para escoger cualquiera de las posibles alternativas que nos conduzcan al cumplimiento de la misión, estará influenciada por diversos factores.

Esto nos exige naturalmente tener los conocimientos suficientes sobre todos los campos y variables que juegan un papel en el problema.

Han existido a lo largo del tiempo numerosos métodos que ayudan al planteamiento y obtención de la solución de un problema determinado. Estos métodos incluyen una evaluación de la situación, numerando todos los factores y su importancia relativa.

En numerosos problemas, la experiencia del tomador de decisiones y su juicio son suficientes para predecir con cierta seguridad los resultados de cada alternativa, sopesando sus méritos relativos. En general, los elementos que intervienen son tan numerosos o complicados que son necesarias nuevas técnicas o procedimientos de evaluación, que están más allá de los conocimientos que se piden a la mayor parte de los oficiales navales. En este caso interviene el Analista de Operaciones, el cual maneja o tiene conocimiento de las técnicas de medición de

efectividad para las diferentes alternativas, proporcionando una base al tomador de decisiones para que éste pueda escoger la más adecuada.

## 1.1 ANTECEDENTES

En la Segunda Guerra Mundial al existir complicaciones en las operaciones militares, se hizo necesario el empleo de analistas de operaciones, para optimizar sus recursos y alternativas de acción. Estos científicos realizaron un trabajo excepcional, ya que aplicaron métodos científicos a problemas que a primera vista no eran susceptibles de estudio. **La mayor parte de estos analistas eran técnicos civiles, lo cual marcó la colaboración civil-militar en un campo que hasta entonces había sido exclusivo del quehacer militar;** esto no implica que los oficiales a los que afectaban estos problemas fuesen incapaces de resolverlos por sí mismos, sino que aprovecharon nuevas técnicas de reciente desarrollo. En la Marina Norteamericana, oficiales de alta graduación llamaron junto a sí a estos científicos, consiguiendo una gran eficacia en el desarrollo de nuevos sistemas de armas y en general, hicieron que la tecnología militar tuviera un desarrollo tan rápido como nunca lo había tenido hasta entonces. El haber llamado a estos técnicos civiles no quiere decir que ellos no fuesen capaces del estudio de estas nuevas técnicas, sino que debido a la gran amplitud de sus misiones no tenían tiempo suficiente.

Una de las partes fundamentales del Análisis de Operaciones es la Investigación de Operaciones, disciplina que surgió con dicho nombre como un esfuerzo por mejorar la dirección de Sistemas Organizados en la aplicación de conocimientos de matemáticas a problemas específicos del ámbito militar. Empezó como una disciplina separada, sin embargo en 1937 en Gran Bretaña, como resultado de la iniciativa de A.P. ROWE, superintendente de la Bawdsey Research Station, reunió a científicos británicos para enseñar a los tomadores de decisiones militares cómo usar, el recientemente desarrollado del radar para localizar aviones enemigos. Durante 1939 la Real Fuerza Aérea comenzó esfuerzos por mejorar el rango de detección del radar, a fin de aumentar el tiempo entre la primera advertencia proporcionada por el radar y el ataque por avión enemigo.

## 1.2 EL ANALISIS DE OPERACIONES<sup>4</sup>

Como se ha visto, el Análisis de Operaciones se ve fortalecido con la inclusión de la Investigación de Operaciones, además en los últimos años han surgido nuevas técnicas y métodos que proporcionan al tomador de decisiones, una base útil sobre la cual puede elegir o tomar una decisión en busca de la alternativa óptima. Estas técnicas incluyen entre otras, Análisis de Sistemas, Administración, Diversas ingenierías, Teoría Económica, etc. La diferencia entre el Análisis e Investigación de Operaciones es muy sutil, sin embargo, es fundamental esclarecerla para marcar la diferencia entre misión y responsabilidad de cada uno. Dicha diferencia radica en que el **analista de Operaciones, es el encargado y responsable de preparar las diferentes alternativas para la toma de decisiones y el Investigador de Operaciones, es el que proporcionará una base cuantitativa de estas alternativas**. El analista está interesado en la planificación de soluciones prácticas de futuras operaciones navales, dado un conjunto de datos específicos. El investigador de operaciones estará a su vez, interesado en la ponderación entre causa y efecto, experimentando en laboratorio con una serie de condiciones diferentes que pueden ser reales o hipotéticas. La tarea del investigador de operaciones, es descomponer el problema en sus elementos básicos, valiéndose de todos los métodos y técnicas matemáticas disponibles para encontrar las soluciones óptimas a los problemas planteados.

El interés de cualquier Armada por la investigación de operaciones, es por la gran utilidad que se deriva de este campo y se ha considerado conveniente que el tomador de decisiones no solamente conozca, sino que comprenda la utilidad de estos nuevos métodos. Las operaciones antisubmarinas y en superficie, tienen un interés particular para el analista de operaciones, por ser un área en la cual a habido un indudable desarrollo desde el fin de la Segunda Guerra Mundial.

Para este tipo de operaciones navales, se utilizan en específico dos tipos de sensores para realizarlas, los cuales son el sonar y el radar respectivamente. El sonar juega un papel importante en la búsqueda y detección de submarinos u otras armas de inmersión y el radar es un instrumento

---

<sup>4</sup> Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, "Naval Operations Analysis ", Naval Institute Press, Third Edition, United States of America, 1999.

primordial en operaciones de búsqueda y detección en Superficie; que es la herramienta que en el presente trabajo de investigación se estudiara, debido a la delimitación del tema.

El analista y el investigador de operaciones, estudian este campo bajo dos puntos de vista diferentes. Al analista le interesa el desarrollo y la evaluación de planes específicos de acción, mientras que al investigador le interesa la modelación entre causa y efecto en casos hipotéticos de guerra naval, comprobando no sólo la interrelación de los factores, sino también como influirán posiblemente las diferentes tácticas o armas en la efectividad de la exploración, búsqueda o ataque en las diferentes condiciones ambientales.

Al considerar un problema encontramos que ciertas variables pueden ser controladas, tales como la velocidad de búsqueda, el alcance de detección de los sensores, condiciones de la mar, etc.; en tanto que otras se encuentran más allá de control alguno, pero quizás en un futuro puedan controlarse, ya que la investigación avanza a grandes pasos. Por otro lado, el investigador de operaciones está en algún grado obligado a la enseñanza de sus métodos. Por lo que este trabajo de investigación se abocará a estudiar algunos de los medios o métodos que utiliza el investigador de operaciones y que deben ser conocidos por el analista de operaciones. Tanto el analista como el investigador de operaciones, están unidos por el objetivo común de proporcionar al tomador de decisiones una base cuantitativa sólida, que le sirva a éste para elegir la alternativa idónea. Para proporcionar esta base requiere utilizar métodos científicos, que den objetividad y que hagan posible verificar los resultados. Estos métodos emplean técnicas matemáticas que ponderan los diversos elementos y aspectos del problema.

Es importante recalcar que la misión del analista de operaciones, no es presentar una decisión al tomador de decisiones, sino exponer los elementos principales del problema en sus reales dimensiones.

En el estudio y elección de la táctica óptima, el tomador de decisiones puede, basándose en su experiencia, relegar una táctica en favor de otra menos exacta pero más factible. De forma muy general, se puede decir que el Análisis de Operaciones únicamente se encargara de proporcionar solamente los factores objetivos.

En este trabajo de investigación se utilizará el término "análisis de operaciones" en su más amplio sentido. Una definición clásica del Análisis de Operaciones es:

***"Un método científico que proporciona al tomador de decisiones una base cuantitativa que le ayuda a tomar la decisión adecuada"***<sup>5</sup>.

Esta definición será suficiente como definición de trabajo, ya que señala los aspectos esenciales y las características que se reconocen como una aplicación científica por propio derecho.

### **1.3 EL ANALISIS DE OPERACIONES EN EL AMBITO NAVAL**

La aplicación del Análisis de Operaciones en las diferentes actividades de la Marina, ha sido muy limitada hasta la fecha. Asimismo el personal especialista en esta materia es mínimo.

Antes de empezar con el estudio detallado de la naturaleza del Análisis de Operaciones y su significado para el oficial naval, será útil colocarlo en una perspectiva actual. La organización del Análisis de Operaciones desarrollado en muchas marinas durante la Segunda Guerra Mundial, continuó al final de las hostilidades, permaneciendo en ese trabajo muchos de sus pioneros. En los años que siguieron inmediatamente a la guerra se hizo evidente que este trabajo no debía ser confiado exclusivamente a civiles. Tan capaz, técnicamente como un científico, el oficial naval posee una característica vital en la apreciación de las sutilezas de muchos problemas militares, así como, un espíritu más realista. Esto se debe a la mejor comprensión del conjunto del ambiente operacional, así como a su mejor apreciación de los factores, gracias a su propia experiencia. Cada vez se hizo más ostensible la diferencia entre el oficial naval que conocía el problema, pero no tenía un conocimiento científico suficiente para atacarlo analíticamente y/o exponerlo en términos cuantitativos, sin embargo el científico civil, tenía competencia matemática, pero no la necesaria profundidad en la apreciación de los factores sutiles del problema. Esta diferencia se hizo más evidente al poseer los oficiales navales una gran experiencia personal y se resolvió especializándose ellos mismos en el Análisis de Operaciones, llegando a ser capaces de analizarlo o bien a guiar a los analistas civiles en determinadas áreas, en las cuales, era necesario un excesivo conocimiento científico. La marina americana estableció en 1951, el Análisis de

---

<sup>5</sup> Op cit 3 Pág 4

Operaciones como una especialidad, convirtiéndose así en el primer ejército que reconocía esta necesidad, permaneciendo al frente aun en estos tiempos.

En la actualidad el Análisis de Operaciones se emplea en:

- A.** La investigación y desarrollo de misiles, aviación naval, asignación de personal, planes de seguridad, etc.
- B.** La evaluación operativa de los equipos y tácticas de las unidades aeronavales.
- C.** En el diseño y desarrollo de equipos navales y de los diferentes grados de alistamiento de los buques.
- D.** La determinación de las necesidades presentes y futuras a corto y largo plazo de la fuerza naval.
- E.** En la determinación del control y responsabilidad en el señalamiento de las necesidades de la Marina.

El número de científicos integrados en la organización de Análisis de Operaciones, ha crecido a la vez que, se han ido ampliando sus aplicaciones a un mayor número de operaciones navales. Algunos proyectos de Análisis de Operaciones están encargados a organizaciones privadas de investigación que trabajan en régimen contractual. Tales organizaciones pueden ser laboratorios de física aplicada o centros de investigación dependientes de universidades o escuelas especiales, alguno de los cuales han conseguido gran renombre en este campo; la marina ha venido desarrollando un departamento de Análisis de Operaciones, formando a sus técnicos tanto en escuelas nacionales como extranjeras, pero sin prescindir de las organizaciones privadas que siguen siendo de gran valor en determinadas áreas. Hoy en día se tiene la certeza de que es fundamental en la educación de todo oficial naval, el estudio de los fundamentos del Análisis de Operaciones, ya que, se puede decir, sin temor a error, que su aplicación en los problemas navales irá en aumento con los años, debido a que los sistemas de armas son cada vez más complejos, el costo de los errores continuarán creciendo exponencialmente y finalmente, que habrá que ir adoptando nuevos conceptos y técnicas que no han sido probados en combate y que están siendo suministrados por los grandes avances tecnológicos.

#### **1.4 EL ANÁLISIS DE OPERACIONES Y EL OFICIAL NAVAL.**

El Análisis de Operaciones se caracteriza por ser fundamental para el oficial naval, debido a que:

- A.** Le suministra una base cuantitativa que le encamina, de una forma lógica, a la elección de la alternativa óptima.
- B.** Por la mayor profundidad que se alcanza en el conocimiento de las características esenciales y factores involucrados en todo problema naval.
- C.** Como preparación para una posterior especialización en este campo.
- D.** Por su contribución al mejor entendimiento de los estudios hechos para y por la marina.

La objetividad de un proceso lógico analítico ha sido siempre importante para un oficial naval, pero su necesidad se ha hecho imprescindible, más que nunca en la época actual. La historia nos muestra la gloria de jefes militares que han seguido su intuición más allá de la razón y se han encontrado con grandes éxitos. Sin embargo, contemporáneos suyos, que siguieron el mismo criterio, obtuvieron también grandes derrotas.

Un factor importante del Análisis de Operaciones, es que permite aprender de una forma lógica y ordenada a resolver los problemas cotidianos. Quizás en algunos casos, no puedan ser aplicadas las técnicas analíticas, pero el pensamiento educado y lógico de un analista de operaciones nos dará posibles soluciones con mucha mayor rapidez.

El Análisis de Operaciones al basarse en el estudio de los hechos fundamentales y no de los accidentales que interviene en un problema y también porque considera la naturaleza probabilística de los hechos, proporciona un método de singular valor en el desarrollo, por parte del oficial naval con esta visión.

La importancia del Análisis de Operaciones, para el tomador de decisiones en particular, es notoria; ya que sobre él descansa directamente la esencia de sus actuaciones en cualquier campo de las ciencias militares y por lo tanto le da la habilidad para comprender y entender los problemas navales.



## 1.5 MÉTODO DEL ANÁLISIS DE OPERACIONES<sup>6</sup>.

El *Análisis de Operaciones* consiste "en el uso de métodos analíticos y cuantitativos para un estudio sistemático de los datos relacionados con las operaciones de cierta rama en función del tiempo. Asimismo implica la abstracción de un problema del ambiente global (macro), para luego descomponerlo en sus elementos (micro)"<sup>7</sup>.

El Análisis de Operaciones, consiste esencialmente en la aplicación de un método científico para resolver los problemas operacionales. Sin entrar en discusión sobre lo que constituye un método científico, es razonable establecer que, donde se ha aplicado con éxito el Análisis de Operaciones, nos muestra una forma general de planteamiento de un modelo consistente. A este modelo se le llama método de Análisis de Operaciones.

Esto no significa de ninguna manera, que dicho método sea un algoritmo matemático "resuélvelo todo" o una panacea, sino más bien, que se trata de un método que se halla en diferente estado de desarrollo según el problema que trate de resolver.

El método a seguir en el Análisis de Operaciones puede describirse en los siguientes términos:

### A. Formulación del problema a través de:

1. Determinación de los objetivos de la operación involucrada.
2. Enumeración de todas las alternativas.
3. Definición de un Medida de la efectividad para cada una de estas alternativas.
4. Determinación y enumeración de todas las variables que deben considerarse.

### B. Solución del problema: Uno sólo o una combinación de los siguientes puntos:

1. Análisis teórico.
2. Análisis estadístico de los datos empíricos (datos de operaciones efectuadas anteriormente).
3. Pruebas, Juicios o ejercicios controlados.
4. Simulación, investigación experimental, modelos físicos, analógicos o digitales de la situación operativa.

### C. Comunicación de los resultados obtenidos.

---

<sup>6</sup> Op cit 3 Pág. 8

<sup>7</sup> Joseph G. Monks, "Administración de Operaciones", Mc Graw-Hill, Primera Edición, México, 1991

La solución de un problema no será completa, hasta que el tomador de decisiones haya sido comunicado de los resultados del análisis, de tal forma que le ayude a tomar la decisión.

A continuación se explicara de forma general, cada uno de los tres puntos mencionados anteriormente del método a seguir en el Análisis de Operaciones.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El punto de partida de toda investigación es la definición adecuada del problema. El proceso de investigación tiene como meta el conocimiento de determinada problemática. Por lo tanto, la definición y planteamiento del problema son vitales en el proceso de investigación y es el fundamento para descubrir adecuadamente:

- A. ¿Cuál es el objetivo** a alcanzar?
- B. ¿Cuáles son las diferentes alternativas** disponibles?
- C. ¿Qué factores (variables)** contribuirán al éxito o fracaso de cada alternativa posible para alcanzar el objetivo deseado?
- D. ¿Qué unidad** se puede y debe usar para medir y comparar la efectividad de cada alternativa?

El planteamiento de un problema, consiste principalmente en contestar a estas preguntas básicas, que no son tan triviales como parecen a primera vista. Las respuestas, frecuentemente, parecen no ser fáciles de expresar por lo que son motivo de amplias discusiones; en los problemas mayores no merecen sólo un estudio superficial, sino un profundo análisis, después del cual, para obtener la solución del problema pueden ser solamente necesarios unos pocos cálculos, o bien, inferir sobre un número suficiente de datos.

“El planteamiento de un problema es reducirlo a sus aspectos y relaciones fundamentales a fin de poder realizar su estudio intensivo”<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>José Luis López Cano;

<http://www.idesaa.edu.mx/materias/seminvestigacion/Planteamiento%20del%20Problema.pdf>

## **EL OBJETIVO DE LA OPERACIÓN.**

Encontrar el objetivo real, es a menudo una de las tareas más difíciles de los problemas operacionales. El objetivo que debe tenerse en cuenta, es el de la persona que tiene la responsabilidad de la decisión; por ejemplo; el objetivo de un jefe militar puede determinarse a menudo estudiando la misión que le ha dado su superior. El objetivo de un hombre de negocios, determinará o al menos tiene que estar de acuerdo con el propósito y los fines de su organización.

En los problemas que involucren una decisión de alto nivel, el análisis puede ser dirigido por los consejeros del ejecutivo o por una empresa de investigación independiente. En ambos casos se debe determinar con toda precisión cuál es el objetivo. Al principio este objetivo puede ser vago pero hasta que no se haya definido con toda claridad, el análisis de la situación no puede continuar.

## **LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS.**

Mientras que el objetivo debe ser determinado siempre en primer lugar, los demás pasos en el planteamiento del problema no siguen siempre una secuencia definida. Aún más, el analista debe considerar cada paso en función de los demás, yendo de uno a otro y volviendo de nuevo al primero. La primera pregunta que se plantea cuando se trata de conseguir una lista de las alternativas es ¿qué limitaciones tiene mi selección? ¿Puedo considerar alternativas que involucren un incremento en hombres, material o equipo, o estoy limitado a diferentes tácticas y métodos de operación utilizando exclusivamente los recursos que tengo a la mano?

A veces, es fácil contestar después del estudio de las variables que intervienen en el problema, pero con frecuencia surge un problema inmediato estando limitadas las alternativas que se pueden utilizar rápidamente y el tiempo que se dispone para su análisis.

En muchas organizaciones existen reglas sociales y morales que eliminan aquellas alternativas que suponen prácticas deshonestas e ilegales o bien que violan las costumbres y normas de vida.

Un procedimiento de estudio, sería hacer una lista de todas las opciones, con las cuales puede esperarse razonablemente conseguir el objetivo. Este procedimiento disminuye la posibilidad de olvidar cualquier alternativa. En algunas ocasiones, un individuo que esté estrechamente relacionado con la operación, encuentra grandes dificultades en la búsqueda de nuevas alternativas diferentes a aquellas que ha usado previamente. Esto puede resolverse, si en vez de uno hay varios individuos con experiencia y conocimientos adecuados del problema a considerar. No existe una forma establecida para descubrir buenas alternativas, aunque las condiciones particulares de un individuo, su ingeniosidad y su experiencia, contribuirán probablemente en gran medida. Obviamente, se presenta una gran dificultad cuando el número de alternativas es tan grande que, hacer una lista completa llega a ser tedioso o imposible. Cuando nos enfrentemos con este problema es conveniente distribuirlas en grupos.

Para comprobar que es válida una alternativa, basta considerar, si ella en sí misma, contiene un significado completo de manera que se alcance el objetivo. Cualquier alternativa que proporcione, solamente parte de los medios necesarios para alcanzar el objetivo, no es ni completa ni válida.

## **LAS VARIABLES.**

Si realizamos una lista con todas las variables o factores que intervienen en un problema determinado, podemos utilizar tal lista para cumplir determinados propósitos:

- A. Sirve como una guía** para saber los datos que deben obtenerse antes de tratar de resolver un problema.
- B. Indica la complejidad** del problema y nos proporciona una ayuda para determinar el método o métodos, que se utilizarán en su análisis.
- C. Evita** que un elemento importante del problema no sea considerado en el estudio del mismo.
- D. Proporciona una guía** que nos ayuda a no omitir ninguna alternativa.

E. **Incluye todas aquellas cantidades** que son útiles para obtener la "Medida de Efectividad"<sup>9</sup>, MOE (Measure Of Effectiveness).

Las variables pueden ser clasificadas en diversas categorías. Unas pueden controlarse o al menos, el tomador de decisiones puede tener algún grado de influencia en ellas. Sobre otras variables puede que no tengamos ningún control. De éstas, algunas tienen valores conocidos y otras pueden estimarse. En general, los resultados de una operación dependen o son función de muchas variables. Simbólicamente se puede expresar como:

$$\text{Resultados} = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

Tiene una importancia fundamental la definición de todas estas variables que intervienen en el problema a considerar. Algunas de ellas podrán ser eliminadas a posteriori, si se demuestra que afectan insignificamente a los resultados. Por medio de este procedimiento podremos ir reduciendo el estudio a lo estrictamente esencial.

Al resolver el problema debemos realizar un "**análisis de sensibilidad**"<sup>10</sup>, con el fin de determinar aquellas variables de las cuales depende principalmente el resultado. Debe tenerse especial cuidado de que los valores asignados a estas variables, fundamente estén determinados o estimados con la mayor precisión posible.

Las variables que se han discutido y considerado hasta este momento, son aquellas cuyos valores pueden ser cuantificados. Existen naturalmente otras variables cuya propia naturaleza las hace muy difíciles (sino imposibles) de cuantificar, como por ejemplo: la moral, el entrenamiento, el clima político, la salud, la inteligencia, la educación, etc. Sin embargo se han desarrollado algunos procedimientos que nos pueden proporcionar un valor cuantitativo, con más o menos exactitud de algunas de estas variables.

## **LA MEDIDA DE EFECTIVIDAD (MOE, Measure Of Effectiveness)**

---

<sup>9</sup> Medida de efectividad: Es una medida utilizada para comparar la efectividad (o sea la capacidad para producir el efecto deseado) de algún proceso, en este caso el de las variables y alternativas de un problema.

<sup>10</sup> Análisis de sensibilidad (que pasa si): Este tipo de análisis muestra lo que suceda si se hace determinado cambio en una de las variables de decisión. El objetivo es ver la forma como se afecta la medida de desempeño; es decir que tan sensibles es la utilidad ante el cambio.

La base de la decisión, esencialmente consiste en predecir y describir los resultados esperados de cada alternativa posible. La decisión del tomador de decisiones al elegir una alternativa, debe basarse en la comparación de los resultados estimados. Si estos son descritos en términos cualitativos, no siempre será posible considerar cada alternativa en función de su efectividad. Surgiría siempre la pregunta: "**¿En qué medida es mejor una alternativa que otra?**". Esta pregunta implica la necesidad de utilizar un método cuantitativo que nos exprese los resultados en cifras. Muy pocas veces es fácil predecir los resultados de una operación y aún más, expresar estos en una forma cuantitativa. La medida utilizada para comparar la efectividad de cada alternativa en función del objetivo se le llama "medida de la efectividad" (MOE).

Por ejemplo: en un problema cuyo objetivo sea detectar un blanco, las posibles medidas de efectividad serían la "**probabilidad de detección**" o el "**tiempo esperado de detección**".

No hay que olvidar que, la MOE debe estar estrechamente relacionada con el objetivo de la operación. El número de submarinos hundidos por mes puede ser una MOE satisfactoria si el objetivo es destruir submarinos, sin embargo, si el objetivo fuese proteger a los barcos de superficie, la alternativa mejor podría ser una en la que quizás se hundiesen menos submarinos.

Otra de las características necesarias de la MOE es que debe ser medible. Debe existir siempre la posibilidad de que, teniendo suficientes datos y haciendo los cálculos necesarios, se pueda determinar su valor para toda alternativa. Aún más, ya que el objeto es proporcionar una base útil para la decisión, estos cálculos deben poder realizarse antes de tomar la decisión, o, al menos, antes de que se ejecute la operación. Estos valores de la MOE son necesariamente valores de predicción. Una vez que se haya realizado la operación es posible comprobar su efectividad, pero desde luego, esta información a posteriori nos puede ayudar en la decisión original, pero tiene un gran valor para otras decisiones futuras.

**En resumen la Medida de Efectividad (MOE) debe:**

- A. Ser medible.
- B. Ser cuantificable y
- C. Decirnos claramente en qué grado (real) se alcanza el objetivo deseado.

## **LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.**

Se ha recalcado que en Análisis de Operaciones el término "solución" no significa exactamente lo que el término normalmente implica. No tiene por qué encontrarse una respuesta al problema, ni del análisis se sigue una decisión automática. La solución consiste únicamente en medir la eficacia y determinar, por ejemplo, la predicción de su valor para cada alternativa.

## **MÉTODOS DE SOLUCIÓN.**

La solución involucra un análisis con el fin de predecir la eficacia de cada alternativa; y nos proporciona un valor cuantitativo de esta eficiencia. Los métodos utilizados en estas predicciones pueden clasificarse en cuatro categorías:

- I. Análisis teórico.
- II. Análisis estadístico con datos empíricos.
- III. Pruebas controladas o ejercicios.
- IV. Simulación.

Normalmente el método de solución será una combinación de dos o más de estos métodos simples. Aún cuando un análisis sea esencialmente teórico, el analista se ve obligado a utilizar parámetros, cuyos factores son función de unos datos empíricos. El método que se utilice en un problema concreto, depende de muchos factores, incluyendo entre ellos la complejidad, cantidad de datos disponibles y la experiencia obtenida en problemas similares, sin olvidar el tiempo ni el talento disponible para su solución.

Todos los métodos se apoyan fundamentalmente, en la utilización de disciplinas matemáticas, tales como: álgebra, trigonometría, geometría, cálculo integral y diferencial, además del cálculo de probabilidades. Otros campos matemáticos, algunos de los cuales han sido desarrollados recientemente, encuentran asimismo aplicación en algunos problemas específicos. Estos campos son la estadística, programación lineal, confiabilidad, teoría de grafos, teoría de colas, econometría, cibernética, teoría de inventarios, teoría de decisiones, teoría de redes, programación dinámica, etc. Aunque las matemáticas proporcionan las herramientas básicas, no es, en sí misma suficiente, ya que es necesario el conocimiento de los fenómenos físicos que

intervienen en el problema, como por ejemplo, la propagación de las ondas sonoras en el agua, cuando se estudia un problema de detección submarina. **Por lo tanto, el análisis de un problema importante puede necesitar de matemáticos, físicos, economistas, psicólogos, ingenieros, etc.**

*En general, la solución de un problema incluye el desarrollo de un modelo matemático que representa, o simula, la operación física. Esta técnica, no es menos peculiar que otras en el Análisis de Operaciones. En los siguientes capítulos estudiaremos los modelos matemáticos que representan, o describen, una operación naval en particular.*

### **COMUNICACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

La solución de un problema no será completa, hasta que el tomador de decisiones haya sido comunicado de los resultados del análisis, de tal forma que le ayude a tomar la decisión. Muchas horas de tedioso análisis y el uso de las más brillantes técnicas matemáticas, pueden ser completamente inútiles, si los resultados obtenidos no son entendibles para el tomador de decisiones, sino únicamente, por los propios analistas. Los informes de un equipo de análisis, son normalmente leídos y comunicados a un gran número de individuos o grupos, con el fin de que los resultados obtenidos puedan ser aplicados en diferentes campos. Algunos de estos grupos pueden necesitar una gran cantidad de detalles técnicos, mientras que otros, requerirán solamente una descripción funcional. Esto nos obliga a mantener un compromiso entre ambas necesidades; la solución yace en la propia organización del material con el que se realiza el informe y en el uso discreto del lenguaje técnico.



## **CAPITULO II**

### **TEORIA DE BUSQUEDA Y DETECCION**

#### **INTRODUCCION**

Después de la Segunda Guerra Mundial, las capacidades de combate de las unidades navales modernas han aumentado considerablemente. Los submarinos nucleares pueden viajar sumergidos mucho más tiempo y a mayor velocidad que los submarinos utilizados en la Segunda Guerra Mundial. Los submarinos en la actualidad pueden sumergirse a mayores profundidades y permanecer ahí un tiempo mayor que cualquiera de sus predecesores. Los misiles han incrementado su potencia destructiva y son capaces de impulsarse a gran distancia. Los aviones modernos utilizan armas y equipo electrónico muy sofisticado, se desplazan a velocidades superiores a las del sonido. Los pilotos de estos aviones requieren de grandes reflejos, puesto que a mayores velocidades se requiere una reacción defensiva y de ataque instantánea.

El objetivo obvio de la búsqueda y detección es impedir las incursiones enemigas antes de que éstas ataquen objetivos estratégicos. Otro aspecto importante, es la localización de barcos a la deriva en alta mar y la detección de barcos no nacionales que incursionan en aguas de patrimonio nacional. También la detección de barcos propiedad de narcotraficantes que tratan de evadir a las unidades de patrullaje de la Marina.

#### **2.1 TEORÍA DE DETECCIÓN**

En las Operaciones Navales, la detección de buques, embarcaciones o cualquier tipo de blanco, en la actualidad ha pasado a ser, no solamente una de las funciones más importantes, sino que ha alcanzado la altura de una ciencia, con la cual debe estar familiarizado todo el oficial naval.

Cualquier acción contra un enemigo debe ir precedida del conocimiento de su presencia y posición.

Todo problema de detección depende de tres grandes factores<sup>12</sup>:

- a. **Las características físicas** del instrumento de detección y del blanco, junto con las condiciones físicas de propagación de la onda y otros fenómenos que intervienen en la transmisión de información entre uno y otro.
- b. **La derrota y la localización** de las unidades de exploración (también llamadas observadores) con relación a la posición prevista y movimiento del blanco (objeto de la exploración).
- c. **La dirección de despliegue** de las fuerzas navales, de acuerdo con las necesidades para enfrentarse con la amenaza de un modo eficaz, esto es alcanzar el mejor resultado posible con las fuerzas de que se dispone.

**La ciencia de la detección, como una rama de la táctica naval**, busca soluciones a los problemas de contacto y seguimiento de fuerzas hostiles o fuerzas que se presume no son amigas. Esta rama de la táctica alcanza su objetivo a través de la aplicación de la ingeniería, física, matemáticas y estadística. Sus conclusiones se establecen en términos de probabilidad, es decir probabilidad de detección.

Este capítulo proporciona las definiciones generales para una mejor comprensión del problema de detección. Los principios tratados y las razones que avalan estos principios son fundamentales para entender este campo de las operaciones navales. Se prestará considerable atención al proceso de detección, en general, para desarrollar los conceptos que más tarde se necesitarán al estudiar los sistemas de detección por radar (ver anexo A).

Un mejor entendimiento de los problemas esenciales de la detección de un blanco, facilitará el desarrollo y eficacia de la exploración, en muchos tipos de operaciones navales. La medida de la eficacia de la detección, puede ser aplicada conjuntamente con el costo, la confiabilidad y otros factores, para comparar la eficacia de diferentes sistemas de detección y poder determinar el empleo de estos sistemas con la mayor eficacia posible.

---

<sup>12</sup> Secretaría de Marina: Dirección General de Organización y Sistemas, Dirección de Investigación de Operaciones. Búsqueda y Detección". Junio 1990.

## 2.2 GENERALIDADES CONCERNIENTES A LA DETECCIÓN.

Se considera **descubierto** “un blanco cuando nos damos cuenta de su presencia y conocemos su posible posición. Notemos que esta definición no considera la detección de objetos que no son de interés para el explorador. La adquisición subsiguiente de información del blanco, se considera como **seguimiento**”<sup>13</sup>.

Asimismo, es necesario comprender que si uno desea información relativa a la ausencia o presencia de un blanco u objeto, es necesario una interacción directa o indirecta entre dicho blanco y el explorador. Esta interacción se da a través de un intercambio de energía entre el objeto y el explorador. Y es que, sencillamente, la naturaleza no tiene otro medio que el de transferir energía, gracias a la cual puede adquirirse la información a una distancia determinada. Es por esta razón por lo que cualquier acción sobre la búsqueda sea por **sonar, radar o visual**, implica una transferencia de energía.

Debe quedar muy claro para el lector, que la detección de un objeto o blanco implica de manera indirecta o directa un intercambio de energía entre el blanco y el “observador” o el que detecta al blanco.

Existen dos categorías de sistemas de sensores para detectar blancos y que son utilizados en guerras u operaciones navales, las cuales son:

- **SONARES:** Instrumentos utilizados en la detección de blancos bajo el agua.
- **RADARES:** Instrumentos utilizados para blancos en superficies y en el aire.

Es importante mencionar que para el desarrollo del presente trabajo de investigación, únicamente se hará una descripción más a fondo del radar, por el tipo de problemática y objetivo que se describió anteriormente.

---

<sup>13</sup> Op cit 7

Un objetivo significativo del análisis con sensores con aplicación en operaciones navales es el siguiente: **encontrar la probabilidad que un sensor determinado detecte un blanco fijado en un instante dado bajo condiciones ambientales determinadas.** Tal probabilidad es denominada la probabilidad de detección de una sola mirada o instantánea. Aunque la probabilidad de detección pueda ser denominada instantánea, ésta puede contribuir en el tiempo e integrada para un intervalo finito posterior de tiempo. Este intervalo posterior es usualmente corto, de pocos segundos para un radar y desde 20 segundos hasta menos de 20 minutos para un sonar.

Hechos básicos que se consideran en todo tipo de búsqueda<sup>14</sup>:

**1. Los blancos no deben de estar demasiado lejos y la línea visual, desde el observador, no debe estar completamente tapada, para que pueda ser vista.** El radar no revelará la presencia de blancos si son adversas las condiciones atmosféricas o el medio ambiente en que se reciben los ecos. En esencia, podemos decir que es necesario conocer las limitaciones intrínseca del equipo o instrumento para detectar y las condiciones externas que limitan aún más las posibilidades de detección del instrumento que se esta utilizando.

**2. Aún cuando las condiciones físicas hagan posible la detección, no debe esperarse ésta, inevitablemente.** La detección es un acontecimiento que, bajo condiciones apropiadas, tiene una probabilidad positiva, que varía de cero a uno. Así cuando el blanco apenas empieza a satisfacer las condiciones físicas de su posible detección, la probabilidad de detección estará muy cerca de cero (al menos cuando el tiempo de observación es limitado). A medida que estas condiciones mejoran, la probabilidad de detección aumenta y puede llegar a ser prácticamente cierta. Sin embargo, la experiencia demuestra que, un objeto perfectamente visible puede no ser encontrado. Aviones en misiones de observación y reconocimiento en días claros y soleados, han pasado cerca de barcos grandes y sin embargo, no fueron detectados.

---

<sup>14</sup> Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, "Naval Operations Analysis ", Naval Institute Press, Third Edition, United States of America, 1999.

Debe tenerse en cuenta constantemente que, todo instrumento de detección se basa en una última consideración: el ser humano; sus éxitos dependen de su entrenamiento, estado de atención y cansancio. Lo que es más, aún con condiciones físicas fijas y constantes pueden tener lugar innumerables fluctuaciones. Por ejemplo, un eco radar cambia su aspecto de un momento a otro con el cabeceo y balanceo constante del barco; los alcances del sonar experimentan oscilaciones, un blanco que puede no ser detectado en un cierto instante puede serlo un momento más tarde.

El reconocimiento de una señal emitida por un blanco y por lo tanto la probabilidad de su detección depende:

1. De que la clase y característica de la señal sea conocida por el observador.
2. De la intensidad de la señal presentada al observador.
3. De la intensidad de otras señales concurrentes conocidas como "ruidos".

El observador que trata de localizar un blanco por medios visuales, radar, sonar, etc., estará utilizando algunos de los dos procedimientos básicos.

1. El observador dirige una sucesión de "vistazos rápidos". Un caso típico es el del eco del radar, el cual, cada barrido proporciona un "vistazo", teniendo lugar varias acciones de este tipo en un tiempo o intervalo específico.
2. Cuando se fija la mira, es decir, el observador está "continuamente mirando", fijando su "mirada" sobre un campo donde pueda estar situado el blanco.

El caso del radar es intermedio, ya que su exploración es rotatoria, pertenecería al primer caso, pero si esta exploración rotatoria, es lo suficientemente rápida y hay una persistencia de imagen en la pantalla, puede ser considerada como de "vista continua".

Del mismo modo, la detección visual por una antena que trabaja despacio en un ángulo grande, pertenece al primer caso más que al segundo. Muy a menudo la clasificación del método de detección depende simplemente, de la que proporciona la más cercana y conveniente aproximación.

### **BARRIDOS SEPARADOS**<sup>15</sup>.

Entiéndase como barrido, una exploración de un área en específico, con la finalidad de detectar un blanco. Por tanto los barridos separados o discretos son exploraciones estadísticamente independientes una de la otra.

### **BARRIDOS SEPARADOS CONSTANTES**<sup>16</sup>.

En el caso especial en que no cambien las condiciones durante la exploración, cada probabilidad de barrido tiene el mismo valor.

### **BARRIDOS CONTINUOS**<sup>17</sup>.

Cuando se realiza una exploración de un área en específico con la finalidad de detectar un blanco y se utiliza un detector de naturaleza continua (sistemas optronicos), permite recibir la información de forma continua, por lo tanto, la detección será posible en cualquier instante durante la exploración.

## **2.3 TEORIA DE BÚSQUEDA**

La **búsqueda** involucra encontrar balsas o botes salvavidas a la deriva, pequeños botes estancados en el agua y algunas veces personas a la deriva con chalecos salvavidas.

Se han desarrollado técnicas de predicción que pueden dar una posición bastante precisa del objeto de búsqueda; he aquí los elementos de la predicción<sup>18</sup>:

- La velocidad del viento y de la corriente marina.
- Forma y tamaño del objeto perdido.
- Estado de la mar.

Con esta información de deriva, se hacen predicciones de la posición del blanco de búsqueda para intervalos de tiempo específicos.

---

<sup>15</sup> Esta definición es resultado de una investigación de campo

<sup>16</sup> Op Cit 10

<sup>17</sup> Op Cit 10

<sup>18</sup> Op cit 9, Pág. 173

El éxito de una búsqueda depende, o es afectado, por uno o varios de los siguientes factores:

- Naturaleza del blanco (el blanco puede ser cualquier tipo de unidad).
- Condiciones ambientales.
- Equipo de detección de que se dispone.
- Táctica empleada.

Las condiciones ambientales consideradas en este tipo de operaciones navales, están representadas no sólo por las condiciones oceanográficas - estado de la mar; condiciones de agua referidas a presión, temperatura, salinidad, etc.; fondo rocoso o aplacerado ,sino también, por las condiciones climatológicas, iluminación dentro y fuera del agua, formación de nubes y muchos otros. Para superar cualquier cambio en las condiciones ambientales existentes y del blanco, se agrupan los blancos en los siguientes tipos básicos:

***Grandes, Medianos y Pequeños.***

Y las condiciones ambientales en:

***Mar Gruesa, Marejada y Calma.***

Las características de los equipos disponibles juegan un importante papel en la búsqueda y detección. Cuánto más poderoso y sensible sea el equipo, mayores serán las probabilidades de llevar a cabo tales misiones. Cuánto mayor sea la confiabilidad y efectividad de los equipos, mayores serán las posibilidades de reducir las consecuencias de una acción.

### 2.3.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE TIPOS DE BUSQUEDA<sup>19</sup>

En el ámbito naval existen diferentes formas de realizar una búsqueda, esto dependiendo del tipo y características del blanco que se quiera detectar, por ejemplo: un buque de superficie, un avión, un submarino, etc.

En la figura 2.1 se esquematiza de forma general la clasificación de búsquedas que se puede realizar.

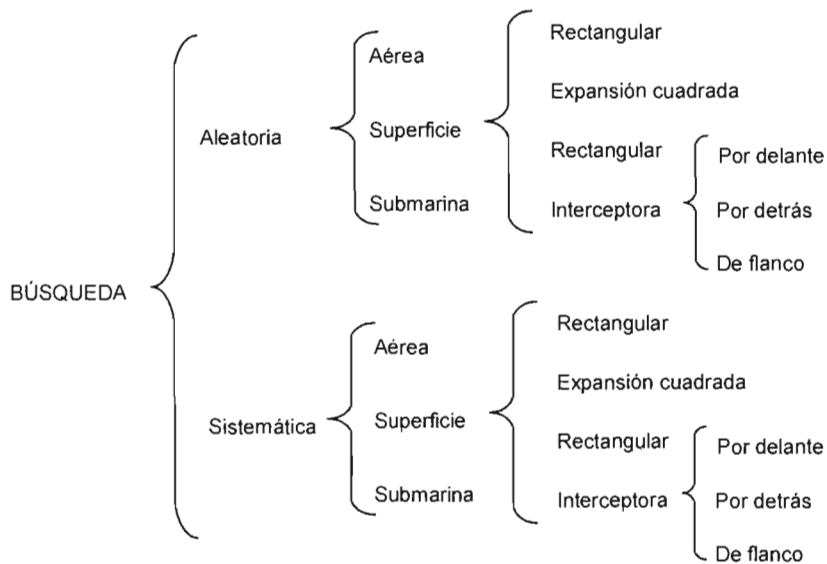


Figura 2.1

Para efectos del desarrollo del presente trabajo de investigación, solamente se enfocara al desarrollo y aplicación de la Búsqueda Aleatoria en Superficie, por lo que es la única que se explicara.

#### **BUSQUEDA ALEATORIA**

Exploración de un área geográfica marítima con la finalidad de detectar blancos o confirmar su ausencia, en donde se asume que éste se encuentra en una posición aleatoria en dicha área. Este supuesto es frecuentemente válido ya que la situación de un blanco no es usualmente conocida y el movimiento del blanco es a lo más estimado. Considerando además que este blanco

<sup>19</sup> Investigación de campo.



tiene alguna posibilidad de ser detectado. De forma general es aquella búsqueda que se realiza cuando se desconocen datos por completos del blanco.

### **BUSQUEDA SISTEMATICA**

Exploración de un área geográfica marítima en donde se tiene cierta información de algunas de las características del blanco a buscar o detectar, no se empieza este proceso de búsqueda con estimaciones, sino que empieza con la poca o mucha información recabada sobre el blanco en estudio.

### **BUSQUEDA ALEATORIA EN SUPERFICIE**

En una búsqueda de superficie en general el explorador sale en busca de un blanco en la superficie de la mar. En este tipo de búsqueda el explorador puede ser: por aviones y buques.

Utilizando únicamente dos tipos de sensores para realizar dicha búsqueda y que son: Los Radares y los optronicos.

Asimismo en la búsqueda de superficie existe una subclasificación, la cual es:

#### **A. Búsqueda Rectangular.**

Es aquella búsqueda en donde se emplean aviones o buques de superficie; cuando una búsqueda a un radio máximo no es de importancia y la información sobre el propósito de la búsqueda es indefinida. Es una búsqueda económica y los exploradores pueden mantener posiciones relativas uno de otro sin dificultad. En la búsqueda rectangular las derrotas de exploración son paralelas y cuando está presente más de un explorador la línea de exploración es normalmente a ángulo recto a las derrotas de exploración.

#### **B. Búsqueda de Sector**

Está destinada a ser empleada principalmente por aviones, para búsqueda a distancia máxima y frecuentemente, asimismo se emplea para proporcionar la alarma más anticipada posible de un enemigo que se aproxima. No es económica, debido a que proporciona una probabilidad de contacto inadecuadamente alta al principio y una probabilidad decreciente cerca de las extremidades en donde frecuentemente se requiere más.

Cada avión vuela tres tramos: un tramo de salida, un tramo transversal y un tramo de entrada.

El giro del tramo de salida hacia el tramo transversal es hecho a una distancia que es menor al radio máximo e igual a la mitad de la separación de derrotas calculada en aquel punto. Antes de girar al tramo de entrada, el avión avanza sobre el tramo transversal una distancia igual a esta separación de derrotas.

### **C. Búsqueda de expansión cuadrada**

Es empleada principalmente por aviones, especialmente cuando se conoce la posición aproximada del enemigo, pero no se tiene conocimiento de su rumbo y velocidad. Puesto que la búsqueda de expansión cuadrada cubre primero el área más probable de detección y luego las áreas exteriores menos probables, particularmente valiosa cuando un contacto anticipado es de consideración primaria. Debido al gran número de rumbos de corta duración durante la primera parte de la búsqueda y la consiguiente dificultad de mantener una derrota exacta sobre el terreno; la búsqueda de expansión cuadrada no es tan eficaz como una búsqueda rectangular correspondiente en el área. Esta limitada a áreas relativamente pequeñas; puesto que es virtualmente imposible coordinar las actividades de dos o más aviones en aquella búsqueda.

### **D. Búsqueda de interceptación**

Esta destinada a un enemigo, cuya posición previa es conocida y cuyos límites de rumbo y velocidad pueden ser supuestos. Este tipo de búsqueda no es empleado por aviones, debido a que su elevado régimen de búsqueda de los aviones por lo general hace innecesario llevar a cabo los procedimientos detallados de una búsqueda de interceptación. Se basa en el supuesto que el enemigo mantiene rumbo y velocidad constante durante toda la búsqueda.

Existen diversos tipos de búsqueda de interceptación:

- Búsqueda por delante.
- Búsqueda por detrás.
- Búsqueda de flanco.

La elección de la búsqueda depende de la posición relativa de los exploradores y del enemigo. Las búsquedas por detrás y de flanco requieren que los exploradores tengan mayor velocidad que el enemigo.

**Búsqueda por delante** es aquella donde la línea de exploración se forma inicialmente sobre una línea en ángulo recto a la derrota más probable del enemigo y con su centro sobre esta derrota y en el punto más avanzado del área probable del enemigo. El rumbo de exploración es la inversa del rumbo más probable del enemigo.

**Búsqueda por detrás** es aquella en donde la línea de exploración se forma inicialmente sobre una línea en ángulo recto a la derrota más probable del enemigo y con su centro sobre esta derrota y atrás del punto menos avanzado del área probable del enemigo.

**Búsqueda de flanco**, es aquella que puede ser efectuada por uno o dos métodos. Búsqueda alejándose de la posición informada del enemigo y búsqueda hacia la posición del enemigo.

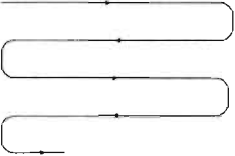
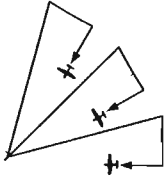
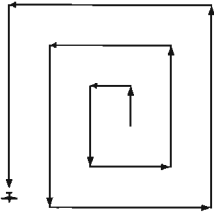
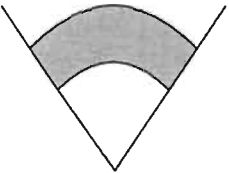
De forma general y específica de todos estos tipos de búsqueda se da en la **tabla 2.1**.

La selección del tipo de búsqueda se dará en consideración al tipo de área a explorar, al tipo de blanco y al ancho de barrido<sup>20</sup> del radar. Asimismo la determinación exacta de la forma y tamaño del área es esencial para el éxito de la búsqueda y es el primer paso en el planeamiento de la misma.

---

<sup>20</sup> Entendiéndose como **Ancho de barrido**, al parámetro que permite medir la capacidad de detección de un sensor en términos de distancia y se representa por **W**. Este concepto establece que cada equipo de detección que rastrea a través de un área, efectivamente barre una anchura. Varía con el medio de búsqueda empleado, la naturaleza y posición del objeto buscado, la velocidad de la búsqueda, las condiciones meteorológicas, la falibilidad humana y del material así como otras variables.

Tabla 2.1

TIPOS BÁSICOS DE BUSQUEDAS				
TIPOS DE BÚSQUEDA	FORMA ESQUEMATICA	TIPOS DE EXPLORADORES	CONDICIONES PARA LA SELECCIÓN	VENTAJAS
				DESVENTAJAS
<p><b>BÚSQUEDA RECTANGULAR</b> Una serie de barridos simultáneos o sucesivos a través del área designada</p>		<p>Aviones, buques de superficie, submarinos o una combinación de estos.</p>	<p>1. El conocimiento de blancos posibles esta limitado a posición aproximada. 2. La búsqueda al radio máximo no es una consideración</p>	<p>1. Económica 2. Los exploradores pueden mantener posición relativa entre si sin dificultad.</p> <p>1. Los blancos en movimiento pueden evitar los barridos sucesivos de un explorador.</p>
<p><b>BÚSQUEDA DE SECTOR</b> Una búsqueda radial de una parte o toda el área circular</p>		<p>Generalmente aviones</p>	<p>1. La búsqueda a la máxima distancia es requerida para proporcionar la alarma más anticipada posible por la aproximación del enemigo. 2. Se busca hasta una distancia en un sector u ruta especificada de la posible aproximación del enemigo.</p>	<p>1. Mas efectiva en las primeras etapas con recubrimiento</p> <p>1. No es económico 2. Los claros en los extremos pueden permitir evasión.</p>
<p><b>BÚSQUEDA DE EXPANSION CUADRADA</b> Un diagrama en el cual una búsqueda rectangular se expande hacia fuera desde un punto</p>		<p>Generalmente aviones pero pueden usarse buques.</p>	<p>1. Se conoce la posición aproximada de un blanco a una hora y el movimiento del blanco es impredecible 2. El blanco debe ser ubicado después que el explorador ha llegado a su última posición informada.</p>	<p>1. Cubre primero el aérea más probable.</p> <p>1. Limitadas a áreas pequeñas 2. El mantenimiento de estación es difícil, generalmente limitada al uso de un explorador.</p>
<p><b>BÚSQUEDA DE INTERCEPTACIÓN</b> Una forma especial de búsqueda de área usado cuando es posible reducir el área a ser cubierta.</p>		<p>Normalmente buques de superficie.</p>	<p>1. Se conocen la posición previa rumbo y velocidad del enemigo dentro de límites razonables de exactitud.</p>	<p>1. Economía en el esfuerzo de búsqueda.</p> <p>1. Se necesita procedimiento en detalle. 2. El éxito depende del rumbo y velocidad que se supone mantiene el enemigo dentro de los límites.</p>

## CAPITULO III

### MÉTODOS DE PROBABILIDAD DE BÚSQUEDA Y DETECCIÓN

#### INTRODUCCION

En la exploración de blancos, con cualquier clase de equipos de detección ocurrirá siempre que el blanco, equipo o ambos a la vez, estén en movimiento. La detección será posible siempre que el movimiento relativo entre el blanco y el detector los acerque suficientemente para que el blanco pase a través de la zona de posible detección.

#### 3.1 CURVA DE ALCANCE LATERAL<sup>21</sup>

La “**curva de alcance lateral**”, es una representación gráfica de la probabilidad de detección de un blanco, el cual pasa a cualquier alcance lateral del radar.

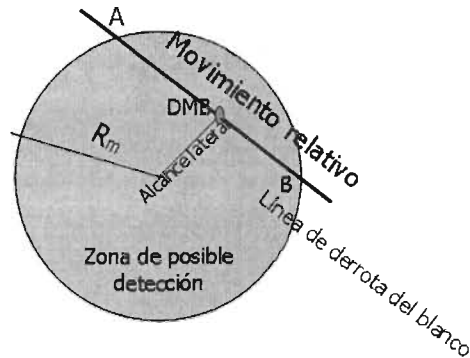
Raramente, el movimiento relativo del blanco será directamente hacia el detector. Generalmente, el blanco se moverá a lo largo de una línea que atraviesa la zona de posible detección del detector. **La distancia mínima del blanco (DMB)** al equipo se ha definido como el **alcance lateral** y también se utiliza para definir la posición de una línea particular del movimiento relativo del blanco, con respecto a un equipo de detección. El alcance lateral, es un parámetro físico normalmente representado por X.

La región o zona de posible detección, es la interior a un círculo centrado sobre el equipo de detección y que tiene un radio igual a la máxima distancia posible de detección  $R_m$ . Una representación gráfica del movimiento se muestra en la siguiente figura.

---

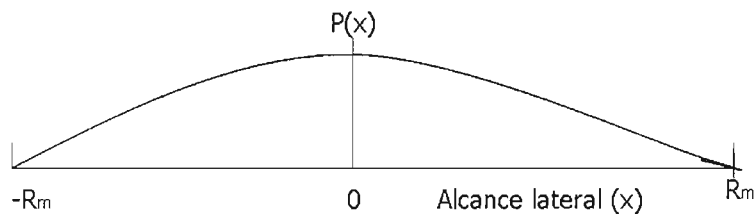
<sup>21</sup> Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, “Naval Operations Analysis”, Naval Institute Press, Third Edition, United States of America, 1999

## Curva de alcance lateral



Supongamos que un blanco se mueve a lo largo de una línea que pasa a un alcance lateral, dentro de una zona de detección. Para un conjunto fijo de detecciones ambientales, la probabilidad acumulada de detectar el blanco se incrementa durante el tiempo que el blanco permanece en la zona.

Esta probabilidad acumulada se le expresa como  $P(X)$ . La representación gráfica de  $P(x)$ , para todos los valores de  $X$ , se le conoce como curva de alcance lateral típica que se representa en la siguiente gráfica



Debe tenerse en cuenta un punto importante, cuando se dispone de una curva de alcance lateral. Esta curva representa la probabilidad acumulada de detección para un **blanco particular**, **bajo un conjunto particular de circunstancias ambientales**, con un **equipo de detección determinado**. Cualquier cambio de las condiciones supondrá una curva de alcance lateral diferente, por lo tanto, cada equipo de detección tendrá una familia de curvas de alcance lateral, cada una de las cuales corresponderá a un tipo de blanco y a una variedad de condiciones ambientales.

El problema de desarrollar y mantener al día un número casi infinito de curvas de alcance lateral, para cada uno de los numerosos equipos de detección de la flota, incluyendo el ojo humano, exploración visual, esta resuelto, agrupando los blancos en tipos básicos, tales como pequeños, medios y grandes y las condiciones ambientales en categorías básicas, tales como mar llana, marejadilla, gruesa, etc., y así se obtienen curvas de alcance lateral para condiciones medias de cada uno de los grupos.

Se observará en el siguiente punto, que es posible hacer aún más sencillo el problema de la tabulación de todas esas curvas de alcance lateral, escogiendo cuidadosamente, una expresión sencilla que represente una curva de alcance lateral completa, haciendo innecesario la tabulación de las curvas en sí mismas.

La curva de alcance lateral, generalmente, se representa por una curva simétrica centrada sobre el equipo de detección, desde el máximo alcance, por una parte, al máximo alcance en la otra. Como se muestra en la figura anterior. Se puede pensar en una plataforma de detección moviéndose a través de un área que contiene blancos potenciales. En este sentido, la plataforma esta **barriendo** esa área. Este concepto se puede aplicar incluso cuando la plataforma es estacionaria y son los blancos los que se mueven, o cuando ambos lo hacen, que es el caso general en las operaciones navales.

### 3.2 DETECCIÓN DE BLANCOS ALEATORIAMENTE DISTRIBUIDOS<sup>22</sup>

Considérese el caso de la búsqueda de un blanco, en el cuál se supone que el blanco esta situado aleatoriamente, en un área que están barriendo los equipos de detección. Esta presunción es generalmente válida, ya que la localización del blanco, ordinariamente no se conoce y su movimiento, en el mejor de los casos, se conoce en un modo estimado. Consideremos que este blanco tiene alguna probabilidad de ser detectado, esto es, su alcance lateral tiene un valor entre  $-R_m$  y  $+R_m$ . Este blanco es tan probable que siga una línea de derrota relativa a través de la zona de detección, a una distancia lateral dada como a cualquier otro alcance lateral. Matemáticamente, esto significa que si la variable aleatoria  $X$  tiene una distribución uniforme de

---

<sup>22</sup> Op Cit 21

probabilidad para todos los valores comprendidos entre  $-R_m$  y  $+R_m$ , por lo tanto se obtiene que, la función de densidad de probabilidad de la variable X es:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2R_m} & \text{si } -R_m < X < +R_m \\ 0 & \text{si } |X| > R_m \end{cases}$$

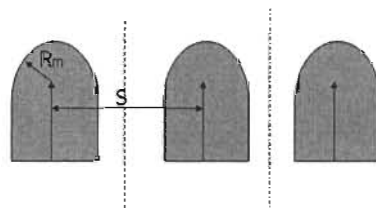
Ahora, recordemos la función P(x), que nos da la probabilidad acumulada de detectar un blanco que pasa a un alcance lateral específico X. La probabilidad de detectar un blanco cuya distancia de alcance lateral se desconoce es el valor esperado de P(x), donde X puede tomar todos los valores posibles de alcance lateral.

$$E[P(x)] = \int_{\text{para toda } x} P(x) f(x) dx$$

En este caso, consideremos que x esta uniformemente distribuido, entre  $-R_m$  y  $+R_m$ , el valor esperado será:

$$E[P(x)] = \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} P(x) dx$$

Lo cual da la probabilidad media esperada de detección de un blanco que atraviesa aleatoriamente la zona de posible detección. En la siguiente figura se representa un caso general.



En este caso, varias unidades exploradoras llevan a cabo un plan de exploración separada a una cierta distancia S (separación entre derrotas), de tal modo que no existen zonas traslapadas de detección, por lo tanto  $S > 2R_m$ . Si el blanco esta situado dentro del área que se explora,



¿cuál sería la probabilidad de detectarlos si pasa a través de la línea de exploradores?. En este caso, llamemos X a la distancia del blanco al explorador más cercano, entonces el valor de X esta uniformemente distribuido entre  $-S/2$  y  $+S/2$  y  $f(x)$  tiene el valor de  $1/S$ . La probabilidad de detección esperada por un explorador sería, considerando la ecuación anterior de la esperanza matemática:

$$E[P(x)] = \frac{1}{S} \int_{-R_m}^{R_m} P(x) dx$$

### 3.3 ANCHO DE BARRIDO<sup>23</sup>

Se puede observar que aparece la necesidad de un parámetro que permita medir la capacidad de detección de un sensor en términos de distancia, este concepto es conocido como **ancho de barrido** y se representa por **W**. Este concepto establece que cada equipo de detección que rastrea a través de un área, efectivamente barre una anchura.

Sería deseable, siempre que fuera posible, designar a cada equipo de detección (radar, sonar, ojo mágico, etc.) con alguna cantidad que sea significativa físicamente. Esta cantidad podría ser la eficacia de alcance en la detección. Otra podría ser el alcance para el 50% de probabilidad de detección; y aún otra podría ser el alcance más allá del cual son detectados tantos blancos como los no detectados a alcances menores. Tal cantidad sería útil; por ejemplo, a la hora de decidir con que alejamiento deben separarse los exploradores para mantener una exploración efectiva. Cualquiera que sea la cantidad empleada, esta tiene que ser definida y comprendida, precisamente por aquellos que la utilizan.

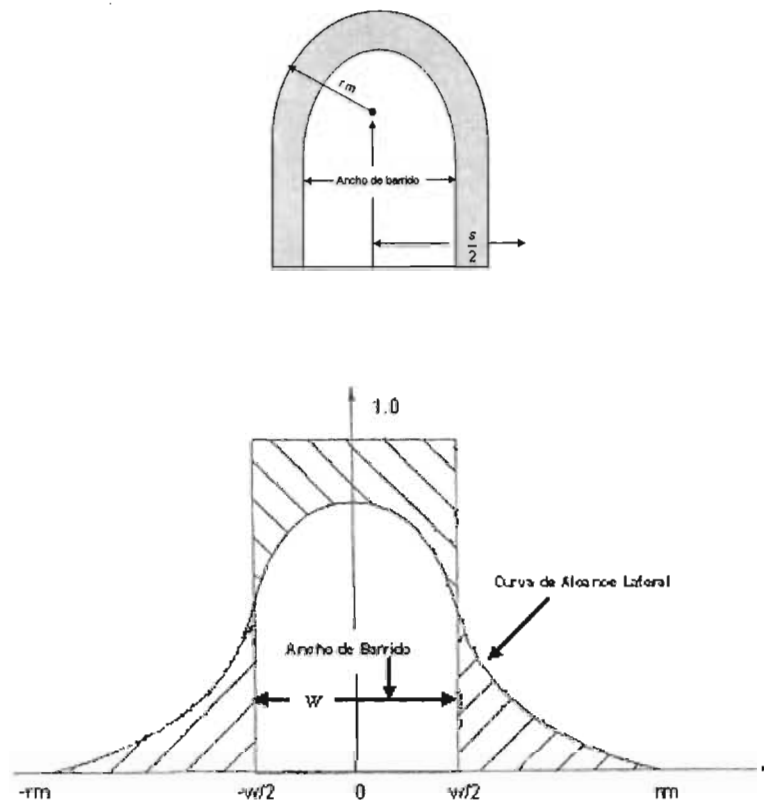
Un concepto ampliamente usado para medir la capacidad del ingenio en relación a la distancia es el **Ancho de barrido**. Este concepto presupone una extensión de cierta anchura, ya que el equipo de detección explora para localizar blancos en un área que éste barra, efectivamente una extensión de cierta anchura. El problema es detectar blancos que pasen a una distancia menor a  $S/2$  por cualquier lado del equipo. En la siguiente figura se muestra solamente, una unidad de exploración, ya que la situación es la misma para todas las demás.

---

<sup>23</sup> Secretaría de Marina: Dirección General de Organización y Sistemas, Dirección de Investigación de Operaciones. Búsqueda y Detección". Junio 1990.

Si todos los blancos dentro del ancho de barrido, fuesen detectados y no lo fuesen los que se encuentran en el área, entonces, la probabilidad de detección de un solo blanco sería precisamente, la fracción de todos los blancos dentro del ancho de barrido, para este caso particular es:

$$P(\text{Detección}) = \text{Ancho de barrido} / S$$



Sin embargo, de la ecuación anterior puede verse que esta probabilidad de detección es la misma que:

$$E[P(x)] = \frac{1}{S} \int_{-Rm}^{Rm} P(x) dx$$

Notemos en este ejemplo que, si solamente fuese conocida el área bajo la curva de alcance lateral, la probabilidad de detección se podría determinar sin hacer referencia a la curva de alcance lateral. La exploración de blancos que puede considerarse como posiciones aleatorias, es

una situación operacional común y nos permite trabajar con una única cantidad: el área de una curva de alcance lateral. Esta cantidad, representada por  $W$  es:

$$W = \int P(x)dx$$

A la hora de medir la eficiencia de un instrumento de detección es importante conocer la forma de la probabilidad de detección. En la ecuación de la probabilidad de detección puede verse que, para una exploración no traslapada, la probabilidad de detección es directamente proporcional al área  $W$ , de la curva de alcance lateral. De ahí que, esta área  $W$ , es una buena medida de la capacidad de detección en si misma.

Por lo tanto, para ser real el ancho de barrido se debe definir en magnitud, al igual que el área,  $W$  de la curva de alcance lateral. El símbolo  $W$  representa entonces, físicamente, el **ancho efectivo de la zona de detección del instrumento**. Su valor se halla calculando el área de la curva de alcance lateral. La probabilidad promedio de detección del blanco distribuido aleatoriamente por medio de instrumentos de detección, cuyas zonas de detección no están traslapadas, es:

$$P\{Detección\} = \int_{-R_m}^{R_m} \frac{P(x) dx}{S}$$

En la práctica, los valores de ancho de barrido  $W$ , se calculan y se tabulan por medio de varios instrumentos de detección, con diferentes clases de blancos y en diferentes condiciones ambientales, sin traslape en las zonas de detección.

### 3.4 BÚSQUEDA ALEATORIA<sup>24</sup>

La búsqueda de un blanco asume que éste se encuentra en una posición aleatoria en un área marítima. Este supuesto es frecuentemente válido ya que la situación de un blanco no es usualmente conocida y el movimiento del blanco es a lo más estimado. Considerando además que este blanco tiene alguna posibilidad de ser detectado.

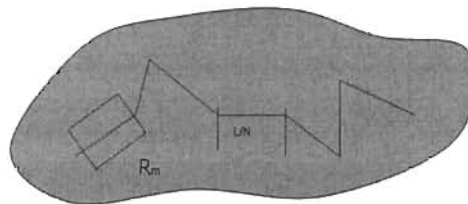
---

<sup>24</sup> Op cit 21

Si consideramos como un supuesto: que tenemos un área geográfica marítima A, un buque como blanco dentro de esa área marítima. Asimismo que este blanco tiene la misma probabilidad de estar en cualquier punto del área y que el sensor de la unidad desarrolla una ruta aleatoria dentro de esa área. Supongamos también que el observador explora el área sin seguir un plan sistemático o metódico. En esta búsqueda aleatoria, ¿cuál es la probabilidad de que la detección tenga lugar, en el tiempo en que el observador navega L millas, dentro de esta área?

Sea  $P(x)$ , la curva de alcance lateral del observador, con este blanco concreto en el ambiente existente. Dividamos la derrota del observador en N segmentos de igual longitud  $L/N$ , que tenga una forma aproximada a la línea recta, como se muestra en la siguiente figura. Para que la detección ocurra en el primer segmento deben tener lugar dos circunstancias. Sea B, el caso en que el blanco esta dentro del área de longitud  $L/N$  y anchura  $2R_m$  (esta área la designaremos por AN) de tal modo que exista alguna probabilidad de detección, y sea C, el caso en el que el blanco se detecta.

Entonces, de la teoría clásica de la probabilidad:



$$P(B) = AN / A = (2RM \ L / N) / A = (2rMl) / NA$$

De la teoría de probabilidad condicional, la probabilidad de que el blanco sea detectado dado que se encuentra dentro del área de longitud  $L/N$ :

$$P(c / B) = P(c \cap B) / P(B)$$

$$P(C \cap B) = P(B)P(C / B)$$

El evento C es el caso cuando el blanco es detectado, el cual únicamente se realizará con la condición de que este en B, es decir, que este dentro del área de longitud  $L/N$  y anchura  $2R_m$ , por lo tanto, B está contenido en C y:  $P(C \cap B) = P(C)$ .

Por lo tanto:  $P(C \cap B) = P(C) = P(B) P(C/B)$ , el significado de  $P(C/B)$  es el valor esperado o valor medio de la probabilidad de detección de un blanco distribuido aleatoriamente.

Es decir  $P(C/B) = E(P(x)) = \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} P(x) dx$

por lo tanto:

$$P(C \cap B) = P(C) = P(B) P(C/B) = \frac{2R_m L}{NA} \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} P(x) dx = \frac{L}{NA} \int_{-R_m}^{R_m} P(x) dx \dots\dots\dots(a)$$

Y como el ancho de barrido es  $W = \int_{-R_m}^{R_m} P(x) dx$  el área bajo la curva de alcance lateral. Puede

expresarse de la siguiente manera:

$$P(C) = \frac{WL}{NA} \dots\dots\dots(b)$$

Y la probabilidad de que la detección no tenga lugar durante una búsqueda aleatoria (en un segmento) sería entonces:

$$P(\text{no detección}) = \left[ 1 - \left( \frac{WL}{NA} \right) \right]$$

Admitiendo independencia en los distintos n eventos, dado que son N segmentos:

$$P(\text{no detección}) = \left[ 1 - \left( \frac{WL}{NA} \right) \right]^n$$

Bajo la misma suposición de independencia de los eventos y dado que la función de efectividad de la búsqueda mide la probabilidad de detección, entonces:

$$P(\text{no detección}) = 1 - \left[ 1 - \left( \frac{WL}{NA} \right) \right]^n \dots\dots\dots(c)$$

Adicionalmente, podemos realizar la siguiente sustitución:

De la ecuación (b) tenemos que:  $P(C) = \frac{WL}{NA}$  que es la probabilidad de detección del blanco, por

lo tanto la probabilidad de no detección sería:

$1 - P(C) = 1 - \frac{WL}{NA}$ ; suponiendo los N segmentos y la independencia de cada uno de los eventos:

$$\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^n = P(\text{no detección})$$

Realizando algunos trucos matemáticos, tenemos que

$$\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^n = e^{N \ln\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)}, \text{ observe que no se ha hecho nada.}$$

Si hacemos la consideración que  $\frac{WL}{NA}$  es muy pequeña, tenemos que:

$$\ln\left(1 - \frac{WL}{NA}\right) = -\frac{WL}{NA} \dots\dots\dots(d), \text{ por lo tanto:}$$

$$\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^n = e^{N \ln\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)} = e^{N\left(-\frac{WL}{NA}\right)}$$

Sustituyendo la ecuación anterior en (c) podemos tener que:

$$P(\text{Detección}) = 1 - \left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^n$$

$$P(\text{Detección}) = 1 - e^{N\left(-\frac{WL}{NA}\right)}$$

$$P(\text{Detección}) = 1 - e^{-\frac{WL}{S}} \dots\dots\dots(e)$$

Con tal que la fracción cubierta del área efectiva de cada segmento sea pequeña.

La ecuación (e) puede ser expresada en términos del ancho de barrido, resultando:

$$P(\text{Detección}) = 1 - e^{-\frac{W}{S}} \dots\dots\dots(f)$$

A la cantidad  $W/S$  se le conoce como **factor de barrido**.

La formula final de la probabilidad de detección de una búsqueda aleatoria de un avión, considerando la expresión (e), es:

$$P\{Detección\} = 1 - e^{-\frac{WVt}{A}} \dots\dots\dots(g)$$

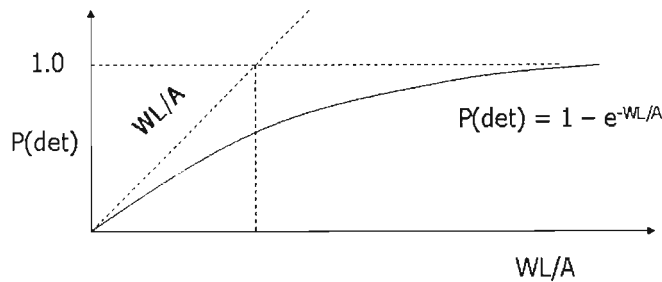
Al analizar la formula final de la probabilidad de detección, se observa que la probabilidad de detectar a un blanco esta en función del **ancho de barrido, la velocidad de la plataforma V que monta al sensor y del tiempo t** utilizado en la búsqueda considerando un área A determinada.

El análisis desarrollado anteriormente esta basado en las siguientes consideraciones que siempre deben ser tomadas en cuenta:

1. La posición del blanco esta aleatoriamente distribuida en A
2. La exploración se realiza de una forma aleatoria, tal que, sus segmentos individuales pueden ser considerados independientes.
3.  $2R_m$  es pequeño comparado con  $L/N$ , de tal forma que pueden despreciarse las áreas no barridas y las traslapadas de cada segmento.

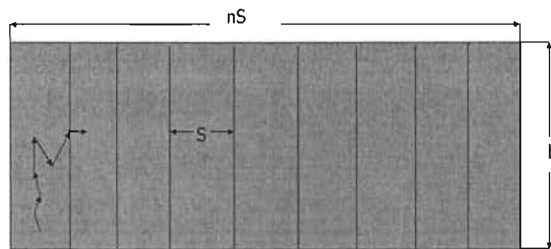
La importancia de este modelo no es que presente un tipo particular de exploración operacional, sino que representa una exploración teórica, en la cuál se tiene la mínima información del blanco y no se emplea una exploración sistemática. De aquí que, en el caso en que se sepa algo más sobre el blanco y se emplee una exploración sistemática, el mismo esfuerzo proporcionará una probabilidad de detección más alta. A la cantidad  $WL/A$  se le llama **factor de cobertura (relación del área barrida al área total)**. Este factor de cobertura mide el esfuerzo empleado en la exploración y puede tener valores de uno en adelante, en exploradores donde es necesario una probabilidad de detección alta.

La siguiente figura muestra de que forma la probabilidad de detección acumulada de una búsqueda aleatoria se incrementa con el factor de cobertura, se puede ver que, cuando el factor de cobertura es pequeño, la probabilidad de detección tienen aproximadamente, su mismo valor; cuando aumenta el factor de cobertura esta probabilidad se acerca a la unidad, mostrando un efecto de saturación debido, en parte, al incremento de área de barrido traslapadas.



### 3.5 EXPLORACIÓN ALEATORIA UNIFORME

Otro caso de búsqueda aleatoria, con el fin de ver un nuevo aspecto del factor de cobertura. Supongamos que el área de exploración esta dividida en  $n$  zonas de anchura  $S$  y longitud  $b$ , tal que,  $A = nSb$ . La siguiente figura muestra gráficamente el área de exploración.



Supongamos que el explorar trata de cubrir esta área de una forma más uniforme, realizando una búsqueda aleatoria en cada una de las zonas pequeñas. Una cobertura equivalente del área se obtendrá utilizando  $n$  exploradores para cubrir dicha área. En esta exploración, que consideraremos en el siguiente punto, cada observador navegaría una distancia  $b$  y el camino total en el área explorada sería  $nb$ .

Para que sean comparables los esfuerzos totales de búsqueda, hagamos  $nb$  la extensión total de búsqueda, para esta exploración aleatoria uniforme. Si el observador emplea igual tiempo en cada franja, la extensión explorada en cada una sería  $b$ , pero conducida aleatoriamente, como se muestra en la figura anterior. Ahora,  $L = nb$  y  $A = nSb$ , de tal modo que el factor de cobertura es:

$$\frac{WL}{A} = \frac{Wnb}{nSb} = \frac{W}{S}$$



Por lo tanto, para la detección de una búsqueda aleatoria la ecuación nos daría:

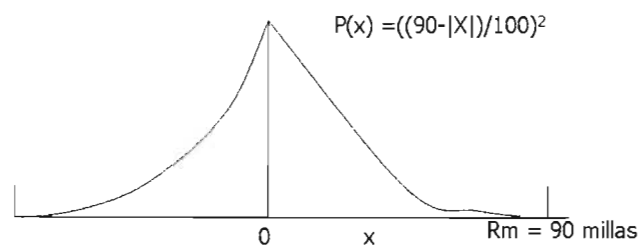
$$P(\text{detección}) = 1 - e^{-\frac{W}{S}}$$

Este modelo de búsqueda aleatoria uniforme proporciona un método de obtención de probabilidad de detección de un blanco, basándose en el modelo de búsqueda aleatorio con igual esfuerzo de búsqueda.

### 3.6 BARRIDOS PARALELOS

Supongamos que se sabe que el blanco está localizado en un área concreta del océano y es tan probable que esté en una parte como en cualquier otra de dicha área. El método, comúnmente empleado en tal caso, para sistematizar la cobertura del área, se conoce con el nombre de **barridos paralelos**. Tal búsqueda se lleva a cabo por varios observadores, explorando zonas paralelas a lo largo del área, con distancias comunes de separación entre derrotas, de valor S, millas. El objeto ahora es proporcionar un método de obtención de la probabilidad de detección, conociendo la curva de alcance lateral.

Considérese la suposición, que la curva de alcance lateral para cada observador, es la que a continuación se describe:



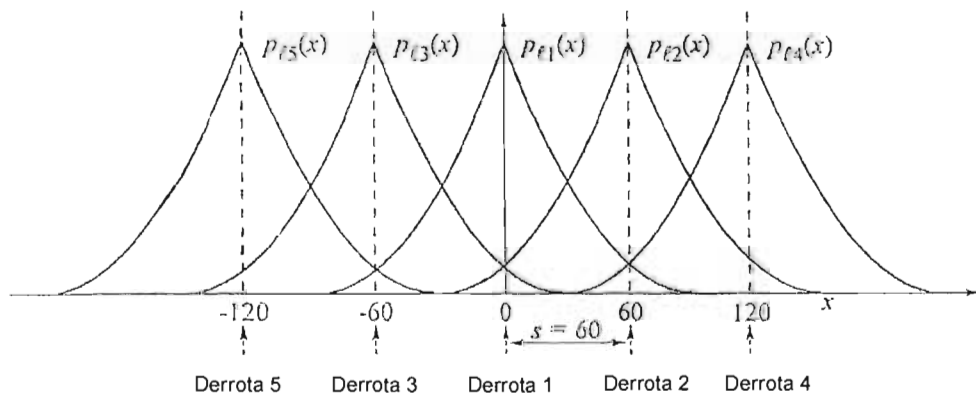
### 3.7 EXPLORACIÓN ALEATORIA UNIFORME

Adicionalmente se supone que se emplean varios observadores simultáneamente, para explorar el área de la figura correspondiente a búsqueda aleatoria uniforme. Cada observador cubre su franja, navegando S millas en la línea central.

La probabilidad de detección, cuando las curvas de alcance lateral son traslapadas se muestra en la siguiente figura.

Las derrotas de los diferentes observadores se numeran arbitrariamente y la derrota 1 sirve de referencia. Notemos que, aunque los observadores están situados a 60 millas de separación, el modelo se repite cada 30 millas ya que un blanco 20 millas a la derecha de la derrota 1 tiene la misma probabilidad de detección que un blanco situado 20 millas a la izquierda de la derrota 2, etc. En este caso, cada blanco pasará dentro de las 30 millas del observador más próximo.

Consideremos primeramente, un blanco cuyo alcance lateral  $X$ , esta entre 0 y 30 millas a la derecha del observador de la derrota 1. Tal blanco podría detectarse por cualquiera o para todos los observadores de la derrotas 1, 2 y 3.



Sea  $P_i(x)$ , la probabilidad de que este blanco sea detectado por el observador de la derrota  $i$ -ésima. Ya que  $X$  representa la medida del alcance lateral, con respecto a la primera derrota, tiene que hacer una transformación para relacionar todas las curvas de alcance lateral a esta referencia común. Lo que acontece se puede verificar en el siguiente ejemplo, para tres sensores como se muestra en la figura anterior:

Suponga que la cobertura se superpone de los tres sensores, como se muestra en la figura anterior, entonces la curva de alcance lateral compuesta esta dada por:

$$P_i(x) \begin{cases} 1 - (1 - P_1(x)(1 - P_2(x - s)))(1 - P_3(x + s)) & \text{para } 0 \leq x \leq s/2 = 30 \dots \dots \dots (1) \\ 1 - (1 - P_1(x)(1 - P_2(x - s)))(1 - P_3(x - 2s)) & \text{para } s/2 \leq x \leq s = 60 \end{cases}$$

Ahora usando la ecuación  $P_d = \int_{\text{para toda } x} p_i(x) f(x) dx$  y sabiendo que  $S = 60$  y  $f(x) = \frac{1}{S}$

$$P_d = \int_0^{60} \frac{p_i(x)}{60} dx = 2 \int_0^{30} \frac{p_i(x)}{60} dx$$

Y  $x$  es uniformemente distribuida entre Cero y 60, entonces por simetría insertamos (1), el resultado es  $P_d = 0.68$

Este resultado puede ser comparado con el modelo previamente discutido, el de búsqueda aleatoria con un solo sensor y si calculamos el ancho de barrido de un solo sensor nos resulta:

$$w = \int_{-90}^{90} \left(\frac{90 - |x|}{100}\right)^2 dx = 2 \int_0^{90} \left(\frac{90 - x}{100}\right)^2 dx = 48.6$$

$$\frac{W}{S} = \frac{48.6}{60} = 0.81$$

De esta manera, observamos que un esfuerzo de búsqueda equivalente a una búsqueda aleatoria conduce a un valor más bajo de la probabilidad de detección, el cual es:

$$P(\text{Detección}) = 1 - e^{-\frac{w}{S}} = 1 - e^{-0.81} = 0.56$$

Que comparado con la probabilidad de detección en una búsqueda de barridos paralelos, donde los barridos paralelos se superponen ( $P(\text{Detección}) = 0.68$ ) el resultado es comparativamente menor.

El método de barridos paralelos fue desarrollado suponiendo que hay suficientes observadores a un lado de la línea para cubrir el área por los barridos de ellos.

### 3.8 LEY INVERSA DEL CUBO

La ley inversa del cubo es aplicable cuando se requiere calcular la probabilidad de detección; donde las curvas de posible alcance lateral y las distancias entre derrotas son diferentes. Asimismo cuando se conoce el ancho de barrido del sensor.

En general, este método particularmente ayuda a predecir la probabilidad de detección por medio de barridos paralelos y cuando se conoce el ancho de barrido que tienen los sensores de detección. Además de que es el mejor predictor teórico de resultados reales. Y la forma de calcularlo es a través de la siguiente fórmula:

$$P_d = 2 \int_0^z \varphi(t) dt$$

Donde  $\varphi$  es la función de densidad de probabilidad normal estandarizada con media cero y variancia 1.

Y además:

$$Z = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left( \frac{W}{S} \right) \quad \text{o} \quad Z = 1.253 \left( \frac{W}{S} \right)$$

Donde se utilizan las tablas de probabilidad normal.

## CAPITULO IV

### APLICACION DEL ANALISIS DE OPERACIONES NAVALES (BUSQUEDA Y DETECCION EN SUPERFICIE)

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El Ejército Azul, dentro de sus planes de seguridad a instalaciones estratégicas del país, ha implementado un plan de reconocimiento aéreo en el espacio marítimo nacional a su cargo, el cual puede ser enmarcado por los límites entre los meridianos Long.  $89^{\circ} 00' 00''$  W y  $97^{\circ} 20' 00''$  W y los paralelos Lat.  $18^{\circ} 00' 00''$  N y  $26^{\circ} 00' 00''$  N, es decir un área de aproximadamente 500 Millas Náuticas por lado. Dentro de ésta área se encuentra ubicada una de las zonas petroleras mas importantes que tiene México, la cual es denominada "Sonda de Campeche".

En esta zona petrolera, el Ejército Azul tiene como tarea principal de que todo blanco en superficie que ingrese a sus inmediaciones, debe ser plenamente identificado y negarle el acceso si se considera peligroso o sospechoso.

El Ejército Azul, para poder dar cumplimiento a la tarea de identificación de blancos o ausencia de estos, en la zona petrolera "Sonda de Campeche", tiene a disposición tres tipos de aviones destacamentados en la Base Aeronaval, la cual se ubica en las Bajadas Veracruz. Estos aviones tienen ciertas características que se describen a continuación:

#### **Gruman Hawkeye E-2C**



#### **Características Principales**

<b>Peso</b>	18,090 KGS.
<b>Motores</b>	2 Turbohelices con potencia de 5000 h/p cada uno
<b>Altura</b>	25,000 PIES.
<b>Autonomía</b>	6 Hrs. continuas, de día o de noche.
<b>Radar</b>	APS - 125.
Sin armamento de alerta temprana.	
Capaz de detectar y seguir hasta 600 objetos simultáneamente.	

### Casa C212



#### Características Principales

<b>Longitud</b>	15.2 Metros.
<b>Autonomía</b>	4.2 hrs
<b>Cantidad de Tripulantes</b>	3 Elementos

#### Misiones Principales

Tipo de misiones: capaz de desarrollar por diseño pvc, vzee, transporte mixto de personal y carga, fotografía, aérea y lanzamiento de paracaidistas.  
Tipo de misiones que realiza actualmente: transporte, reconocimiento, búsqueda, lanzamiento de paracaidistas

### ARM Dash8 MTX-05



#### Características Principales

<b>Longitud:</b>	22.2 Metros.
<b>Autonomía:</b>	8.6 Horas.
<b>Capacidad:</b>	37 Pasajeros

#### Misiones Principales

El avión efectúa principalmente misiones de transporte de personal, lo cual incluye funcionarios de la Secretaria de Marina y de otras dependencias cuando así se ordene, además del transporte de carga.

En la siguiente tabla se resumen algunas de las características principales de cada tipo de Avión:

Tipo de avión	Ancho de barrido en millas náuticas	Consumo de combustible (Galones/milla náutica)	Velocidad de búsqueda. (Nudos)	Número de aviones disponibles
E2C (A)	95	2.5	298	2
CASA C212 (B)	40	1.7	150	2
DASH 8 (C)	20	2.0	250	3

En la Base Aeronaval se presenta una limitante de combustible para la aviación, del cual únicamente se disponen de 9000 galones para realizar dicha tarea, asimismo una limitante de tiempo, ya que únicamente se puede destinar 3 horas para realizar la exploración del área.

En relación a todo lo anterior, es por eso que el Ejército Azul desea saber en concreto:

- a. La probabilidad de que cada avión, detecte un blanco en el área estipulada para la exploración.
- b. Cuántas horas-avión en el área serían requeridas para tener una probabilidad de detección del 95%.
- c. Determinar el número de aviones a utilizar en la exploración del área, de tal forma que se maximice la probabilidad de detección.

## **SOLUCIÓN:**

Con base a la información descrita en los tres capítulos del presente trabajo de tesis y después de haber realizado una investigación y/o análisis del dilema que tiene el Ejército Azul, así como de las características del área a explorar, condiciones de búsqueda y características proporcionadas; se puede hacer de primera instancia las siguientes consideraciones:

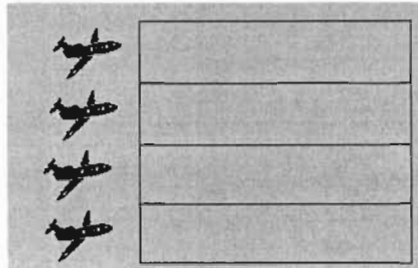
1. Debido a que no se conoce ningún tipo de dato del blanco a detectar; el tipo de búsqueda que propone utilizar es **Aleatoria**.
2. Por el tipo de área de la que se trata y de las dimensiones que se tienen (500 millas náuticas por lado o  $250,000\text{MN}^2$ ); el tipo de Búsqueda propuesta es la **rectangular**.
3. Con base al punto 1 y 2, se deben utilizar Barridos Paralelos.

En relación a las 3 consideraciones anteriormente descritas, es importante mencionar que la combinación de estas, permite proponer que el tipo de búsqueda a realizar en el área de exploración es una "**búsqueda aleatoria rectangular con barridos paralelos**".

Es importante mencionar que se propone una Búsqueda Aleatoria Rectangular con Barridos Paralelos, debido a que es aleatoria cuando se asume que un blanco puede o no situarse en una posición aleatoria en un área marítima o que simplemente se desconoce por completo las características y condiciones del blanco a detectar. Además se considera que algún blanco tiene alguna posibilidad de ser detectado o simplemente no se conocen datos del blanco. Asimismo rectangular por que el área donde se pretende hacer la búsqueda se apaga a las características rectangulares y Barridos Paralelos, por que se sabe que el blanco puede ser o no localizado en un área concreta del océano y es tan probable que esté en una parte como en cualquier otra del área, en el caso de existir tal blanco. Además de que es un tipo de búsqueda económica y tiene la ventaja de que los exploradores pueden mantener sus posiciones relativas con poca dificultad.

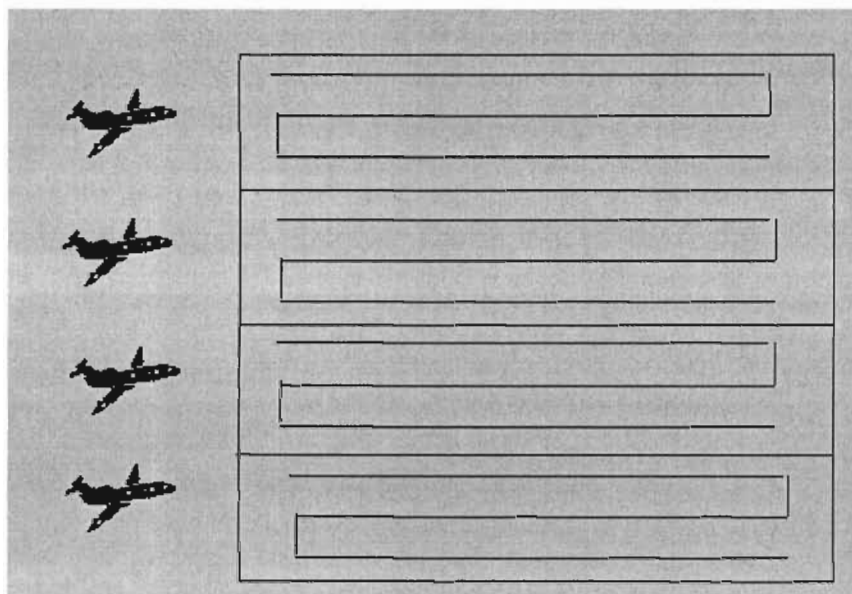


Un aspecto que es de suma importancia mencionar con respecto a la problemática del presente caso de estudio, es que el área probable de localización del objeto es cuadrada (o casi cuadrada), por lo que es aconsejable asignar a cada unidad un área rectangular como se muestra en la siguiente figura:



Esto proporciona la ventaja de que las dificultades para mantener las derrotas son menores, facilitando la navegación. Al asignar áreas de responsabilidad, se puede asimismo provocar competencia entre las unidades participantes, con la cual se les obligaría a esmerarse en su vigilancia. La alternativa a esta asignación es sumar las áreas de las unidades de superficie y ordenar una exploración por línea de frente y hacer lo mismo con las unidades aéreas.

La forma de realizar este tipo de búsqueda rectangular es la que se muestra a continuación:



La solución que se propone para el dilema que tiene el Ejército Azul; es lo que se plantea continuación:

**a. La probabilidad de que cada avión detecte un blanco.**

Para hacer el cálculo de la probabilidad individual de los 3 tipos de aviones a utilizar en la

búsqueda; se hará uso de la siguiente fórmula matemática:  $Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-\frac{WVt}{A}}$ . Donde los cálculos se resumen en la tabla siguiente:

Tipo Avión	W	Velocidad	Tiempo	W*V*t	WVt/A	$Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-\frac{WVt}{A}}$
<b>A</b>	95	V1=298	t1=3	84930	84930/250000=0.3397	$Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-0.3397} = 0.2880$
<b>B</b>	40	V2=150	t2=3	18000	18000/250000=0.072	$Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-0.072} = 0.0695$
<b>C</b>	20	V3=250	t3=3	15000	15000/250000=0.06	$Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-0.06} = 0.0582$

La probabilidad de detectar un blanco en el área de 250000 MN<sup>2</sup> con el:

- **Avión tipo A** es: 0.2880.
- **Avión tipo B** es: 0.0695.
- **Avión tipo C** es: 0.0582.

Con lo que se puede observar que el Avión tipo **A** tiene mayor probabilidad de detección que el tipo **B** y **C**. Asimismo el Avión tipo **B** tiene mayor probabilidad de detección que el tipo **C**.

Para saber:

**b. Cuántas horas-avión en el área serían requeridas para tener una probabilidad de detección del 95%.**

Tomando en consideración la fórmula matemática para calcular la probabilidad de detección de un blanco, podemos despejar el tiempo, el cual nos indica las horas/avión que se requieren para poder tener una probabilidad de detección del 95%. Por tanto; sea:

$$\Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-\frac{WVt}{A}}$$

$$P_d - 1 = -e^{-\frac{WVt}{A}}$$

$$1 - P_d = e^{-\frac{WVt}{A}}$$

$$\ln(1 - P_d) = \ln e^{-\frac{WVt}{A}}$$

$$\ln(1 - 0.95) = \frac{-WVt}{A}$$

$$\ln(0.05) = \frac{-WVt}{A}$$

$$25 \cdot t = -\frac{A \ln(0.05)}{WV}$$

---

<sup>25\*\*</sup> Es importante mencionar que  $\ln x$ , con  $x < 1$  siempre dará como resultado un valor negativo, por lo que el tiempo se vuelve positivo. Además de que  $X$  toma valores entre cero y uno, por definición probabilística.

En la siguiente tabla se muestran los datos calculados para la problemática planteada:

Tipo Avión	W	Velocidad	$t = -\frac{A \ln(0.05)}{WV}$
A	95	V1=298	$t = -\frac{250000 \ln(0.05)}{(95)(298)} = 26.45$ horas
B	40	V2=150	$t = -\frac{250000 \ln(0.05)}{(40)(150)} = 125.82$ horas
C	20	V3=250	$t = -\frac{250000 \ln(0.05)}{(20)(250)} = 149.79$ horas

Para que el Ejército Azul, pueda tener una probabilidad de detección del 95%, se deben realizar las siguientes horas de vuelo, en cada tipo de avión:

- Avión tipo A 26.45 horas
- Avión tipo B 125.82 horas
- Avión tipo C 149.79 hora.

**c. Determinar el número de aviones a utilizar en la exploración del área, de tal forma que se maximice la probabilidad de detección.**

Para dar solución a este inciso, se tomara en cuenta el planteamiento del Modelo Matemático de Programación lineal. Por tanto:

**PROBLEMA CONCRETO POR RESOLVER:**

Número óptimo de aviones para realizar una exploración o búsqueda aleatoria rectangular.

**PLANTEAMIENTO DE VARIABLES DE DECISION**

$X_1$  = Numero de aviones a usar en la búsqueda del tipo A

$X_2$  = Numero de aviones a usar en la búsqueda del tipo B

$X_3$  = Numero de aviones a usar en la búsqueda del tipo C

### FUNCIÓN OBJETIVO:

Maximizar la Probabilidad de Detección o contacto de blancos

### RESTRICCIONES DE DISPONIBILIDAD DE AVIONES

TIPO A  $\leq 2$

TIPO B  $\leq 2$

TIPO C  $\leq 3$

### RESTRICCIONES DE DISPONIBILIDAD DE COMBUSTIBLE

$\leq 9000$

### RESTRICCIONES DE TIEMPO

3 horas

### CALCULOS DE DISTANCIA RECORRIDA:

1 Milla Náutica por hora = 1 Nudo

Como se sabe  $V = \frac{d}{t}$  por tanto  $d = Vt$

	VELOCIDAD	CONVERSIÓN	DISTANCIA
<b>A</b>	298 nudos	298 Millas/hr.	D=298*3 = 894 Millas Náuticas
<b>B</b>	150 nudos	150 Millas/hr.	D=150*3 = 450 Millas Náuticas
<b>C</b>	250 nudos	250 Millas/hr	D=250*3 = 750 Millas Náuticas

### DISTANCIA RECORRIDA POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR MILLA

<b>A</b>	894(2.5)=2235 Galones/Millas Náuticas
<b>B</b>	450(1.7)=765 Galones/Millas Náuticas
<b>C</b>	750(2.0)=1500 Galones/Millas Náuticas

### CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE DETECCION DE UNA BUSQUEDA ALEATORIA RECTANGULAR:

$$\Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-\frac{wv_i}{A}}$$

Donde:

W = Ancho de Barrido  
V = Velocidad  
t = Tiempo  
A = Área de búsqueda

\*AREA = 500\*500 = 250,000 MN<sup>2</sup>.

Entonces:

Tipo Avión	W	Velocidad	Tiempo	W*V*t	WVt/A	$\Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-\frac{WVt}{A}}$
A	95	V1=298	t1=3	84930	84930/250000=0.3397	$\Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-0.3397} = 0.2880$
B	40	V2=150	t2=3	18000	18000/250000=0.072	$\Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-0.072} = 0.0695$
C	20	V3=250	t3=3	15000	15000/250000=0.06	$\Pr\{\text{detección}\} = 1 - e^{-0.06} = 0.0582$

**REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA:**

MAX  $A = 0.2880X_1 + 0.0695X_2 + 0.0582X_3$   
s.a

$X_1 \leq 2$

$X_2 \leq 2$

$X_3 \leq 3$

$2235X_1 + 765X_2 + 1500X_3 \leq 9000$

$X \geq 0 \quad i = 1,2,3$

**SOLUCIÓN DEL MODELO CON LINGO:**

Max Z = 0.2880\*X1+0.0695\*X2+0.0582\*X3;

S.A

2235\*x1+765\*x2+1500\*x3<=9000;

x1<=2;

x2<=2;

x3<=3;

@gin (X1);

@gin (X2);

@gin (X3);

---

\* MN<sup>2</sup>=Millas Náuticas cuadradas

Rows= 5;            Vars = 3;                            No. integer vars = 3 ( all are linear)  
 Nonzeros= 13        Constraint nonz= 6( 3 are +- 1)    Density=0.650  
 Smallest and largest elements in absolute value= 0.582000E-01    9000.00  
 No. < : 4 No. =: 0 No. > : 0, Obj=MAX, GUBs <= 3  
 Single cols= 0

Objective value:                            **0.8314000**  
 Branch count:                                0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	2.000000	0.000000E+00
X2	2.000000	0.000000E+00
X3	2.000000	0.000000E+00

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.8314000	1.000000
2	0.000000E+00	0.388000E-04
3	0.000000E+00	0.2012820
4	0.000000E+00	0.3981800E-01

### INTERPRETACION DE LA SOLUCION:

El Ejercito Azul podrá identificar en la zona petrolera "Sonda de Campeche" a todo blanco de superficie que ingrese a sus inmediaciones; si se implementa una búsqueda aleatoria rectangular de 3 horas en la cual deberá utilizar:

- ✓ 2 Aviones del Tipo A
- ✓ 2 Aviones del Tipo B y
- ✓ 2 Aviones del Tipo C

De tal forma que se podrá tener una probabilidad máxima de detección del **0.8314** o **83.14 %**



Gruman Hawkeye E-2C



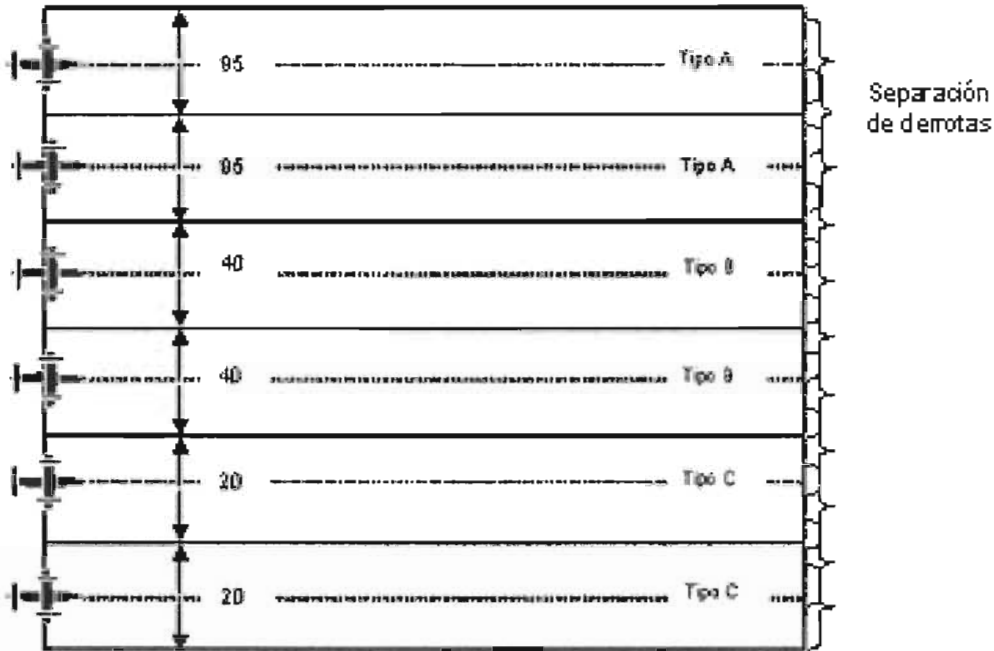
CASA C-212



ARM Dash8 MTX-06

Reconsiderando que la Búsqueda que se debe hacer es aleatoria rectangular con barridos paralelos, se tiene que calcular la probabilidad de detección, haciendo uso del resultado obtenido en el inciso anterior, para poder decir cual es la probabilidad máxima de detección en este tipo de búsqueda.

Como se concluyo en el inciso anterior, se deben utilizar 6 aviones de los disponibles (2 de cada tipo), por lo que la forma en que se aconseja acomodar dichos aviones en la región a explorar es la siguiente:



Tomando en consideración que para poder calcular la probabilidad de detección de cada avión, se requiere tomar en cuenta el ancho de barrido y la separación de derrotas entre aviones, lo cual se calcula a través de la siguiente formula:

$$P_d = 1 - e^{-n\left(\frac{w}{S}\right)}$$

El dato que no es conocido en esta problemática, es la separación de derrotas que debe existir entre los aviones, por lo que se debe calcular haciendo uso de la formula de la **ley de inversa al cubo**, la cual esta dada por:

$$P_d = 2 \int_0^z \varphi(t) dt$$

Donde  $\varphi$  es la función de densidad de probabilidad normal, estandarizada con media cero y variancia 1.



Y además:

$$Z = \sqrt{\frac{\Pi}{2}} \left( \frac{W}{S} \right) \quad \text{o} \quad Z = 1.253 \left( \frac{W}{S} \right)$$

Entonces para **el Avión tipo A**:

Se propone una probabilidad de detección del 95%.

$$P_d = 0.95$$

$$W = 95$$

$$S = ?$$

Usando la Ley de inversa al cubo:

$$P_d = 2 \int_0^z \phi(t) dt$$

$$0.95 = 2 \int_0^z \phi(t) dt$$

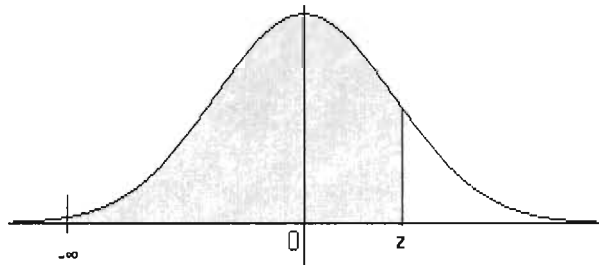
$$\frac{0.95}{2} = \int_0^z \phi(t) dt$$

$$0.475 = \int_0^z \phi(t) dt$$

Por otro lado se tiene que:

$$\int_{-\infty}^z \phi(t) dt = \int_{-\infty}^0 \phi(t) dt + \int_0^z \phi(t) dt$$

$$\int_{-\infty}^z \phi(t) dt = 0.5 + 0.475 = 0.975$$



Ahora el valor de 0.975, se busca en tablas de la Normal, el cual corresponde a  $Z = 1.96$ . Este valor se sustituye en la siguiente formula, para obtener el valor de la separación de derrotas entre los aviones del tipo A.

$$Z = 1.253 \left( \frac{W}{S} \right) \quad \text{Con } W = 95 \text{ MN}$$

$$Z = 1.253 \left( \frac{95}{S} \right)$$

$$S = \frac{119.035}{1.96} = 60.73$$

Para los Aviones **del tipo B:**

El calculo es igual al que se inciso anteriormente, con la diferencia del valor de W.

$$W = 40$$

$$Z = 1.253 \left( \frac{40}{S} \right)$$

$$Z = \frac{50.12}{S}$$

$$S = \frac{50.12}{1.96} = 25.57$$

Para los aviones **del tipo C:**

$$W = 20$$

$$Z = 1.253 \left( \frac{20}{S} \right)$$

$$Z = \frac{25.06}{S}$$

$$S = \frac{25.06}{1.96} = 12.79$$

Por lo tanto la separación de Derrotas para los aviones es:

- > TIPO A = 61 MN
- > TIPO B = 26 MN
- > TIPO C = 12 MN

Ahora se calcula la probabilidad de detección de los aviones, tomando en consideración la formula planteada anteriormente y que es:

$$Pd = 1 - e^{-n \left( \frac{w}{S} \right)}$$

Entonces

Para los aviones del **tipo A:**

$$P_d = 1 - e^{-2 \left( \frac{95}{61} \right)} = 1 - e^{-3.1148} = 0.9556$$

Para los aviones del **tipo B**:

$$P_d = 1 - e^{-2\left(\frac{40}{26}\right)} = 1 - e^{-3.0769} = 0.9539$$

Para los aviones del **tipo C**:

$$P_d = 1 - e^{-2\left(\frac{20}{12}\right)} = 1 - e^{-3.3333} = 0.9643$$

### **CONCLUSIÓN:**

Si se pone una separación de derrotas entre los aviones:

**Tipo A** de 61 MN, se tendrá una probabilidad de detección del **95.56%**.

**Tipo B** de 26 MN, se tendrá una probabilidad de detección del **95.39%**

**Tipo C** de 12 MN, se tendrá una probabilidad de detección del **96.43%**

**Por lo tanto la probabilidad de detección promedio, que tendrá el Ejército Azul al efectuar una Búsqueda aleatoria rectangular, con sus respectivas características mencionadas anteriormente será del 95.79%.**

## CONCLUSIONES

En todo Proceso de Toma de Decisiones, debe tomarse en consideración las diversas consecuencias que se podrían generar al tomar una decisión simplemente a la ligera, debido al grave problema que se estaría generando si esto se realizara.

Como se menciona al principio del presente trabajo de tesis; las decisiones que se tomen, para dar solución a un problema, pondrían afectar a muchas personas, grupos de interés, empresas u otras entidades, por lo que en toda Toma de Decisiones que se lleve a cabo, se recomienda que se realice bajo el Proceso de Toma de Decisiones que se describe en el presente trabajo de investigación, el cual gira al rededor de la metodología ya aprobada en la Investigación de Operaciones; lo cual en varios ámbitos ha sido demostrado el éxito de dicha metodología.

Es importante mencionar un aspecto significativo e interesante que me dio el haber realizado la investigación del presente trabajo de tesis; el cual fue, que después de haber estudiado y analizado la metodología y herramientas de solución del Análisis de Operaciones Navales, se puedo concluir que la metodología y herramientas que utiliza la Investigación de Operaciones, es exactamente lo mismo que utiliza el Análisis de Operaciones Navales; con la diferencia, de que una tiene aplicaciones mas comunes al ámbito civil y la otra sus aplicaciones son obviamente al ámbito militar, pero la forma en que se abordan y se resuelven las problemáticas es exactamente la misma.

Asimismo, cabe mencionar que la toma de decisiones con respecto a problemas de "Búsqueda y Detección" en el ámbito militar es de suma importancia, debido a la misión y recursos disponibles que se tiene en el Ejército Azul, por lo que no se puede tomar tan a la ligera una toma de decisiones en este ámbito. Y es aquí donde se puede visualizar lo importante que es el aplicar la metodología y herramientas de solución que se describe en este trabajo de tesis.

El principal objetivo que se planteo en el principio de esta tesis, fue el de estudiar, analizar y aplicar el Análisis de Operaciones Navales en problemas de Búsqueda y Detección en Superficie, con la finalidad de que cualquier persona ajena al ámbito militar, pueda conocer y aplicar dicha metodología en problemas de este tipo, cuya finalidad es que en un momento dado pueda asesorar al mando militar con respecto a una toma de decisión de este tipo y este lo pueda hacer sin uso del manual confidencial que se maneja en el ámbito militar.

Con el desarrollo y explicación que se da en este trabajo se considera suficiente para que cualquier persona del ámbito civil pueda entender de forma general el Análisis de Operaciones Navales y la aplicación de sus herramientas en problemas específicos de Búsqueda y Detección.

Un aspecto que es importante mencionar con respecto al caso de estudio planteado, es que el resultado que se obtuvo con respecto a la probabilidad de detección, es bastante bueno, ya que garantiza que si se emplea la metodología propuesta en el presente trabajo de investigación, se garantiza cierta probabilidad de detectar algún blanco en la zona o área de exploración, lo cual permitirá poder dar cumplimiento a los objetivos y expectativas planteadas por el Ejército Azul. Asimismo permite asignar de una forma optima los recursos disponibles que se tienen para dar cumplimiento a dichos objetivos y expectativas.

De forma general, se puede concluir, que si en toda toma de decisiones se implementa la metodología del presente trabajo de tesis (Análisis de Operaciones o Investigación de Operaciones) se podrá garantizar el éxito de cierto problema a resolver, de tal forma que se optimicen los recursos disponibles para dar cumplimiento a objetivos, misiones, estrategias, etc.

### TEORÍA DE DETECCIÓN “RADAR”\*

El propósito del radar en una flota está bien definido: **detectar y seguir blancos en superficie y por encima de ella**. Quedan aún grandes problemas por resolver, tales como, **la selección de la mejor medida de efectividad y la determinación del valor de la medida elegida**, en cada radar. Las medidas pueden ser: el máximo alcance del radar, probabilidad de detección de un blanco, probabilidad de mantener el contacto sobre un blanco detectado u otro objetivo.

Para comprender la teoría de operación del radar, es preciso tener algunos conocimientos del equipo y de su medio operacional.

En el estudio de la teoría operacional, un equipo de radar puede considerarse como una serie de cajas negras. En general, solamente interesan las funciones e interacciones de estas cajas con respecto a los operadores, blanco, atmósfera, superficie de mar, mantenimiento. La física básica que se estudia está solamente interesada en la interacción del radar con los aspectos estrictamente físicos de su ambiente operacional, el blanco y la fase de propagación.

### EL RADAR\*

#### **Introducción:**

El **Radar** es un sistema electrónico que permite detectar objetos y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos ondas de radio que son reflejadas por el objeto y que al ser recibidas de nuevo por la antena del radar permiten calcular la distancia a la que se encuentra el objeto, en función del tiempo que tardó en ir y volver la señal de radio.

Es conocida la utilización del radar en el control del tráfico aéreo y en el control policial de la velocidad en el tráfico rodado. Además, estos están siendo utilizados en sistemas especiales que permiten formar, mediante un elaborado procesado de la señal radar, imágenes de la

---

\* **Fundamentos de Radar**, Escuela Naval Militar, Marín, Publicación 459.

▲ Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, "Naval Operations Analysis ", Naval Institute Press, Third Edition, United States of America, 1999.

superficie planetaria con resoluciones del orden de algunos metros. Las aplicaciones potenciales de estos sistemas son innumerables:

Cartografía de zonas de alta nubosidad (inaccesibles mediante sensores ópticos), obtención de modelos topográficos a escala mundial de alta precisión, exploración de otros planetas o satélites con atmósfera, determinación de recursos hídricos, vegetación, clasificación de cultivos, etc.

### **Sistemas de Radar (principios)**

La palabra radar corresponde a las iniciales de "radio detection and ranging", y fue utilizado por las fuerzas aliadas durante la IIª Guerra Mundial para designar diversos equipos de detección y para fijar posiciones. No sólo indicaban la presencia y distancia de un objeto remoto, denominado objetivo, sino que fijaban su posición en el espacio, su tamaño y su forma, así como su velocidad y la dirección de desplazamiento.

Aunque en sus orígenes fue un instrumento bélico, hoy se utiliza ampliamente para fines pacíficos, como la navegación, el control del tráfico aéreo, la detección de fenómenos meteorológicos y el seguimiento de aeronaves.

### **El Radar: de dónde viene y hacia dónde va**

De todos es conocida la utilización del radar en el control del tráfico aéreo y el temido control policial de la velocidad en el tráfico rodado. Pero ¿cuándo se inventó el radar, cómo ha evolucionado hasta nuestros días y qué otras aplicaciones tiene?

Aunque no puede hablarse de una fecha precisa, los orígenes del Radar se sitúan a mediados de la década de los 30. Estamos pues ante una disciplina con casi 60 años de vida, aunque existen algunos precursores anteriores. El propio Hertz en sus experimentos (1888) ya constató la perturbación que objetos de diversa naturaleza causaban en las ondas de radio. En 1904, el alemán C. Hülsmayer patentó un sistema destinado a la detección radioeléctrica de barcos. No obstante, en aquella época el interés político e industrial en estos sistemas es escaso y no se va más allá de algunas experiencias aisladas.

La tensión internacional existente en los albores de la segunda guerra mundial, hizo que las administraciones de todos los países con tecnología propia en radio impulsaran el desarrollo de los primeros radares. Estos sistemas radiaban señales de onda continua o pulsadas en HF, VHF, UHF siendo capaces algunos de ellos de detectar y situar aviones a distancias del orden del centenar de kilómetros.

A principios de los 40, dos investigadores ingleses de la Univ. de Birmingham inventan el magnetron de cavidad, capaz de generar potencias de kilowatios a frecuencias de microondas.

En esta época el radar fue aplicado fundamentalmente a intereses militares: vigilancia y localización aérea y marítima, control de tiro, etc., siendo aplicado también como ayuda a la navegación al creciente tráfico aéreo civil.

En los años 50 se profundizó en las bases teóricas del radar, consiguiéndose determinar los límites alcanzables en la detectabilidad, determinación de posición, velocidad, etc. Algunos conceptos fundamentales como el filtro adaptado, compresión de pulsos, teoría de la detección, etc. se desarrollan por radaristas de esta época, aplicándose posteriormente a los sistemas de telecomunicación.

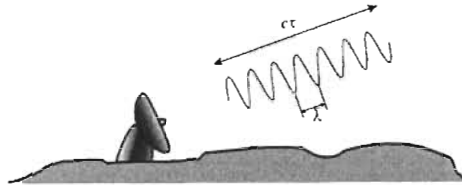
A partir de los años sesenta hasta la actualidad, el radar ha impulsado y se ha beneficiado del gran progreso tecnológico en materia de estado sólido, circuitos y procesadores digitales, amplificadores de potencia y bajo ruido, agrupaciones de antenas de fase controlada, etc. Estos avances han permitido construir sistemas altamente complejos como los radares tridimensionales capaces de situar y seguir centenares de blancos en distancia, acimut y elevación, o los radares transhorizonte que al trabajar en HF, poseen alcances del orden de 2000 km. También se han desarrollado nuevos sistemas para el sondeo geológico subterráneo o radares laser (lidares) para la medida de aerosoles y contaminantes en la atmósfera.

Aunque los sensores tradicionales utilizados en teledetección son ópticos (Meteosat, Landsat, Spot, etc.), puede afirmarse que el radar se ha convertido en el centro de atención: en los últimos dos años más de la mitad de los trabajos publicados en una de las revistas de teledetección más prestigiosas se centran en el estudio de las aplicaciones del radar.



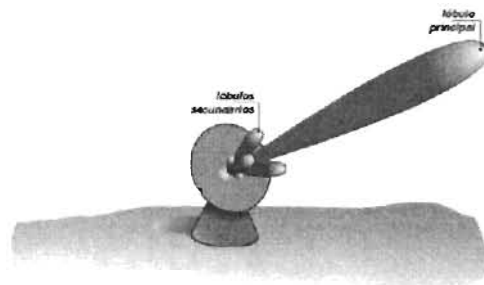
## Funcionamiento básico

- El principio de funcionamiento del radar meteorológico es el de emitir a través de una antena un pulso de energía electromagnética de duración  $t$  (del orden de los ms) y de longitud de onda  $\lambda$  (del orden de los centímetros, ya que el blanco deseado son las gotas de agua; figura 1.1).



**Figura 1.1** Idealización de la emisión de un pulso de duración  $\delta$  y de longitud de onda  $\delta$ . Ese pulso al ser emitido a la velocidad de la luz,  $c$ , se extenderá por un intervalo  $c\delta$ .

- Esa energía se concentra en un haz que al emitirse al exterior y por efecto de la difracción toma una forma cónica. En el interior de ese cono la energía no se distribuye de forma uniforme sino en forma de lóbulo: es mucho mayor en el centro y decrece rápidamente al alejarse de éste.
- Debido a que es imposible confinar toda la energía en dicho cono parte de ésta escapa fuera de él. Como resultado la energía emitida se distribuye en forma de un lóbulo central (que es el que contiene la mayor parte de la energía) y una serie de lóbulos secundarios de menor energía (ver Figura 1.2).



**Figura 1.2** Idealización de la distribución de la energía emitida por el radar en un lóbulo central y una serie de lóbulos secundarios.

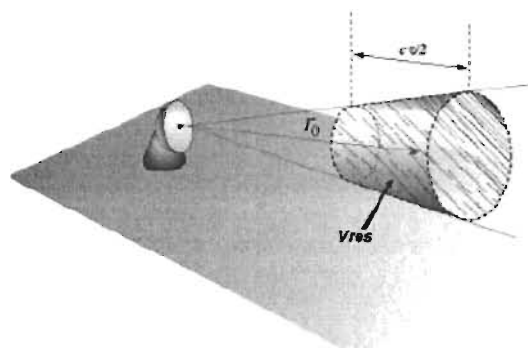
### Ecuación del radar

- En realidad lo que registra el radar es la energía devuelta en su dirección por las gotas de agua situadas en el interior de un cierto volumen  $V_{res}$  (ver Figura 1.4).
- Esa energía, que se mide en forma de potencia, se puede expresar como:

$$\bar{P}(r_0) = \frac{C}{L^2(r_0)r_0^2} Z(r_0)$$

Donde  $P$  es la potencia media devuelta por las gotas situadas en el interior del  $V_{res}$  situado a una distancia  $r_0$  del radar. La potencia se expresa como media debido a que el radar usualmente emite un tren de  $n$  pulsos; así para un volumen situado a una distancia  $r_0$  se miden  $n$  valores de potencia que luego se promedian.

- El motivo de tomar  $n$  medidas de un volumen es que de esta forma la medida final es mas robusta (ya que la potencia varía en el tiempo debido al movimiento de las gotas en el interior del volumen).
- Por otro lado la constante  $C$  agrupa toda una serie de características relacionadas con el radar, es lo que se conoce como la constante del radar.
- Finalmente la reflectividad,  $Z$ , es la variable relacionada con las gotas que se puede derivar una vez medida la potencia  $P$ . Posteriormente veremos como se define dicha variable y que como es posible relacionarla con la intensidad de lluvia.



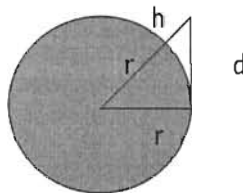
**Figura 1.4** Volumen de tamaño radial  $c \delta/2$  que se corresponde con la energía medida en un instante determinado y asociada a un distancia dada.

## HORIZONTE DEL RADAR

La atmósfera de la tierra tiene una densidad que decrece exponencialmente con la altitud. Debido a este gradiente de densidad la luz es refractada cuando pasa a través de la atmósfera, de esta manera en la latitud de Washington D.C, en los días de los equinoccios solares, el sol aparece en el horizonte 4 minutos antes de lo que debería hacerlo, si no hubiera refracción. Las ondas de Radar son también refractadas así que los blancos pueden ser rastreados más allá del horizonte visual. Este efecto es más pronunciado en las frecuencias más bajas que en las frecuencias más altas. Una aproximación analítica, para corregir los efectos de la refracción en frecuencias convencional de radares, es comúnmente usada y es denominada como la **aproximación de los cuatro tercios de la tierra**. Esta aproximación supone que la tierra es cuatro tercios el tamaño actual de su radio (el radio de la tierra es la distancia de la tierra a su superficie en el ecuador) y que las ondas del radar viajan en una línea recta.

La siguiente figura muestra como estas relaciones físicas pueden ser aproximadas para la búsqueda de frecuencias de radares.

Como se puede ver de la figura:



$$r^2 + d^2 = (r + h)^2$$

Resolviendo para d:

$$d^2 = 2rh + h^2$$

Debido a que  $h^2$  es pequeño comparado con  $2rh$ , el valor aproximado para d (la distancia al horizonte) puede ser aproximadamente igual a:

$$d = \sqrt{2rh}, [r \gg h]$$

Lo anterior supone que  $h$  y  $d$  son expresados en las mismas unidades que  $r$ . Una milla náutica es 6,076 pies, el radio de la tierra en el ecuador es 3,354 millas náuticas (nm), y el 4/3 del radio de  $r$  es 4,473 nm. Poniendo  $r$  igual a 4,473 nm y usando  $h$  en pies, la ecuación para  $d$  en millas náuticas llega a ser:

$$d = \sqrt{(2rh/6,076)}, [r \gg h]$$

O

$$d = 1.21\sqrt{h}, [r \gg h]$$

## **CONCEPTOS DE PROBABILIDAD**

Del campo de las matemáticas, el más útil en el análisis de los problemas de Operaciones Navales, es la Teoría de la Probabilidad. De hecho, el concepto de probabilidad es indispensable para el tratamiento objetivo y analítico de esos problemas. Por la diversidad que se encuentra de manera inherente en el campo de las operaciones navales, hay un único factor en todo. Este es el factor de la *incertidumbre*. Nunca tenemos la seguridad de que va pasar con el misil que sale de la lancha después de apretar el botón de fuego. Nunca sabemos con certidumbre, cuando podemos detectar un avión en el aire, dentro del rango teórico que produce la búsqueda en el aire de un radar, que nos permita un beneficio sobre el horizonte. La lista de casos es incontable. En cualquiera de las áreas de operaciones navales, la *incertidumbre* es una cualidad invariablemente presente. Uno puede conducirse analíticamente con estos eventos esencialmente aleatorios, gracias al método de pensamiento que ofrece la teoría de la probabilidad.

### **EXPERIMENTO:**

Los especialistas en estadística utilizan la palabra experimento para describir cualquier proceso que genera un conjunto de datos.

### **EXPERIMENTO SIMPLE:**

Un experimento simple es algún acto o proceso bien definido, el cual lleva a un resultado simple y preciso.

**Ejemplo:** Imagínese el experimento que consiste en tirar un dado cinco veces (que no es lo mismo que tirarlo una sola vez) y anotar el número que aparece en la cara hacia arriba, en cada una de las veces que el dado es tirado. En este ejemplo puede visualizarse que el experimento una vez realizado, tiene un resultado simple y bien definido, pero este si se realizara más de una vez, el resultado no sería el mismo.

### **ESPACIO DE EVENTOS O MUESTRAL:**

El conjunto de todos los resultados posibles de un experimento estadístico, se le llama espacio muestral o espacio de eventos y se le representa por el símbolo  $S$ .

**Ejemplo:** El espacio de eventos asociados al experimento, tirar un dado es: 1,2,3,4,5,6, que es el conjunto de resultados posibles.

**EVENTO:**

Un evento es un subconjunto de un espacio muestral.

**EVENTOS MUTUAMENTE EXCLUYENTES:**

Dos eventos A y B son mutuamente excluyentes o disjuntos si  $A \cap B = \phi$ , esto es, si A y B no tienen elementos en común.

**PROBABILIDAD AXIOMATICA:**

**Definición:** Dado un espacio muestral S y la familia R de eventos en S, una función de probabilidad asociada a cada evento A en R un número real  $P(A)$ , la probabilidad del evento A, tal que los siguientes axiomas son verdaderos.

1.  $P(A) \geq 0$ , para todo A.
2.  $P(S) = 1$
3. Si existe algún conjunto contable de eventos:

$$\{A_1, A_2, \dots, A_k\}$$

y si estos eventos son todos mutuamente exclusivos, entonces:

$$P(A_1 \cup A_2, \dots, \cup A_k)$$

En resumen la probabilidad de un evento A, es la suma de los pesos de todos los puntos muestrales de A por tanto,  $0 \leq P(A) \leq 1$ ,  $P(\phi) = 0$  y  $P(S) = 1$

Además de que la probabilidad de la unión de eventos mutuamente exclusivos es igual a la suma de sus probabilidades.

**DEFINICIÓN CLASICA DE PROBABILIDAD.**

Si un evento A puede descomponerse como la unión de  $N(A)$  eventos pertenecientes a una partición constituida por N eventos mutuamente exclusivos e igualmente posibles, entonces la probabilidad  $P(A)$  del evento A, está dado por:

$$P(A) = \frac{N(A)}{N} = \frac{\text{Número de eventos elementales en A}}{\text{Número total de eventos elementales en S}}$$

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA

## **GLOSARIO**

Las definiciones de los siguientes términos le ayudaran a comprender un poco mejor el presente trabajo de tesis.

**NAVEGACIÓN:** Es el arte y la ciencia de dirigir el movimiento de un buque de un lugar hacia otro con eficiencia y seguridad.

**CARTA NÁUTICA:** Es de fundamental importancia en la navegación. Para viajar en barco hacia cualquier lugar en forma segura, el patrón deberá obtener información precisa observando el mar y la costa. El o ella, deberán ubicar las ayudas a la navegación, canales, bajos, puertos y bahías. Esta información está en la carta náutica: como una representación en miniatura en la superficie de un plano en toda o en una parte de la superficie de la tierra acentuando las zonas donde hay agua y los puntos de interés naturales o creados por el hombre que interesan al navegante. En forma sencilla podemos decir que es un mapa para utilizar en la navegación.

**CÍRCULO MÁXIMO:** Es un círculo definido por la intersección de un plano que pasa por el centro de la tierra y la superficie de la misma.

**ECUADOR:** Es el círculo máximo que se encuentra en la mitad de la distancia que separa los polos. Al igual que en la definición anterior, es la intersección con el plano perpendicular al eje que une los polos.

**CÍRCULOS MENORES:** Son círculos definidos por la intersección de planos que no pasan por el centro de la tierra y la superficie de la misma.

**LATITUD Y LONGITUD:** Son coordenadas geográficas creadas por el hombre para describir la ubicación de un lugar específico. Son definidas por los círculos máximos y los círculos menores.

**POLO GEOGRÁFICO:** Son cada uno de los extremos del eje de rotación de la tierra. El Polo Norte, asignado con latitud  $90^{\circ}$  N, se encuentra en el Mar Ártico; el Polo Sur ( $90^{\circ}$  S) se encuentra en la Antártida. La distancia entre los polos y el centro de la tierra es de 12.704 Km. . Es apenas menor al diámetro de la tierra en el Ecuador (latitud  $0^{\circ}$ ) debido a que la fuerza centrífuga que ejercen los planetas sobre la tierra y que hace que la superficie de la tierra en los polos sea ligeramente achatada.

**POLO MAGNÉTICO:** En geofísica, un es un lugar en la tierra donde el campo magnético tiene su máxima intensidad y su dirección es vertical. La tierra posee dos polos magnéticos; el Polo Norte Magnético y el Polo Sur Magnético, los cuales se encuentran a aproximadamente 1.600 Km. y 2.730 Km. del Polo Norte geográfico y del Polo Sur geográfico respectivamente. Cada polo magnético cambia su posición en forma lenta y constante, esta fluctuación se produce bruscamente con una trayectoria circular con diámetro de alrededor de los 160 Km. En 1980 el Polo Norte Magnético estuvo en una latitud aproximada de  $N 76^{\circ} 54'$  y longitud  $W 101^{\circ} 42'$ . El Polo Sur Magnético estuvo en latitud  $S 65^{\circ} 30'$  y longitud  $E 139^{\circ} 12'$ .

**MERIDIANOS DE LONGITUD:** Son todos círculos máximos que pasan por los polos, y por lo tanto perpendiculares al ecuador. La longitud, en una posición determinada está dada por la distancia angular medida de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ ; hacia el Este u el Oeste del primer meridiano.

**PRIMER MERIDIANO:** Es aquel que tiene  $0^{\circ}$  de longitud es el meridiano utilizado como referencia. Desde el año 1844 en la reunión de la Conferencia Internacional del Meridiano celebrada en Washington D.C., se acordó establecer como oficial el meridiano que pasa por el England Royal Greenwich Observatory. Los meridianos están numerados hasta  $180^{\circ}$  hacia el Este u Oeste desde este meridiano  $0^{\circ}$ ; hasta alcanzar la Línea Internacional de Cambio de Fecha, en el Océano Pacífico. Montevideo se encuentra a los  $56^{\circ}$  W.



**PARALELOS DE LATITUD:** Son círculos menores paralelos al Ecuador . La latitud de un lugar es la distancia angular hacia el Norte o hacia el Sur del Ecuador, desde 0° a 90°.

Por ejemplo, Montevideo se encuentra a los 35° S . Los grados de latitud están separados prácticamente a la misma distancia pero esta varía sensiblemente, debido al achatamiento de los polos. Un grado de latitud en el Ecuador son 110,567 Km., y el mismo grado en proximidades de los polos es de 111,699 Km.

**MILLA NÁUTICA:** Unidad de Distancia equivalente a 1.852 mts. Exactamente es utilizada por los navegantes para medir distancias. Este valor es igual a un minuto de arco de cualquier círculo máximo incluido un meridiano de longitud. Es por esta relación que se la puede establecer como unidad de uso conveniente. La milla náutica es por lo tanto igual a un minuto de latitud, o dicho de otra forma un grado de latitud es igual a 60 millas náuticas. La milla náutica es aproximadamente igual a 1,85 Km.

**NUDO:** Unidad de velocidad en navegación, y equivale a una milla náutica recorrida en una hora.

**RUMBO:** El rumbo de un barco es la dirección de la trayectoria que describe. La **derrota** es la trayectoria recorrida hasta determinado momento; también se utiliza para nombrarla de este modo a la ruta que se desea seguir antes de comenzar la navegación. La expresión **poner la proa o" aproamiento"**, o que proa se lleva, es para indicar la dirección a la cual se dirige la proa del buque. En la navegación en el mar generalmente el rumbo y la proa indican una misma dirección; sin embargo en la navegación aérea no coinciden debido a la acción del viento. La **marcación** a un objeto es la dirección en grados con la cual se observa el mismo, desde el buque. Formalmente, las marcaciones eran dadas en **cuartas** de compás en este sistema se dividían los cuadrantes del compás en ocho partes. Actualmente las marcaciones se expresan en grados, desde 000° en el Norte hasta 360° alrededor del compás y en el sentido de giro de las agujas del reloj.

Existen tres tipos de **rumbos**:

1. **Rumbo Verdadero** es el referido al Norte verdadero (geográfico). Es el ángulo entre la línea de crujía y el meridiano geográfico.

2. **Rumbo Magnético** es el que toma como origen al Norte magnético. Es casi siempre distinto al rumbo verdadero.

3. **Rumbo Compás** es el referido al Norte del compás magnético del buque.

**LÍNEA DE MARCACIÓN:** Es una línea sobre la cual se debería encontrar un objeto, como resultado de una observación o cálculo. Una **fija** o **posición** es la que podemos obtener por la intersección de dos líneas de marcación. Las líneas de marcación se pueden obtener de distintas formas. Pueden ser parte de líneas rectas, curvas o hipérbolas. Una **posición estimada** es la posición probable de un buque expresada en forma incompleta o de precisión poco exacta.

**DERROTA:** Es el trayecto que un buque pretende recorrer, y que se representa en la carta por una línea recta desde la última posición conocida y utilizando rumbo y velocidad sobre el agua. El trayecto que el buque desarrolla físicamente es diferente a cualquier otro por la influencia de la corriente, las olas, u errores de gobierno.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, "**Naval Operations Analysis**", Naval Institute Press, Third Edition, United States of America, 1999.
2. David Jennings, Stuart Wattam, "**Toma de Decisiones (un enfoque integrado)**", Edt. CESCA, Primera Edición, México, 2000.
3. Ernesto Mercado Ramírez, "**Técnicas para la Toma de Decisiones**", Edit. Limusa, Grupo Noriega Editores, Primera Edición, México, 1991.
4. Hiller y Lieberman, "**Investigación de Operaciones**", Edit. Mc-Graw-Hill, Séptima Edición, México 2002.
5. Secretaria de Marina, Dirección General de Organización y Sistemas, Dirección de Investigación de Operaciones. "**Búsqueda y Detección**", Junio 1990.
6. <http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/040924180447.html>
7. José Luis López cano;  
<http://www.idesaa.edu.mx/materias/seminvestigacion/Planteamiento%20del%20Problema.pdf>
8. [http://www.grahi.upc.es/menu/curs/html\\_pages/trasp1.html](http://www.grahi.upc.es/menu/curs/html_pages/trasp1.html)
9. <http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/tornado/radar.sp.html&edu=high>
10. <http://www.automatas.org/conversores.htm>
11. <http://www.semar.gob.mx/galeria/aeronaves/aeronaves.htm>
12. <http://www.semar.gob.mx/galeria/aeronaves/hawkeye/hawkeye%20E-2C.htm>
13. <http://www.semar.gob.mx/galeria/aeronaves/c-212.htm>
14. <http://www.semar.gob.mx/galeria/aeronaves/dash8/avion-Dash8.htm>
15. <http://www.europa1939.com/aviones/reconocimiento/hawkeye.html>

16. <http://www.desafio-oceanico.edu.uy/Manual/ManualParteI.htm>
17. <http://www.desafio-oceanico.edu.uy/Manual/ManualIndex.htm>
18. **Fundamentos de Radar**, Escuela Naval Militar, Marín, Publicación 459.
19. Joseph G. Monks, **Administración de Operaciones**, Mc Graw-Hill, Primera Edición, México, 1991.