Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Naval

# NAVEGACIÓN Y OPERACIÓN EN AGUAS ANTÁRTICAS

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Naval
Mención: Transporte Marítimo.

Profesor Patrocinante:
Sr. Roberto Casanova Esparza.
Oficial Marina Mercante Nacional.

CAROLINA ALEXANDRA ASENJO RIQUELME
VALDIVIA - CHILE
2009

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La Tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el titulo de **Ingeniero Naval**, mención **Transporte Marítimo.**

## EXAMEN DE TITULO:

| | | |
|---|---|---|
| Nota de Presentación | (Ponderada) (1) | : 4.538 |
| Nota de Examen | (Ponderada) (2) | : 1.400 |
| Nota Final de Titulación | (1 + 2) | : 5.94 |

## COMISION EXAMINADORA:

| | |
|---|---|
| DR. ROGELIO MORENO M. | |
| DECANO | FIRMA |
| ROBERTO CASANOVA E. | |
| EXAMINADOR | FIRMA |
| RAÚL NAVARRO A. | |
| EXAMINADOR | FIRMA |
| JOEL PÉREZ O. | |
| EXAMINADOR | FIRMA |
| DR. MARCOS SALAS I. | |
| SECRETARIO ACADEMICO (S) | FIRMA |

Valdivia, 21 DE AGOSTO DE 2009

Nota de Presentación = NC/NA * 0,6 + Nota de Tesis * 0,2
Nota Final = Nota de Presentación + Nota Examen * 0,2
NC = Sumatoria Notas de Currículo, sin Tesis
NA = Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Práctica Profesional.

**AGRADECIMIENTOS.**

A Verónica, Daniela y Paulina, por la gran amistad.

A mis amigos Cristian, Matías, Guillermo, Rodrigo U. y Erick, por la ayuda y los buenos momentos.

A mis profesores, aquellos que además de cumplir con su deber siempre tuvieron una palabra.

A mi hermana Leonora, por acompañarme siempre.

Por encima de todo a mis papás, por su infinita sabiduría, confianza y amor.

**ÍNDICE.**


ÍNDICE i
RESUMEN v
SUMMARY vi
INTRODUCCIÓN vii
CAPITULO I: Formación del continente Antártico. 1
1.1. Formación de la Tierra y Origen del continente Antártico. 1
1.1.1. Pangea, Gondwana y Laurasia. 1
1.1.2. Teoría de la Deriva Continental. 4
1.1.3. Teoría Tectónica de Placas. 6
1.1.4. Placas Tectónicas. 8
1.2. Conceptos Glaciológicos. 14
1.2.1. Definición de Glaciar. 14
1.2.2. Clasificación del Glaciar según su estado físico. 22
1.2.3. Clasificación del Glaciar según su dinámica. 24
1.2.4. Clasificación del Glaciar según su forma. 24
1.2.5. Clasificación del Hielo según su color. 30
1.3. Descubrimientos y Exploraciones. 32
1.3.1. *Terra Australis.* 32
1.3.2. Primeros avistamientos. 32
1.3.3. Rutas de exploraciones. 34
CAPITULO II: Clima, meteorología y oceanografía Antártica. 40
2.1. Clima Polar y desierto nival. 41
2.1.1. Características del clima de tundra. 41
2.1.2. Características del clima polar. 42
2.1.3. Distribución isobárica. 47
2.1.4. Depresiones en el Territorio Chileno Antártico. 49
2.1.5. Fenómeno Kernlose Winter. 52
2.2. Radiación Solar. 53
2.2.1. Radiación y calentamiento global. 53
2.2.2. Derretimiento de hielos. 54
2.3. Tiempo – Reloj. 58
2.4. Oceanografía Antártica. 62
2.4.1. Zonas de convergencia y divergencia Antártica. 63
2.4.2. Traslación de masas de agua. 65

2.4.3. Corrientes. 68
2.5. Reportes Meteorológicos. 71
CAPITULO III: Legislación Internacional y Tratado Antártico. 72
3.1. Reclamos Territoriales y Bases Antárticas. 72
3.1.1. Primeros Reclamos Territoriales. 72
3.1.2. Teorías propuestas para el reparto de la Antártica. 73
3.1.3. Actuales reclamos de Territorios Antárticos. 76
3.1.4. Bases Antárticas. 78
3.2. Chile Antártico. 79
3.2.1. Territorio Chileno Antártico. 79
3.2.2. Organismos encargados de la actividad Antártica nacional. 80
3.2.3. Centro de Estudios Científicos (CECS). 84
3.3. El Sistema del Tratado Antártico 87
3.3.1. El Tratado Antártico. 87
3.3.2. Acuerdos Complementarios al Sistema del Tratado Antártico. 96
3.3.3. Organismos Internacionales de Cooperación Científica. 106
3.4. Año Polar Internacional. 110
3.4.1. Objetivos del API. 110
3.4.2. Anteriores Jornadas Dedicadas a la Investigación. 111
3.4.3. Participación de Chile en el API 2007-2009. 113
CAPITULO IV: Navegación con rompehielos. 114
4.1. Características. 114
4.1.1. Diseño. 114
4.1.2. Mecánica del hielo. 117
4.1.3. Casco y estructuras. 127
4.1.4. Requerimientos de Clasificación. 132
4.1.5. Maquinaria propulsora. 134
4.1.6. Maquinaria auxiliar. 143
4.1.7. Maniobrabilidad. 147
4.2. Precauciones durante la navegación 153
4.2.1. Precauciones respecto de las máquinas y equipos. 153
4.2.2. Precauciones respecto del personal a bordo. 154
4.2.3. Precauciones en navegación. 155
4.2.4. Gobierno en presencia de témpanos y campos de hielo. 156
4.2.5. Cuidado y uso de los instrumentos de navegación. 160
4.3. Equipos de Comunicación. 163

4.3.1. Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima. 163
4.3.2. Equipos mínimos exigidos según la nave. 166
4.3.3. Apoyo de la Armada de Chile en siniestros en la Antártica. 168
4.4. El Caso Explorer. 171
4.4.1. Características de la nave. 171
4.4.2. Cronología del hundimiento. 171
CAPITULO V: Plan de viaje y navegación en aguas Antárticas. 174
5.1. Antes de zarpar. 175
5.1.1. Conocimiento de la nave. 175
5.1.2. Plan de viaje. 177
5.2. Punta Arenas a Isla Lennox. 179
5.2.1. Punta Arenas a Seno Magdalena. 180
5.2.2. Seno Magdalena a la Boca Occidental del Canal O’Brien. 181
5.2.3. Boca Occidental del Canal O'Brien a Canal Beagle. 183
5.2.4. Canal Beagle a Isla Lennox por Canal Murray. 185
5.3. Isla Lennox a Isla Rey Jorge. 189
5.4. Isla Rey Jorge a entrada N del Estrecho de Gerlache. 198
5.4.1. Costa N de la Isla Rey Jorge a Bahía Fildes. 198
5.4.2. Bahía Fildes a Bahía Chile. 203
5.4.3. Bahía Chile a Isla Decepción. 207
5.4.4. Isla Decepción a entrada N del Estrecho de Gerlache. 210
5.5. Entrada N del Estrecho de Gerlache a Estrecho Matha. 211
5.5.1. Entrada N del Estrecho de Gerlache a Puerto Lockroy. 211
5.5.2. Derrota en Puerto Lockroy. 213
5.5.3. Puerto Lockroy a Estrecho Matha. 214
5.6. Estrecho Matha a Bahía Neny. 217
5.6.1. Estrecho Matha a la boca de Bahía Neny. 217
5.6.2. Derrota en Bahía Neny. 218
5.7. Bahía Neny a Estrecho Matha. 220
5.8. Estrecho Matha a Entrada N del Estrecho de Gerlache. 221
5.8.1. Estrecho Matha a Canal Lientur. 221
5.8.2. Derrota en Bahía Paraíso. 222
5.8.3. Canal Lientur a entrada N del Estrecho de Gerlache. 224
5.9. Entrada N del Estrecho de Gerlache A Isla Rey Jorge. 225
5.10. Isla Rey Jorge a Isla Lennox. 226
5.11. Isla Lennox a Punta Arenas. 233

5.11.1. Isla Lennox a Canal Beagle por Canal Murray. 233
5.11.2. Canal Beagle a la boca Occidental del Canal O’Brien. 233
5.11.3. Boca Occidental del Canal O’Brien a Seno Magdalena. 234
5.11.4. Seno Magdalena a Punta Arenas. 235
CONCLUSIONES 236
BIBLIOGRAFÍA 238
ANEXO 1: Clasificación de las nubes. 241
ANEXO 2: Bases Antárticas. 243
ANEXO 3: Listas de Chequeo. 245
ANEXO 4: Cartas Náuticas. 266

**RESUMEN.**

La Antártica es el continente más remoto, frío y desértico del planeta. Aquí se concentra el 90% de todos los hielos del mundo y el 70% del agua dulce, por éste motivo el territorio Antártico es tan importante para la humanidad, pues constituye nuestra principal reserva de agua dulce.

Existen diversas razones para querer conectar el continente blanco con el resto del mundo, como mantener operativas las bases científicas, controlar las líneas de acción del Tratado Antártico, realizar expediciones de carácter científico, colaboración en la búsqueda y salvamento de naves o, simplemente, desarrollar el turismo.

En el presente trabajo se realiza una navegación simulada a través de las rutas más transitadas de las aguas Antárticas, revisando diversos procedimientos y maniobras que apuntan a una navegación segura.

Además de revisar conceptos glaciológicos, históricos y legislativos con el objetivo de entender el origen del continente y la protección a los ecosistemas que allí habitan, se estudia también la diferencia entre los buques diseñados especialmente para operar en estas zonas y los buques convencionales, todo estos puntos con el fin de capacitar a las tripulaciones idóneas para las difíciles travesías por estas latitudes.

**SUMMARY.**

Antarctica is the remotest, coldest, and driest continent of the planet. The 90% of the worldwide ice and the 70% of fresh water are concentrated here. Being the principal fresh water reserve, Antarctica is considered of the highest importance to the mankind.

Many reasons exist to keep the white continent connected with the rest of the world, like: to maintain operative scientific stations, to control the Antarctic Treaty System lines of action, to carry out scientific research expeditions, to help and collaborate with ship search and rescue, or simply to develop tourism.

The present thesis makes simulated ship navigation throughout the most traveled routs of the Antarctic waters going through the many procedures and technical operations leading to a safe navigation.

Besides a glacial, historic and legislative concepts overview trying to find the origin of the Antarctic continent and studying the ecosystems preservation there, this work also studies the difference between normal and specially designed ships to sail these icy and specific areas aiming to teach and train the suitable crew and support personnel to sail and operate this zone.

## INTRODUCCIÓN.

La Antártica, gracias a su ubicación austral y la dureza de su clima, propone condiciones difíciles de dominar y paisajes difíciles de encontrar en otro lugar del mundo. Estas características despertaron la curiosidad de muchos exploradores desde inicios del siglo XIX que buscaron sin cesar las tierras desconocidas del Sur, con el pensamiento que debían existir para equilibrar a las tierras conocidas del Norte.

Hoy en día la curiosidad de los primeros exploradores se ha transformado en interés científico, turístico o geopolítico. Sin importar el motivo del gran interés suscitado por esta tierra, se hace necesario integrar y conectar el continente blanco con el resto del mundo.

Al iniciar cualquier empresa la recopilación de información para la posterior planificación es esencial, pues el éxito o el fracaso depende de una adecuada organización, más aún, si se trata de una travesía náutica por la Antártica se debe tener en cuenta que hay vidas humanas de por medio en condiciones extremas. Sin una adecuada planificación no sólo se juega con la vida de la tripulación, sino con la vida de la gente que subsiste gracias a que estas naves llegan operativas a buen puerto; existen bases Antárticas que se abastecen por este medio sólo algunas veces al año de alimentos, medicinas, insumos y elementos de supervivencia.

El trabajo que a continuación se presenta tiene como objetivo mostrar diversos aspectos prácticos de una tierra tan lejana y enigmática como lo es la Antártica. Aspectos como su origen, organización política y legislativa, cuidados con el medio ambiente y la intervención del ser humano a través de la historia son revisados con el fin de considerar las dificultades y necesidades al momento de planificar una travesía Antártica.

**CAPITULO I:**
**FORMACIÓN DEL CONTINENTE ANTÁRTICO.**

## 1.1. FORMACIÓN DE LA TIERRA Y ORIGEN DEL CONTINENTE ANTÁRTICO.

### 1.1.1. Pangea, Gondwana y Laurasia.

En un comienzo toda la corteza terrestre estaba unida en un sólo gran continente llamado Pangea; este nombre, que proviene del griego y significa “todas las tierras”, fue asignado por el geofísico, astrónomo y meteorólogo alemán Alfred Wegener. El súper continente estaba formado por la unión de todos los actuales continentes que conocemos y existió durante la Era Paleozoica (que se inició hace 542 millones de años y acabó hace unos 251 millones de años), y la Era Mesozoica (que se inició hace 251 millones de años y finalizó hace unos 65 millones de años).

El origen de Pangea se produjo al final del Período Pérmico (aproximadamente hace 300 millones de años) cuando de las aguas emergió este territorio continental, el cual fue rodeado por único mar llamado Pantalasa. La forma original de este continente fue una masa de tierra en forma de C alrededor del ecuador, esto permitió que los animales terrestres emigraran libremente del polo sur al polo norte, pues como el tamaño de Pangea era muy amplio pudo ser que las regiones internas de este continente fueran muy secas debido a la falta de precipitaciones.

Figura 1.1: Distribución inicial del súper continente Pangea, se observa la forma de C alrededor del ecuador. Las líneas señalan las masas de tierras que se separaron para dar origen a los actuales continentes.
Fuente: Sitio web “Canadian Geografic Magazine”

Se estima que, producto de los cambios y movimientos de las placas tectónicas, Pangea habría comenzado a fragmentarse entre finales del Triásico y comienzos del Jurásico (hace aproximadamente 200 millones de años). El proceso de fragmentación del supercontinente condujo primero a dos continentes, Gondwana al S y Laurasia al N, separados por un mar circunecuatorial llamado Mar de Tetis que lentamente se extendió al W y que se relaciona con la actual cuenca del Mediterráneo.

Posteriormente, el continente Gondwana se fue fragmentando en subcontinentes por fracturas en la corteza terrestre, estos subcontinentes emprendieron una deriva que se mantiene hasta el día de hoy y que da origen a la “Teoría de la Deriva Continental”, de este modo Gondwana habría empujado el geosinclinal del Mediterráneo (fosa alargada y de poca profundidad) contra los continentes boreales (actuales Noruega, Alaska y Siberia) provocando el desplazamiento hacia el N de los Alpides Euroasiáticos.

En el año 1970, los científicos Robert Dietz y John Holden publicaron una reconstrucción preliminar de la fragmentación de Pangea. De esta forma se puede decir que hasta la etapa del Jurásico medio (aproximadamente 180 millones de años atrás), la enorme placa se fragmentó en dos: por una parte Laurasia, que contendría a lo que actualmente es Norteamérica y Eurasia (Europa y Asia), y por otra parte Gondwana, formada por Sudamérica, África, Australia, Antártica y Nueva Zelanda. Luego de la primera fragmentación, se produciría la fragmentación de Gondwana, que originó la India hace 60 millones de años, ésta al chocar con las placas de Eurasia originó los Himalayas; luego se separaron Sudamérica de Australia, posteriormente Sudamérica de África, originando así el Atlántico Sur y finalmente Australia de la Antártica.

África, que constituía algo así como el núcleo central de Gondwana, sigue fragmentándose, aunque muy lentamente. En un pasado relativamente cercano se separó de Arabia, que sigue alejándose hacia el NW al ir ensanchándose el Rift del Mar Rojo. Las zonas de los Rift son áreas donde la presencia de grietas indica que la corteza está sufriendo divergencia y extensiones, estas zonas son producto de la separación de las placas tectónicas.

En el siguiente esquema es posible observar todas las fragmentaciones de la tierra desde la era del Paleozoico (período Pérmico) hasta la configuración que conocemos hoy, y a continuación se presenta una tabla con las eras, períodos y épocas de la tierra.

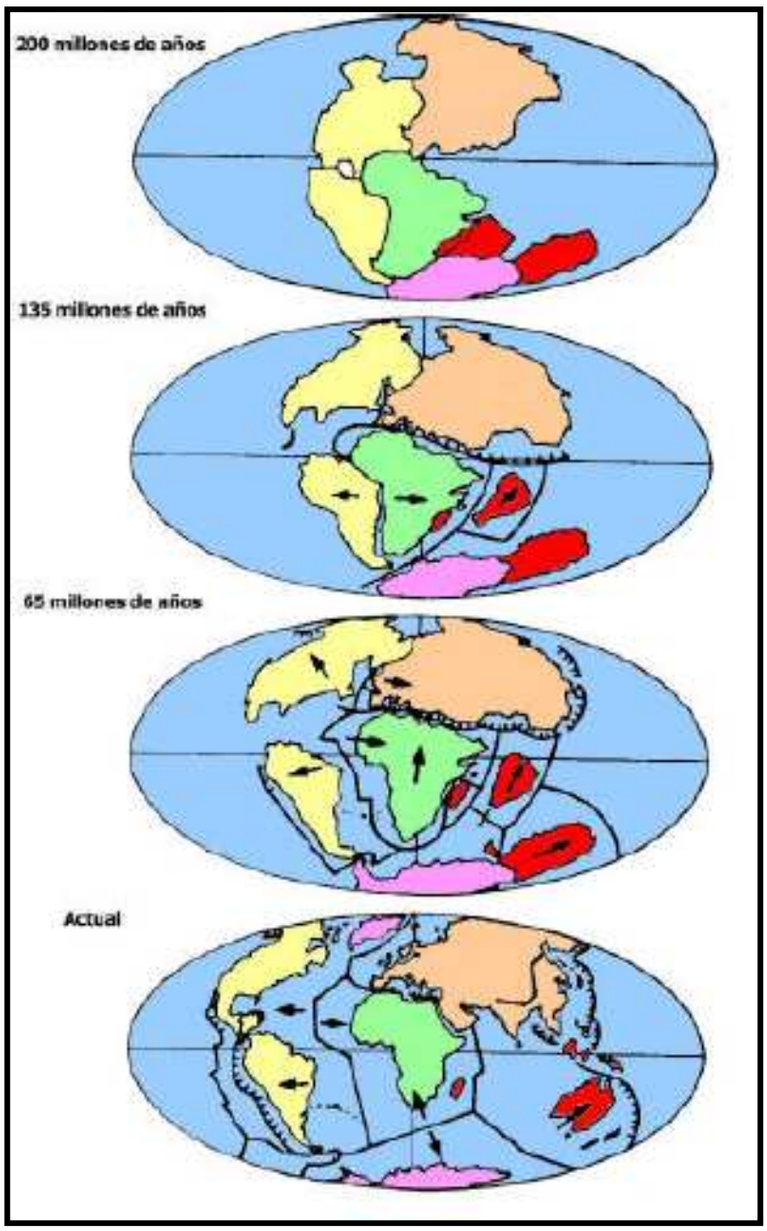



Figura 1.2: Esquema de las fragmentaciones de los continentes desde su agrupación en el único continente Pangea hasta la situación actual, adaptado de Dietz y Holden.
Fuente: “La Tierra, Tectónica y Sismicidad”, del Instituto Geofísico del Perú.

Se cree que la Antártica no siempre fue helada, ya que algunos científicos han encontrado fósiles de plantas, árboles y animales de climas más cálidos; pues cuando la Antártica formaba parte de Gondwana, se encontraba más al N que su posición actual. Era un continente con montañas y tierras bajas como cualquier otro, ya que hasta hace unos 38 millones de años los glaciares comenzaron a cubrir este continente completamente, hasta convertirse en lo que es hoy.

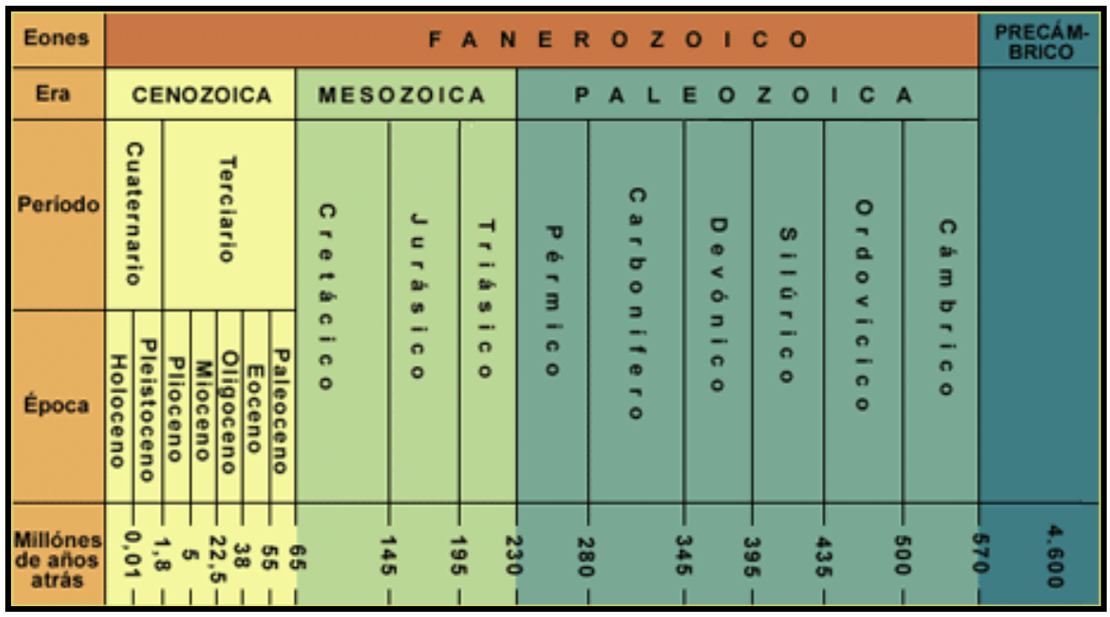



Figura 1.3: Cuadro de eras geológicas.
Fuente: Teoría Tectónica de Placas, Portal de los siete mares.

1.1.2. Teoría de la Deriva Continental.

1.1.2.1. Estructura de la Tierra.

La tierra está constituida principalmente por cuatro zonas concéntricas: la corteza terrestre que es una capa muy delgada, con espesor aproximado de 5 a 10 Km. en los océanos, un promedio de 30 Km en los continentes y hasta 70 Km en las zonas cordilleranas. Separado de la corteza por la Discontinuidad de Mohovoric, está el manto hasta los 2.891 Km. de profundidad. Otra discontinuidad, llamada la Discontinuidad de Gutemberg, separa al núcleo del manto. El núcleo externo fluido, alcanza una profundidad de 5.150 Km. y más allá, hasta el centro de la tierra, a 6.356.751 Km. de profundidad, encontramos un núcleo interno sólido de composición granítica

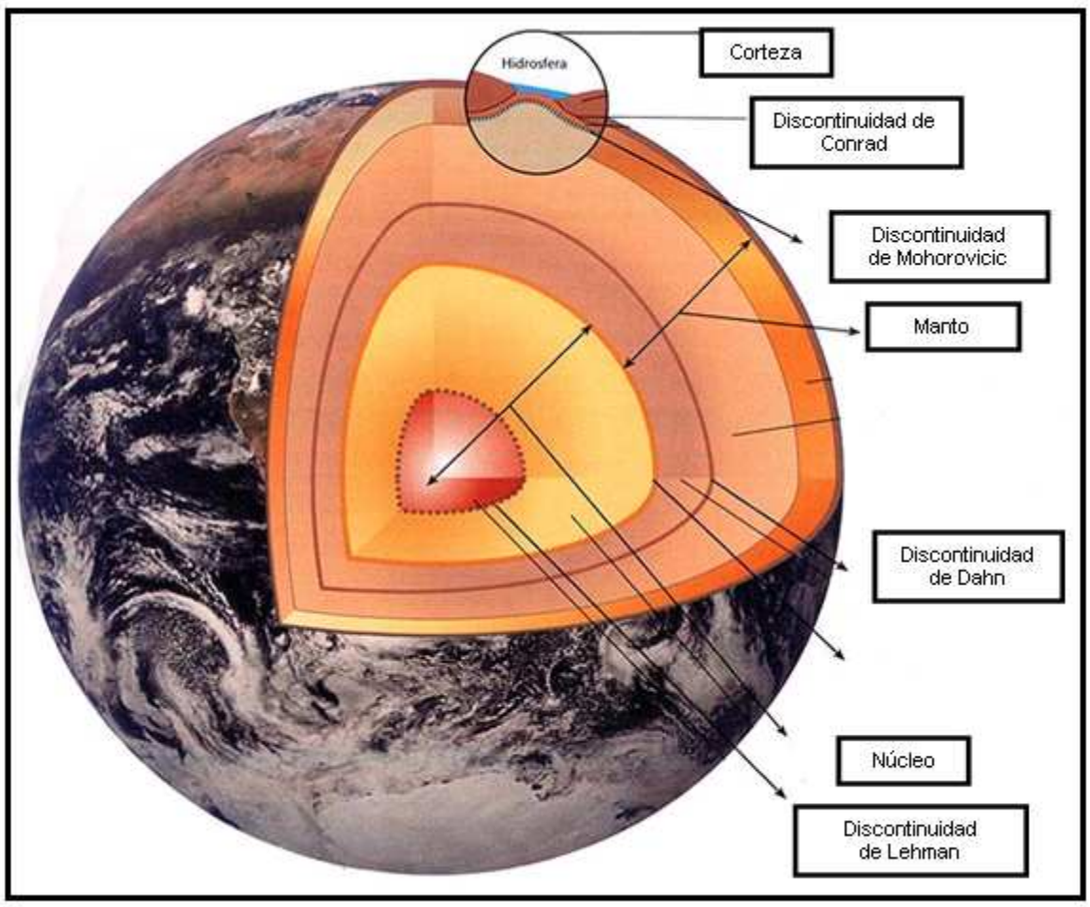



Figura 1.4: Estructura interior de la Tierra.
Fuente: Portal de los siete mares.

1.1.2.2. Desarrollo de la Teoría de la Deriva Continental.

En la época en que Wegener expone sus ideas, entre 1911 y 1912, había dos teorías contrapuestas respecto a este tema. La primera era la Teoría Contraccionista que postulaba la existencia de puentes de tierra que emergían y posteriormente se hundían uniendo áreas continentales distantes, se explicando la distribución de organismos similares por zonas actualmente alejados. La segunda es la Teoría Permanentista; ésta proponía que los continentes siempre han estado en la posición que hoy tienen y explicaba la distribución geográfica de los organismos como su capacidad propia de dispersión por medio de corrientes marinas, mareas e incluso corrientes eólicas

La idea fundamental de Wegener era que los continentes estuvieron unidos en una época del pasado y que después derivaron sobre el piso oceánico hasta su actual posición, por lo tanto supone que los fondos marinos y los continentes están compuestos de distintos materiales y representan distintos tipos de corteza terrestre.

La Teoría de la Deriva Continental establece que Sudamérica debió haber estado junto a África, formando con ella un único continente dividido en el Cretácico en dos partes que luego se fueron agrietando y, por lo tanto, separando cada vez más. Es posible ver que los bordes de estos bloques concuerdan perfectamente en la actualidad.

Igualmente establece que Norteamérica, Europa y Groenlandia han estado juntas en el pasado, formando un único bloque. Este bloque se fragmentó a partir del Terciario Superior por medio de una fractura en Groenlandia, tras lo cual los fragmentos se separaron. Antártica, Australia y la India estaban situadas junto a Sudáfrica y Sudamérica hasta principios del Jurásico, formando un gran continente, parcialmente cubierto por mares someros, que en el transcurso del Jurásico, el Cretácico y el Terciario se fragmento en bloques aislados que derivaron en distintas direcciones.

Inicialmente la India estaba unida por un gran bloque cubierto totalmente de mares someros al continente asiático, tras la separación de Australia en el Jurásico inferior y de Madagascar, entre el Cretácico y al el Terciario, este bloque fue empujado por la India a Asia formando lo que hoy es la cadena montañosa de los Himalayas.

La Deriva Continental se habría presentado también en otras zonas, formando otras cadenas montañosas; por ejemplo el movimiento hacia el W del borde occidental de América originó la cadena montañosa de los Andes, que se extiende desde Alaska hasta la Antártica.

### 1.1.3. Teoría Tectónica de Placas.

#### 1.1.3.1. Origen de la Teoría.

La Teoría Tectónica de Placas (que proviene del griego *tekton* y significa el que construye) es una teoría geológica que explica la forma en que está estructurada la litósfera, porción externa más fría y rígida de la Tierra. La teoría da una explicación a las placas tectónicas que forman la superficie de la Tierra y a los desplazamientos que se observan entre ellas, sus direcciones e interacciones. También explica la formación de las cadenas montañosas, volcanes y el origen de los terremotos que se concentran en ciertas regiones del planeta, como el cinturón de fuego del Pacífico, o de por qué las grandes fosas submarinas están junto a islas y continentes y no en el centro del océano.

Esta teoría tiene su origen en la Teoría de la Deriva Continental de Alfred Wegener y en la Teoría de la Expansión del Fondo Oceánico. La primera si bien no fue aceptada por el mundo científico de la época por no poder explicar correctamente el motivo de estos movimientos continentales, fue una completa contribución a la geología moderna. Por lo tanto hacia la mitad del siglo XX surgió la Teoría de la Expansión del Fondo Oceánico, donde se origina el concepto de las corrientes de convección. Ambas teorías dan origen a la Tectónica de Placas y se le considera la teoría unificadora de las ciencias de la Tierra, ya que proviene de una gran cantidad de observaciones geológicas y geofísicas a través de la historia y aporta información sobre la estructura de los continentes, las cuencas oceánicas y el interior de la tierra.

1.1.3.2. El Concepto de la Tectónica de Placas.

Según la Teoría de la Tectónica de placas, la corteza terrestre está compuesta al menos por una docena de placas rígidas que se desplazan. Estas placas descansan sobre una capa de roca caliente, flexible y que fluye lentamente hasta la llamada astenósfera, zona del manto terrestre que está justo debajo de la litósfera aproximadamente entre 100 y 240 Km. bajo la superficie terrestre.

El concepto básico de esta teoría dice que las rocas que están bajo la superficie terrestre, o sea el material fundido de la astenósfera, también llamado magma, al calentarse cambia su densidad produciendo fuerzas de flotación y por lo tanto suben, mientras que la materia fría y endurecida se hunde cada vez más hacia el fondo, dentro del manto. La roca que se hunde alcanza las altas temperaturas de la astenósfera inferior, se calienta y comienza a ascender otra vez. Este movimiento continuo y circular, se denomina convección. En los bordes de la placa divergente y en las zonas calientes de la litósfera sólida, el material fundido fluye hacia la superficie, formando una nueva corteza. En zonas donde dos placas se mueven en direcciones opuestas (como la placa Africana y la de América del Norte), las corrientes de convección forman un nuevo piso oceánico, caliente y flotante, formando cordilleras oceánicas. A medida que las placas se alejan de estas cordilleras, éstas van enfriando, tornándose más densas y hundiéndose en el manto.

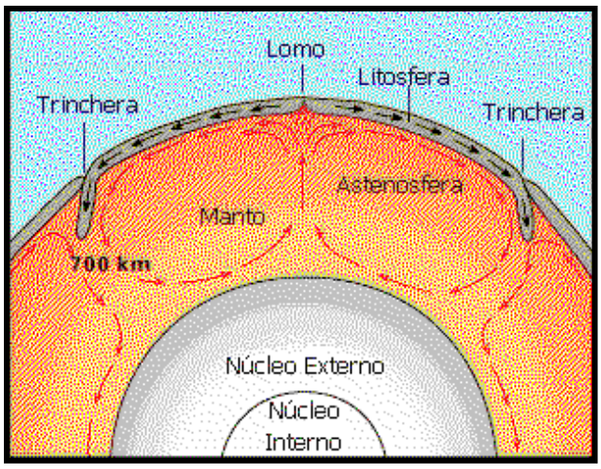



Figura 1.5: Detalle de las corrientes de convección en las zonas internas de la tierra.
Fuente: “Historia de la Tectónica de Placas”, Servicio Sismológico Nacional, México.

Las Placas Tectónicas se desplazan unas respecto de los otras con velocidades de entre 1 y 8 cm. por año, dado este desplazamiento es que las placas interaccionen en sus fronteras, provocando deformaciones en la corteza y litósfera dando origen a grandes cadenas montañosas, volcanes o fosas marinas. El contacto por fricción entre los bordes de las placas es responsable de la mayor parte de los terremotos.

### 1.1.4. Placas Tectónicas.

Una Placa Tectónica es un fragmento de la litósfera que se desplaza en un bloque rígido sin representar deformación interna para la astenósfera, éste movimiento es producido por las corrientes de convección y por la liberación de calor adquirido por la tierra.

La litósfera está dividida en 12 grandes placas y varias placas menores o microplacas. En los bordes de estas placas es donde se concentra la actividad sísmica, volcánica y tectónica, originando la formación de cadenas montañosas y cuencas. Hasta el momento la Tierra es el único planeta del Sistema Solar con placas tectónicas activas, aunque hay evidencias que Marte y Venus fueron tectónicamente activos en otros tiempos.

#### 1.1.4.1. Tipos de Placas.

Las placas litosféricas son de dos tipos dependiendo de la clase de corteza en su superficie

- Placas Oceánicas: Son placas cubiertas sólo por corteza oceánica y son muy delgadas. Están sumergidas en toda su extensión, excepto por las cordilleras volcánicas las cuales aparecen en la superficie en forma de islas o grupos de islas; por ejemplo la placa Pacífica, la placa de Nazca, la placa de Cocos y la placa Filipina.

- Placas Mixtas: Están cubiertas en parte por corteza continental y en parte por corteza oceánica, y es en esta clasificación donde entran la mayoría de las placas.

1.1.4.2. Límites de Placas.

- Límites convergentes o destructivos: Son también conocidos como bordes activos. Los bordes de las placas convergentes dependen del tipo de litósfera de las placas que chocan, existen tres casos.

    a. Si una placa oceánica (más densa) choca contra una placa continental (menos densa) la placa oceánica es empujada hacia abajo formando una subducción. En la superficie se genera una fosa oceánica en el agua y un grupo de montañas en la tierra.

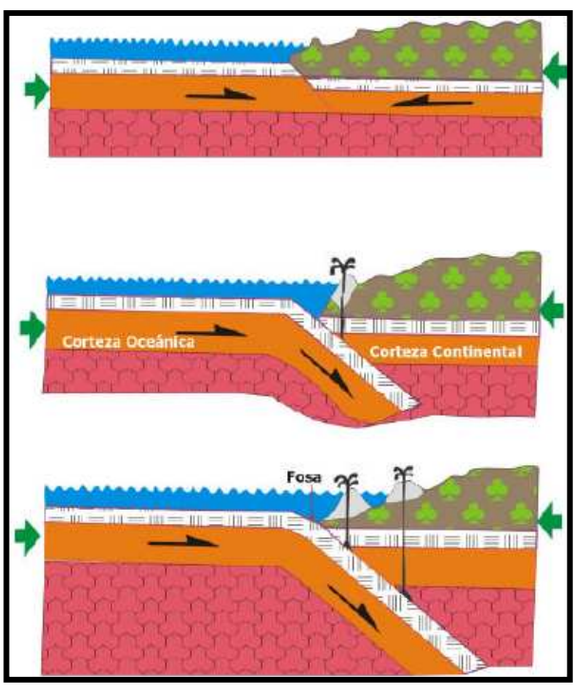



Figura 1.6: Secuencia de la formación de una zona de subducción por colisión de una placa oceánica contra una continental.
Fuente: “La Tierra, Tectónica y Sismicidad”, del Instituto Geofísico del Perú.

b. Cuando dos placas continentales colisionan aparecen extensas cadenas montañosas formando un borde de abducción. La cadena del Himalaya es el resultado de la colisión entre la placa Indoaustraliana y la placa Euroasiática.

c. Cuando dos placas oceánicas chocan el resultado es un arco de islas, como Japón.

- Límite Divergente o Constructivo: Son las zonas de la litósfera en que se forma nueva corteza oceánica y en las cuales se separan las placas. En los límites divergentes, las placas se alejan y el vacío que resulta de esta separación es rellenado por el material de la corteza, que surge del magma de las capas inferiores. Se cree que el surgimiento de bordes divergentes en las uniones de tres placas está relacionado con la formación de puntos con gran actividad volcánica, llamados puntos calientes. En estos puntos, se junta material de la astenósfera cerca de la superficie y la energía cinética acumulada es suficiente para hacer pedazos la litosfera. Un ejemplo de este tipo de límite son las dorsales oceánicas, y en los continentes las grietas como el Gran Valle del Rift.

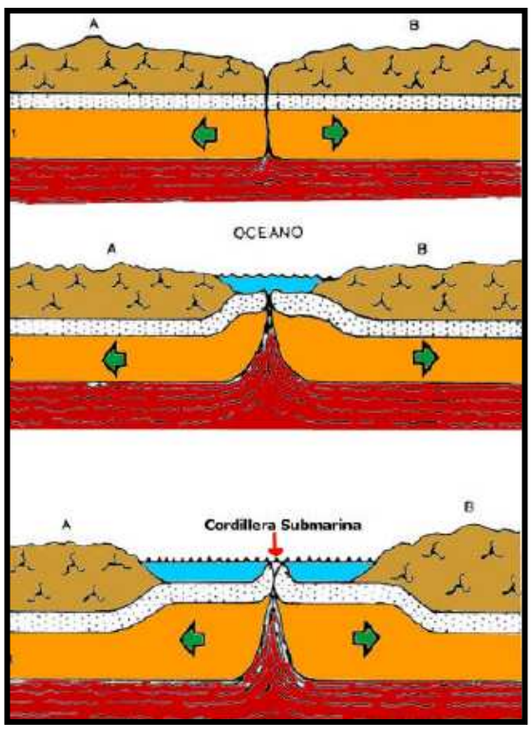
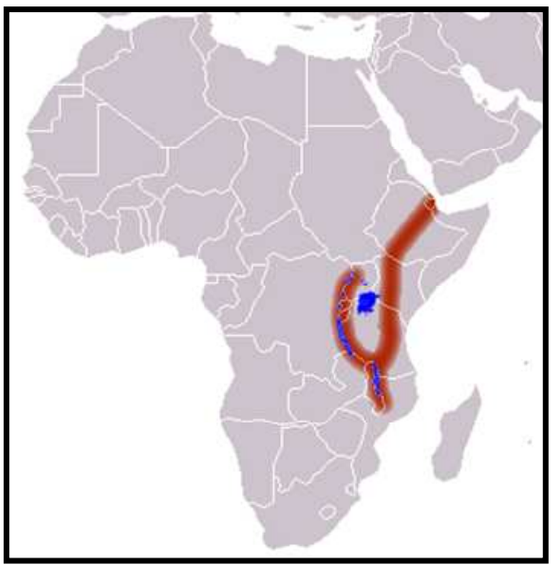



Figura 1.7: Secuencia de la separación de dos continentes, creación entre ellos de una cordillera submarina
Fuente: “La Tierra, Tectónica y Sismicidad”, del Instituto Geofísico del Perú.



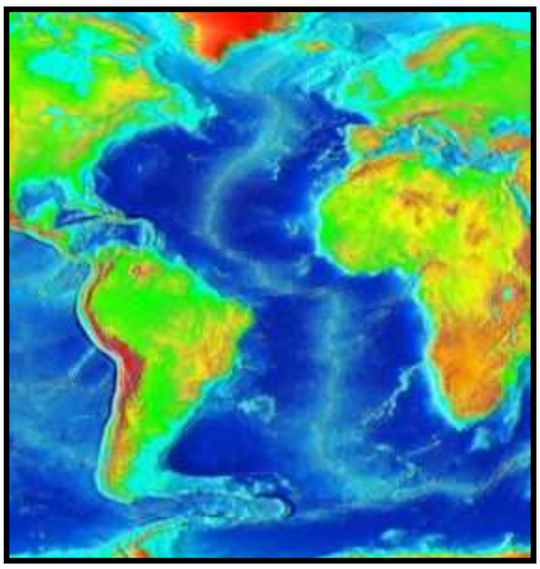


Figura 1.8 y 1.9: A la izquierda el Gran Valle del Rift, con una extensión total de 4.830 km que abarca desde el Mar Rojo al Valle de Jordán. A la derecha la Dorsal Mesoatlántica que se extiende desde el paralelo 87º N hasta a unos 1700 Km de la Antártica, transformándose aquí en la dorsal indico-atlántica. En algunos puntos esta dorsal supera el nivel del mar, formando islas.

- Límite Transformante o Conservativo: El movimiento de las placas a lo largo de las fallas de transformación puede causar considerables cambios en la superficie. Debido a la fricción las placas no se deslizan en forma continua, sino que se acumula tensión en ambas placas hasta llegar a un nivel de energía que sobrepasa el necesario para producir movimiento. La energía potencial acumulada es liberada como presión o movimiento en la falla, dependiendo de la cantidad de energía, estos movimientos pueden ocasionar terremotos en distinta escala. Un ejemplo de este tipo de límite es la falla de San Andrés, es parte del sistema de fallas por el roce entre la Placa de Norteamérica y la del Pacífico.

1.1.4.3. Placas Tectónicas.

- Placa Africana: placa tectónica continental que cubre el África y que se extiende hacia el W hasta la dorsal mesoatlántica. Todos los límites de esta placa son divergentes, excepto el límite con la placa Euroasiática. En esta placa se ubica el Gran Valle del Rift, se han encontrado algunas evidencias que ésta fractura se está separando una parte del continente y podría formar otra placa y por lo tanto otro continente.

- Placa Antártica: Cubre toda la Antártica y se extiende hacia fuera debajo de los océanos abarcando casi 17 millones de $km^2$.

- Placa Arábica: Ocupa la Península Arábica, En algunos lugares de Turquía se producen frecuentes terremotos pues se encuentra el límite entre ésta y la placa Euroasiática.

- Placa Australiana: Se subdivide en dos placas a lo largo de un límite de baja actividad, éstas son la placa Australiana y la placa India Continental.

- Placa de Cocos: Se origina al separarse del piso de mar a lo largo del extremo E de la placa Pacífica, a ésta área se le llama Sistema de Separación Cocos-Nazca.

- Placa del Caribe: Tiene 3,2 millones de $km^2$ de superficie, incluye una parte continental de América Central y es el fondo del Mar Caribe.

- Placa Escocesa: Se ubica al S de la Placa Sudamericana y al N de la Placa Antártica.

- Placa Euroasiática: Contiene un territorio aproximado de 677 millones de $km^2$, esto equivale a todo el continente Europeo y el Asiático, excepto la India, Arabia y una parte de Siberia.

- Placa Filipina: Está ubicada debajo del Océano Pacífico. En su lado E tiene un límite convergente con la placa Pacífica, originando la Fosa de Las Marianas.

- Placa Juan de Fuca: Se encuentra al SW de la placa Norteamérica.

- Placa de Nazca: Se encuentra en la parte oriental del Océano Pacífico, junto a la costa Sudamericana. En el borde oriental se produce una zona de subducción, originando la Cordillera de los Andes y la Fosa Chileno-peruana. Existen también tres microplacas en la zona de unión de ésta con otras placas: la microplaca de las Islas Galápagos, la de Juan Fernández y la de Isla de Pascua. La zona de subducción producida en las costas sudamericanas hace que sea una zona de alta actividad sísmica y volcánica.

- Placa del Pacífico: Abarca la mayor parte del Océano Pacífico y es la placa más grande del planeta, en esta placa se encuentra un “punto caliente” que da origen a las Islas Hawai. También se presentan en sus bordes convergentes la Fosa de las Aleutianas, la Fosa de las Marianas y en el borde transformante la Falla Alpina.

- Placa Norteamericana: Cubre América del Norte, Groenlandia, la parte occidental del Océano Atlántico Norte, una parte del Océano Glacial Ártico y una parte de Siberia.

- Placa Sudamericana: Abarca Sudamérica y una parte del océano Atlántico Sur. El límite convergente en el W dio origen a la Cordillera de los Andes y a la Fosa chileno-peruana. Al E el límite divergente con la placa Africana permitió la aparición del Océano Atlántico y la Dorsal Mesoatlántica.

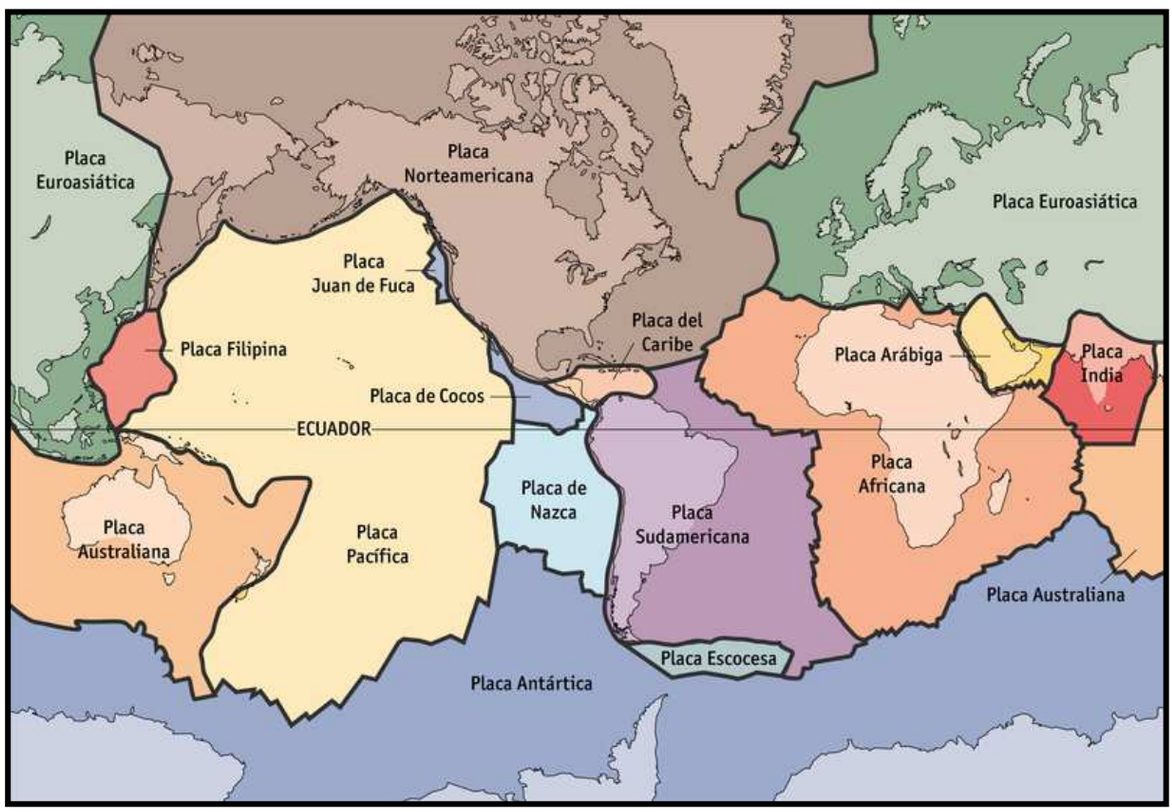



Figura 1.10: Distribución de Placas Tectónicas en el Planeta.
Fuente: “La Tierra, Tectónica y Sismicidad”, del Instituto Geofísico del Perú.

## 1.2. CONCEPTOS GLACIOLÓGICOS.

La glaciología es una ciencia que estudia los múltiples fenómenos actuales y de edad geológica de la Tierra relacionados con la extensión, distribución, causas, características, procesos, dinámicas, clasificaciones e implicancias del agua en estado sólido en todas las formas que ésta se presente en la naturaleza, por ejemplo glaciares, nieve, granizo, neviza, etc. Esto incluye al agua presente en suelos, nubes, océanos, lagos, ríos e incluso en otros planetas del sistema solar. En este apartado estudiaremos al glaciar, sus características, origen y formación.

Hay que recordar que la Antártica es un Continente de Hielo formado hace millones de años, en cambio el Ártico es un océano cubierto de banquisa eterna, esto es, una capa de hielo flotante que se forma en los polos y que se renueva cada año.

- Banquisa Ártica: esta banquisa es permanente y cada año se funde en las partes cercanas a los continentes. En marzo alcanza los 15 millones de $km^2$, mientras que en septiembre sólo alcanza 6,5 millones de $km^2$.

- Banquisa Antártica: la mayor parte de esta desaparece en el verano, con una extensión aproximada en marzo de 2,6 millones de $km^2$, y se vuelve a formar en invierno, con una extensión aproximada en septiembre de 18,8 millones de $km^2$

El Continente Antártico está rodeado de campos de hielos que en invierno avanzan hasta los 54º de latitud S en el Océano Atlántico y hasta los 64º S en el Océano Pacifico, aproximadamente. Las corrientes oceánicas arrastran témpanos a la deriva hasta que estos se derriten, habiendose avistado témpanos hasta el paralelo 35º S en el océano Índico y en el Atlántico.

### 1.2.1. Definición de Glaciar.

Los Glaciares son grandes masas de hielo que cubren los polos del planeta y las zonas altas de las grandes cadenas montañosas del mundo. Éstos son los restos de la gran cobertura de hielo que se extendió sobre una buena parte de las altas latitudes de la tierra durante las últimas glaciaciones del Período Cuaternario. Su mayor importancia es la gran reserva de agua dulce para la humanidad.

Un glaciar está definido como “toda masa de hielo perpetuo, formada por la acumulación de nieve, cualquiera sean sus dimensiones y formas, ésta masa de hielo puede fluir por deformación, por deslizamiento basal y por el deslizamiento de sedimentos subglaciales”.

En cierta forma esta definición puede llevar a confusión pues también la nieve invernal muestra propiedades de flujo como los glaciares y por el contrario existen grandes masas de hielo que no muestran estas propiedades. De todas formas la definición antes expuesta es la más aceptada en el mundo de la glaciología.

En términos simples, los glaciares se forman por la caída de nieve una y otra vez, con el peso propio de ésta sobre las capas anteriores se liberan de las burbujas de aire insertas en la nieve, contribuyendo a la compactación. Este proceso se llama Diagénesis y es una modificación física de las propiedades de la nieve, que es de textura blanda y esponjosa, para convertirla en una estructura cada vez más dura por el aumento de la densidad de los granos, favoreciendo su transformación en Neviza.

La Neviza se caracteriza por un estado intermedio en la transformación de la nieve a hielo. Se constituye por los granos agrupados con densidad cercana a 600 $kg/m^3$, es de textura granular pues aún contiene burbujas de aire y de color blanco, un poco más traslucido que la nieve.

Luego de que la nieve se transforma en neviza por medio del proceso de diagénesis, la neviza se convierte en hielo mediante el mismo proceso. El hielo se define como las moléculas de agua en estado sólido con densidades superiores a los 800 $kg/m^3$, la cual puede variar por las impurezas existentes. La densidad del hielo puro es de 910 $kg/m^3$, lo que implica el bloque de hielo sin impurezas y de color azul cristalino. La neviza se diferencia del hielo cuando el paso del aire entre los granos queda completamente interrumpido. Así en el hielo de glaciar, el aire se presenta a modo de bolsas y todo incremento en la densidad resulta de la compresión de éstas. La porosidad fluctúa de un 99% en la nieve fresca a un 3% en el hielo de densidad cercana a los 800 $kg/m^3$, esta reducción progresiva indica los cambios en la circulación de aire y agua, entre las partículas de hielo.

Todo hielo, independiente de su origen y su aspecto físico, tiene la misma estructura cristalográfica, es decir, la misma configuración geométrica de los átomos de

Oxígeno y de Hidrógeno que lo constituyen. Lo que varía es el tamaño del cristal, que puede ir de microscópico a métrico, en el hielo puro.

El proceso de diagénesis se ve favorecido en los glaciares por la continua recongelación. El proceso de recongelación se define como la nieve o hielo que se funde durante el día, infiltrándose en los poros, expulsando el aire intercalado y volviéndose a congelar por el descenso de la temperatura en la noche. Esta continua recongelación forma escamas de hielo, intercalados en la neviza de las temporadas anteriores, favoreciendo y acelerando el proceso de transformación de la nieve en hielo. Una condición para que se produzca la recongelación es que el glaciar debe estar temperado, esto significa que su temperatura debe estar en el punto de fusión en toda su masa, según la presión a que esté sometido.

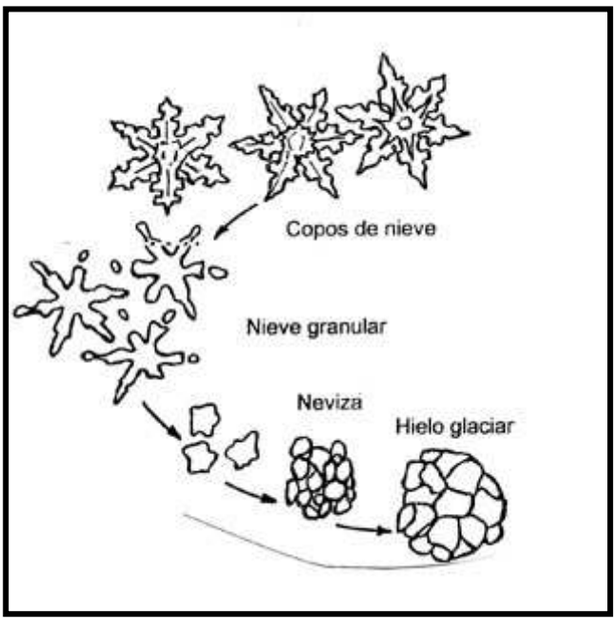



Figura 1.11: Diferencia estructural entre la nieve y el hielo glaciar, por medio del proceso de diagénesis.
Fuente: Nieves y Glaciares de Chile, Fundamentos de Glaciología

1.2.1.1. Estructura de un Glaciar.

La transformación de nieve a hielo tiene velocidades diferenciales y comportamientos característicos dependiendo del tipo de glaciar. Para entender mejor estos procesos se definen fases o zonas de un glaciar, según su naturaleza geofísica. No todos los glaciares presentan todas las zonas ni límites aquí descritos y pueden variar de una época a otra según las condiciones térmicas específicas del lugar.

1.2.1.2. Zonas de un Glaciar.

- Zona de nieve seca (Dry snow zone): En esta zona no hay fusión ni siquiera en verano. El límite entre esta zona y la siguiente se denomina línea de nieve seca (dry snow line). Ésta es muy difícil de encontrar en los glaciares del S de Chile, no así en los del N de Chile.

- Zona de percolación (Percolation zone): En esta zona ocurre cierta fusión en la superficie. El agua puede penetrar lentamente a las capas inferiores de la nieve hasta alguna profundidad a temperatura bajo 0 ºC antes de congelarse. Si el agua encuentra una capa relativamente impermeable, puede esparcirse lateralmente hasta que al recongelarse forma una capa de hielo o una escama de hielo. Como la congelación de 1 kg de agua libera suficiente calor como para elevar la temperatura de 160 kg de nieve en 1ºC, la congelación del agua de fusión es el factor más importante en el derretimiento de la nieve superficial.

- Zona de nieve húmeda (Wet snow zone): En esta zona hacia fines del verano, toda la nieve depositada desde el término del verano anterior ha sido llevada a una temperatura de 0 ºC. Algo de agua de fusión penetra en las capas más profundas depositadas en años anteriores, aunque no necesariamente en cantidad suficiente como para elevar la temperatura en esas capas hasta 0 ºC. La percolación hasta estas capas puede ocurrir también en la parte más baja de la zona de percolación.

- Zona de hielo sobreimpuesto (Superimposed ice zone): En las zonas de nieve húmeda el material consiste en capas de hielo y escamas, separadas por nieve o neviza. A menores altitudes, se produce tal cantidad de agua de fusión que las capas de hielo se unen en una masa continua, llamado hielo sobreimpuesto. La zona de hielo sobreimpuesto se restringe a la región donde hay un incremento anual de hielo aflorando a la superficie y se forma en la parte baja de la zona humedecida. El límite entre las zonas de nieve húmeda y de hielo sobreimpuesto se denomina Línea de Nieve. El límite inferior de la zona de hielo sobreimpuesto se define como Línea de equilibrio, de suma importancia en el estudio del balance glacial pues por encima de ella el glaciar mantiene una ganancia de masa durante el año y bajo ella hay pérdida. Bajo esta línea se encuentra la Zona de Ablación donde se da inicio al proceso de fusión, formando escamas de hielo y grietas.

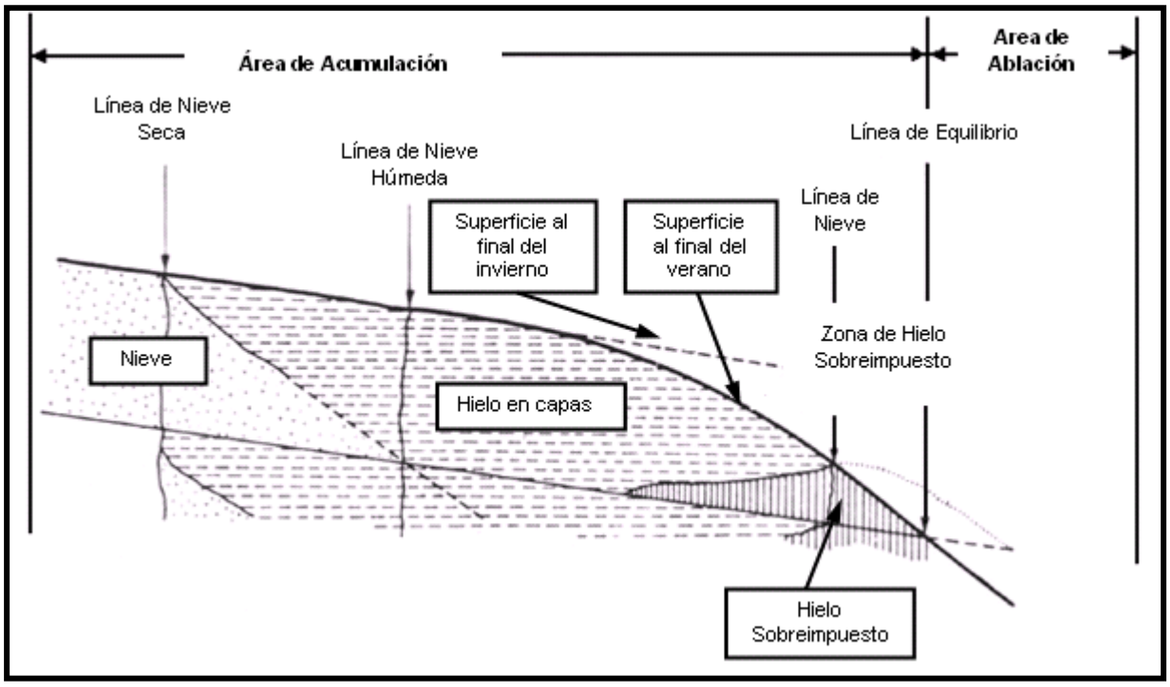



Figura 1.12: Límites de un glaciar en la zona de acumulación.
Fuente: Nieves y Glaciares de Chile, Fundamentos de Glaciología

1.2.1.3. Líneas de un Glaciar.

- Línea de Nieve Persistente: Es una línea en la superficie de la tierra, cortada por una superficie imaginaria en que la ablación es balanceada con la precipitación de nieve. Ésta aparece desigual e irregular por diferencias locales de precipitación o pendiente.

- Línea de Nieve Orográfica: Es formada los límites más bajos de la línea de nieves. Esta línea representa la menor altura a la que puede llegar la nieve sin fundirse.

- Línea de nieve persistente regional: Es la línea hipotética, que excluye las irregularidades causadas por la topografía, generada como un promedio aproximado de la altitud de la línea de nieve de una serie de glaciares de una región determinada.

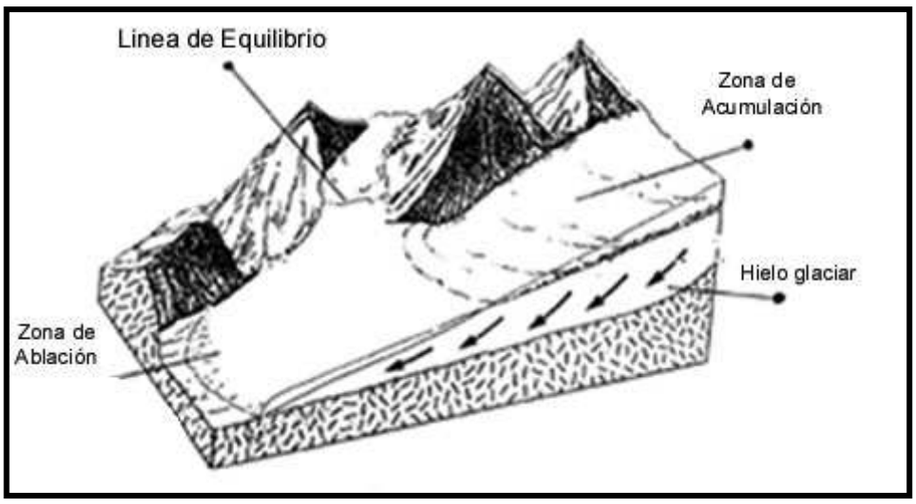



Figura 1.13: Líneas presentes en un glaciar.
Fuente: Nieves y Glaciares de Chile, Fundamentos de Glaciología

1.2.1.4. Balance de Masa.

Se define como la suma algebraica de los montos de alimentación, ganancia de masa, y de la ablación, pérdida de masa. Si la suma es positiva entonces el glaciar aumenta su volumen, si la suma es negativa, el volumen disminuye. Se supone que la igualdad de esta suma se produce en la línea de equilibrio, aunque no siempre ocurre así.

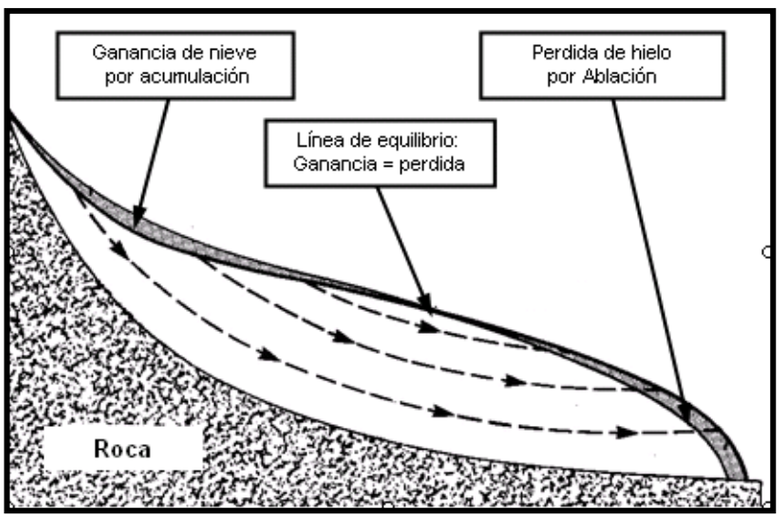



Figura 1.14: Se señala la línea de equilibrio del glaciar, por encima de ella la zona de acumulación y por debajo la zona de ablación.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”.

La alimentación es función de la caída de nieve y la existencia de factores secundarios como la lluvia que se transforma en escarcha en la superficie del glaciar infiltrándose en la nieve para congelarse en la profundidad, la neblina blanca que se congela como resultado del contacto de la humedad del aire con el glaciar, el granizo y toda forma de agua sólida que se deposite en el glaciar. Además deben considerarse los aportes indirectos por avalanchas y nieve a la deriva, que es transportada por el viento en especial durante las tormentas en las altas cordilleras. Estos factores dependen de la topografía, la orientación del centro montañoso y el régimen climático imperante.

La ablación es el resultado de una serie de cambios climáticos contrarios entre sí producidos en la superficie del glaciar que está en contacto con la atmósfera y el hielo subyacente, incluye varios factores complejos como la fusión provocada por el aumento de temperatura, las infiltraciones, la evaporación que se efectúa en forma rápida en los días de verano muy calurosos o en forma lenta por sublimación de la nieve.

1.2.1.5. Balance Térmico.

La energía recibida por un campo de hielo depende del espesor de aire atravesado, las condiciones climáticas de nubosidad, altitud, elevación del sol sobre el horizonte y ángulo del zenit, que es ángulo formado en la proyección geográfica del observador en la esfera celeste (zenit) entre la línea imaginaria que pasa por el horizonte y la línea que pasa por el astro y el zenit.

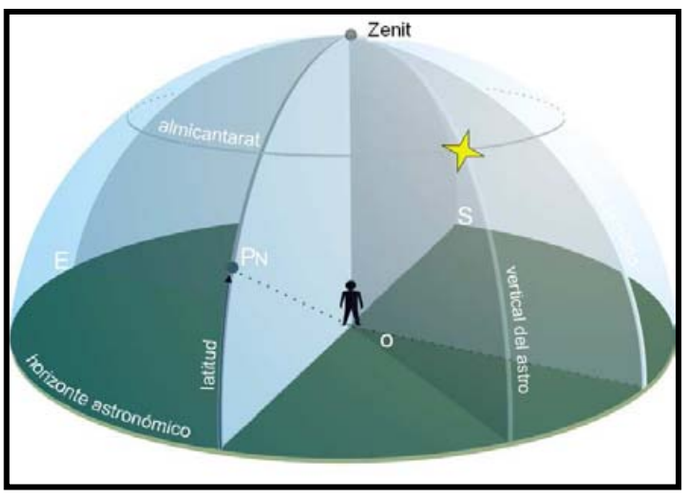



Figura 1.15: Semiesfera celeste visible por encima del horizonte del observador. El punto sobre el observador es el Zenit y la línea que pasa entre el Zenit y el astro es señalada como vertical del astro.

La nieve absorbe una parte de esta radiación solar incidente, la cual se deduce de la ecuación de balance de radiación para un glaciar, según las distintas condiciones climáticas. Para el estudio de la radiación solar incidente es vital el concepto de Albedo.

El Albedo es el porcentaje de radiación incidente, o coeficiente de reflexión, que es reflejada a la atmósfera y se mide en “alfa”, por ejemplo, un glaciar recibe 1 alfa de la radiación que llega a su superficie. El nivel de rechazo, o reflectancia, que tenga el glaciar dependerá del color superficial, estructura cristalina, características físico-químicas del entorno y composición litológicas de las rocas presentes sobre el glaciar o en sus alrededores. Un aumento en los gases invernadero disminuye el Albedo, lo mismo que el aumento de polvo atmosférico debido a emisiones volcánicas. En cualquiera de los dos casos se interpone la materia adicional entre la superficie del planeta y el universo, diminuyendo el retorno de energía al universo. Desde un punto más general, el albedo, es la relación de la luz reflectada desde una partícula o un satélite, con la luz incidente; por eso el valor del albedo es siempre menor o igual a uno.

Tabla 1.1: Porcentaje de Albedo para cada tipo de superficie presente en un glaciar.
Fuente: Lliboutry (1956:69)

| **Tipo de Superficie** | **Albedo (%)** |
|---|---|
| Nieve fresca o escamosa, costra de viento | 0.88 – 0.81 |
| Nieve vieja seca, costra de sol | 0.81 – 0.65 |
| Nieve en fusión | 0.65 – 0.43 |
| Hielo | 0.50 – 0.43 |
| Nieve o hielo cubiertos de impurezas | 0.45 – 0.30 |

La radiación total que llega a la superficie terrestre se compone de la suma de la radiación solar, que es la que más contribuye a la radiación total, y la radiación difusa del universo. En el borde externo de la atmósfera terrestre llega una radiación que equivale a 1,35 kW/m$^2$, esta cifra es conocida como la constante solar. De esta energía sólo un 60% llega al nivel del mar en latitudes medias.

Un aumento en los gases invernadero disminuye el Albedo, así como también el enriquecimiento de polvo atmosférico originado por la erupción de los volcanes. El material adicional se interpone entre la superficie del planeta y el universo, disminuyendo así el retorno de energía al universo. Las variaciones del Albedo global, son un hecho natural producido continuamente a lo largo de la historia geológica de

nuestro planeta, debido a variaciones de origen exogénito (fenómenos que se producen en la superficie terrestre) y endogénico (fenómenos que se producen en las capas interiores de la tierra) como la deriva continental y los cambios en la distribución en los mares y continentes.

1.2.2. Clasificación del Glaciar según su estado físico.

Se clasifican según la temperatura de la masa de hielo, se distinguen tres categorías:

1.2.2.1. Glaciares Fríos.

Poseen una temperatura del hielo inferior a 0 ºC en la zona de alimentación. La ablación es escasa, por lo tanto la diagénesis es lenta. Por lo general una onda fría congela el total de la masa durante el invierno, impidiendo el aumento de temperaturas en el verano.

En Chile existen glaciares fríos en los Andes del N, pues se encuentran a gran altura, por lo que sus temperaturas oscilan entre los -20 a -15 ºC. La mayor parte de la Antártica también tiene carácter de glaciar frío, con escasa ablación.

1.2.2.2. Glaciares Temperados.

Posee en toda su masa la temperatura de fusión del hielo, temperatura que varía con la presión, y la presión depende en forma directa del espesor del hielo, de su densidad y de la aceleración de gravedad.

Por ejemplo, un glaciar cuya cota superficial está a nivel del mar, estará sometido en su superficie a una presión de 1 atm, que equivale a la presión ejercida sobre 1 $cm^2$ por una columna de 760 mm de Hg, a 0 ºC, considerando una aceleración de gravedad de 9.81 $m/s^2$. En este caso la temperatura del hielo en su masa superficial es de 0ºC, sin embargo en la medida que aumenta el espesor del hielo, se puede considerar un aumento de 0.1 atm de presión por cada metro de profundidad en el hielo. Por lo tanto la relación entre el punto de fusión del hielo y la presión está dada por la siguiente ecuación:

$$T_{PMP} = T_0 - O(H + h - z)$$

Donde:

$T_{PMP}$= Temperatura del punto de fusión en ºk.

$T_0$= Temperatura del punto triple del agua (273.15 ºk, equivalente a 0 ºC).

O= Relación entre la fusión y la presión.

H= Espesor del hielo (m).

h= Cota subglacial (m).

Z= Espesor donde se quiere obtener la temperatura de fusión (m).

De esta forma se puede calcular la relación entre la fusión y la presión como:

$$O = d \times g \times mg$$

Donde:

d= Densidad del hielo (910 kg/$m^3$)

g= Aceleración de gravedad (9.81 m/$s^2$)

mg = Depresión del punto de fusión:

- Para hielo puro y agua, sin aire, es de 0.074 $kMPa^{-1}$
- Para hielo puro y agua saturada de aire es de 0.098 $kMPa^{-1}$

Por ejemplo en la zona de acumulación del Glaciar del Campo de Hielo Sur de la Patagonia, a una cota superficial de 1.450 m sobre el nivel del mar y un espesor de 1.600 m, el punto de fusión de la base del hielo, estará aproximadamente a una temperatura de 1,4 ºC.

La explicación de este fenómeno es que el agua a una vez que se congela aumenta el volumen. Si consideramos un espesor como el mencionado en el párrafo anterior, es muy difícil la expansión del hielo, por que el punto térmico a que comienza la fusión está por debajo de los 0 ºC. La presencia de fusión a nivel basal, favorece el deslizamiento del hielo. La mayoría de los glaciares chilenos presentes en los Andes son de esta categoría.

1.2.2.3. Glaciares Politermales.

En algunos glaciares del Ártico canadiense la temperatura del hielo está por debajo del punto de fusión, sin embargo en la base pueden alcanzar temperaturas

cercanas al punto de fusión, lo que genera en alguna medida derretimiento estival. No se han detectado glaciares de este tipo en Chile.

1.2.3. Clasificación del Glaciar según su dinámica.

1.2.3.1. Glaciares Activos.

Son de movimiento rápido, asegurándose la evacuación de rocas, la alimentación es elevada y se da en la fase de progresión.

1.2.3.2. Glaciares Pasivos.

Son aquellos que fluyen lentamente. Se dificulta la evacuación de rocas y generación de morrenas (cordillera o manto de barro depositada o arrastrada cerca de un glaciar). Por lo general este tipo de glaciares están en retroceso.

1.2.3.3. Glaciares Inactivos

Son los que no tiene alimentación, sólo persisten por la lenta fusión de los hielos y no tienen movimiento.

1.2.4. Clasificación del Glaciar según su forma.

1.2.4.1. Casquetes de Hielo Continental (Ice Sheet o Ice Cap):

Es una gran masa de hielo que cubre un continente, como el caso de la Antártica u otras grandes extensiones como Groenlandia. Las partes más altas se denominan Domos que se caracterizan por tener poca pendiente, gran altura y un flujo limitado de hielo. Desde aquí nacen los principales glaciares que drenan el casquete de hielo por medio de las corrientes de hielo. Son glaciares fríos que presentan escasa alimentación. En términos de formación, se dice que estos glaciares se forman a sí mismos, o sea, que su presencia genera las condiciones climáticas, centros de altas presiones con bajas temperaturas, permitiendo su formación y mantención.

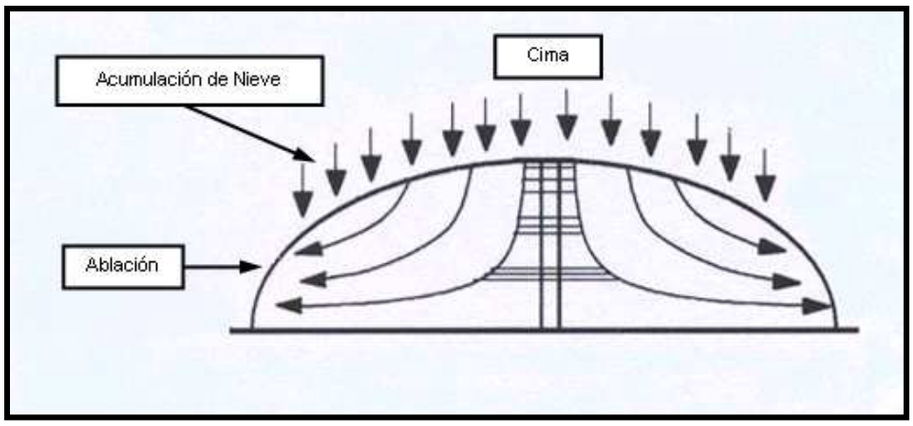



Figura 1.16: Esquema de los Casquetes de hielo continental.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”

1.2.4.2. Plataformas de Hielo Flotante (Ice Shelf)

Es la porción flotante de un glaciar cuyo frente termina en aguas oceánicas profundas. Las principales plataformas se encuentran en la Antártica como las plataforma de Ross, la plataforma de Ronne-Filchner, la plataforma de Armery y la plataforma de Larsen, aunque también existen plataformas de hielo en Groenlandia y en el Ártico Canadiense, donde el hielo puede alcanzar el punto de flotación en algunos glaciares que presentan dimensiones menores que los de la Antártica.

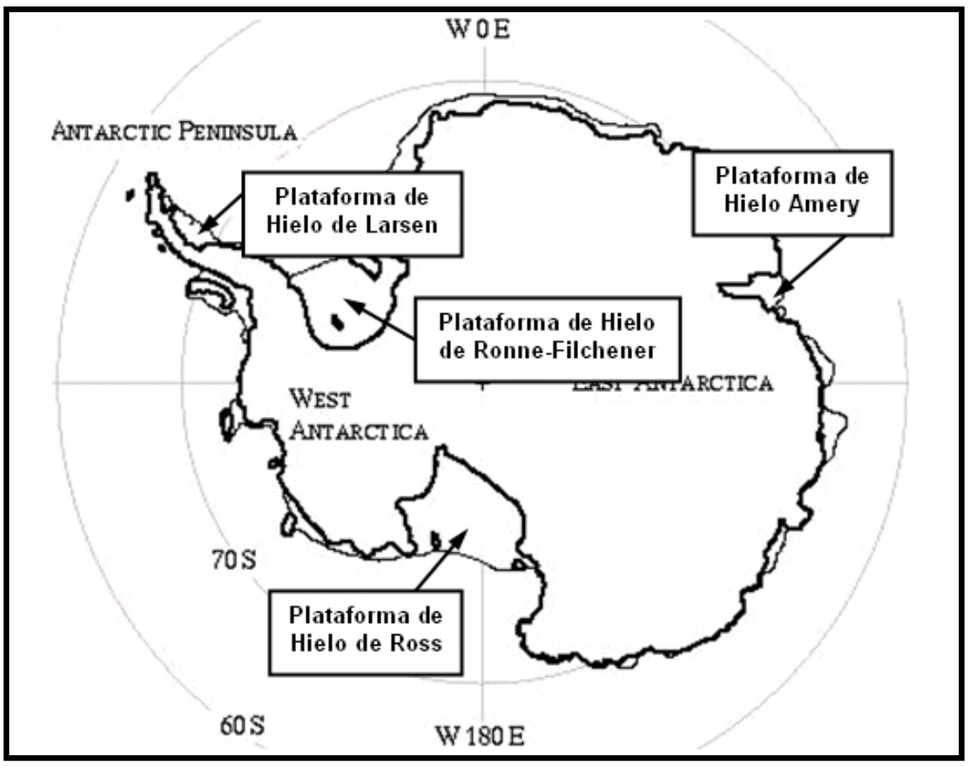



Figura 1.17: Esquema de la Antártica. La línea gruesa indica el contorno del continente, incluyendo el hielo conectado a la tierra y la línea delgada indica el hielo flotante. También se muestran las plataformas de hielo flotante de Ross, Ronne-Filchner, Amery y Larsen.

El borde externo de las plataformas de hielo flotantes presentan una pared vertical de hasta 30m de altura, lo que llevó a los primeros exploradores a denominarlas gran barrera de hielo o great barrier. Además el espesor de las plataformas puede alcanzar hasta 200 m en el frente, el cual va incrementándose hacia las nacientes del glaciar hasta los 700 m en la zona donde el hielo está anclado en la roca. Esta zona se evidencia en la superficie del hielo por una serie de grietas producidas por la flexión que afecta al hielo flotante producto de las mareas oceánicas.

Las plataformas de hielo flotante son alimentadas por hielo proveniente de glaciares o corrientes de hielo fluyendo desde el interior de los casquetes de hielo continental, como es el caso de la Antártica. También en la base de estas plataformas puede haber creación de hielo por congelación de agua de mar o congelación de agua de fusión de origen glaciar.

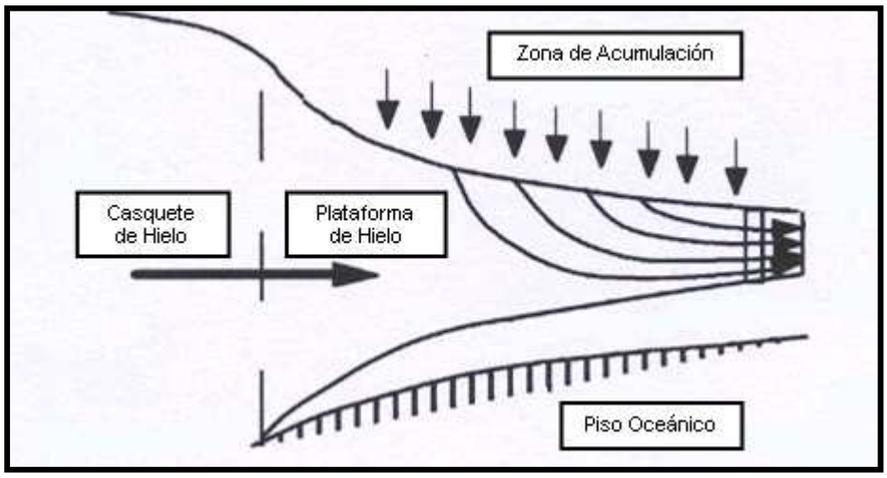



Figura 1.18: Plataformas de Hielo Flotante.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”

1.2.4.3. Corrientes de Hielo (Ice Stream).

Son glaciares que drenan un casquete de hielo continental mediante altas tasas de flujo que se demuestran por velocidades muy superiores a las del entorno glaciar. Estas corrientes de hielo no muestran un límite exacto en sus bordes excepto algunas zonas en que el mayor flujo se separa de las zonas de menor flujo por grietas verticales. Se caracterizan por tener muchas líneas de flujo y son las principales alimentadoras de las plataformas de hielo flotantes.

1.2.4.4. Campos de Hielo (Pack Ice)

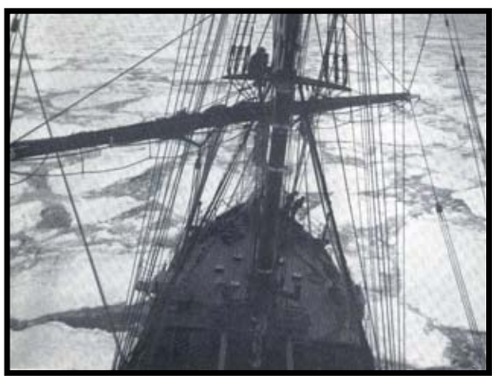
Son grandes superficies de hielo que muestran una compleja zona de acumulación en las zonas escarpadas, cuyo hielo es evacuado por medio de varias lenguas controladas por la topografía local. Estas lenguas pueden presentar cuencas medianamente definidas, pero por lo general presentan líneas divisorias de hielo difíciles de encontrar, a menos que se maneje un GPS. Los ejemplos típicos de este tipo de glaciar son los Campos de Hielo Patagónicos.

Se considera también como una denominación genérica a cualquier hielo marino que ha abandonado su posición primitiva y que ha sido arrastrada por vientos o corrientes; pueden subclasificarse en dos tipos:

- Campo de Hielo Abierto (Open Pack): Constituido por bandejones de hielo que dejan pasos entre ellos y que permiten la navegación con facilidad, pero reduciendo el andar y con frecuentes cambios de rumbos. Existe la variante de este llamado Campo de Hielo muy Abierto (Very Open Pack Ice).

Figuras 1.19 y 1.20: A la izquierda imagen de un campo de hielo muy abierto y a la izquierda un campo de hielo abierto.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”

- Campo de Hielo Cerrado (Close Pack): Compuesto por pequeños témpanos, la mayor parte de ellos están en contacto. Obstaculizan la navegación, excepto a las naves que están especialmente construidas para desplazarse entre hielos. Existe la variante de este llamado Campo de Hielo muy Cerrado (Very Close Pack Ice) en los que la navegación es prácticamente imposible.



Figuras 1.21 y 1.22: A la izquierda imagen de un campo de hielo cerrado y a la derecha un campo de hielo muy cerrado
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas.

- Campo de Hielo Consolidado (Field Ice o Consolidated Pack): Constituye la clase más dura de hielo Antártico. Contiene mucho hielo a presión sin espacios de agua, quedando la nave atrapada hasta el próximo deshielo.

Figura 1.23: Campo de Hielo Consolidado.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”

- Campo de Hielo Giratorio (Screwing Pack): se encuentran en constante movimiento giratorio por influencia del viento y la presión y constituyen un gran riesgo a las embarcaciones.

Además de las categorías ya mencionadas, existen otras categorías de glaciares que sólo se encuentran en las altas montañas continentales y no son ejemplo de glaciares Antárticos, nombradas a continuación:

- Glaciares Piedmont (Piedmont Glaciers).
- Glaciares de Valle (Valley Glaciers).
- Glaciar de Cráter (Crater Glacier).
- Glaciar de Montaña (Mountain Glacier).
- Glaciar de Circo (Cirque Glacier).
- Glaciarete (Niche, Wall-Sided, Glaciarets, Ice Aprons o Cliff-Glaciers).

### 1.2.5. Clasificación del Hielo según su Color.

#### 1.2.5.1. Hielo Azul.

La luz solar, que es blanca, está formada por longitudes de onda de color rojo, verde y azul. El hielo a menudo se ve azul, especialmente en días nublados, porque la molécula de $H_2O$ absorbe seis veces más las frecuencias rojas que las azules. Por ello, el hielo se ve azul pues se refleja principalmente la luz de color azul. Se necesita generalmente una masa de hielo de varios metros de dimensión para observar el color azul.

Figura 1.24: Bloque de Hielo Azul.
Fuente: Blog “Antarctic Kayak Expedition”

#### 1.2.5.2. Hielo Blanco.

En un día con sol, con gran cantidad de luz incidente, el hielo aparecerá blanco debido a la gran cantidad de reflejos directos. Si el hielo contiene una gran cantidad de burbujas, aparecerá blanco, producto de la dispersión de la luz blanca incidente en la interfaz aire/hielo. Si la superficie del hielo es muy rugosa, también puede aparecer blanca. Por el contrario, una superficie de hielo más lisa, tal como un témpano flotando sobre el agua, aparecerá más azul.

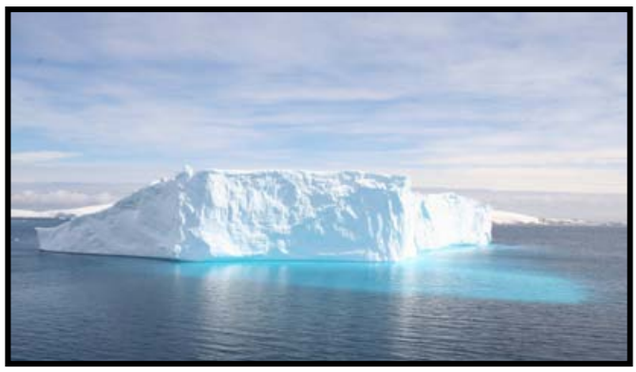


Figura 1.25: Bloque de Hielo Blanco.
Fuente: Archivos Profesor Roberto Casanova Esparza

1.2.5.3. Hielo Verde.

El material orgánico, originado de la degradación de plantas marinas, a veces se adhiere congelado al hielo, lo cual puede producir témpanos de colores verde y jade.

Figura 1.26: Bloque de Hielo Verde.
Fuente: Sitio web rompehielos Nathaniel Palmer.

## 1.3. DESCUBRIMIENTOS Y EXPLORACIONES.

### 1.3.1. *Terra Australis*.

*Terra Australis Incognita*, la Tierra Desconocida del Sur, fue un continente imaginario con orígenes en la Griega Clásica atribuido a Aristóteles y Eratóstenes basados en la simetría geométrica, pues ellos pensaban que debía existir una gran masa de tierra en el hemisferio S que contrapese a las tierras conocidas en el Hemisferio N. Posteriormente el Cartógrafo Ptolomeo volvió a incluir estas tierras, pero en mucha mayor medida que la real, al creer que el Océano Índico estaba cerrado al Sur por las Tierras Australes.

Figura 1.27: Planisferio de Rumold Mercator de 1587. Se observa esa la tierra desconocida con muchas mayores proporciones de las reales, conectada con Sudamérica, algunas islas al sur de la India, Australia y muy cercana a África.
Fuente: “Antique Map Catalog” Edición Febrero 2009.

### 1.3.2. Primeros avistamientos.

En 1418 el príncipe Enrique el Navegante incentiva la exploración del océano Índico con el objetivo de alcanzar las Indias rodeando el continente africano, algunos cartógrafos pensaban hasta ese entonces que las tierras del S estaban conectadas a África, América y Asia. En 1487 Bartolomé Días dobla por el Cabo Buena Esperanza hacia el E demostrando que la tierra africana estaba separada de cualquier tierra Antártica. Más aún esta hipótesis queda totalmente desechada cuando en 1520 Hernando de Magallanes cruzó el estrecho que lleva su nombre, aunque el creyó que la

Isla Grande de Tierra del Fuego era parte del continente Antártico, al igual que Abel Tasman en 1642 al descubrir Australia.

Pedro Fernández de Quirós en 1606 tomó posesión en nombre del rey de España de todas las tierras que descubrió en Australia del Espíritu Santo y aquellas que descubriera hasta el polo. Más tarde Francisco de Hoces al cruzar el Cabo de Hornos demostró que el Archipiélago de Tierra del Fuego era de pequeña extensión y que cualquier continente que quedara al Sur debía estar en una región invernal. En 1615 Shouten y Le Maire redescubrieron el extremo sur de la Tierra del Fuego y bautizaron el Cabo de Hornos en 1615.

Se considera que el verdadero descubridor del continente Antártico fue el Almirante Español al servicio del Gobierno de Chile Gabriel de Castilla, quien avistó las Islas Shetland del Sur en Marzo de 1603, cuando su buque, el *Buena Nueva*, que zarpó de Valparaíso, fue arrastrado hacia el S hasta alcanzar la Latitud 64º S. Los españoles mantuvieron este descubrimiento en secreto, el que se dio a conocer a principios del siglo XX por medio de documentos archivados en el Archivo Municipal de La Haya en el que se encontraba la declaración de un tripulante holandés del *Buena Nueva* afirmando estos hechos.

Frecuentemente los viajeros que intentaban cruzar el Cabo de Hornos desde el E se encontraban con vientos en contra que los hacían derivar al S, hacia “cielos nivosos y mares de hielos” sin embargo no hay documentación que alguno de ellos halla alcanzado el círculo polar, hasta que entre 1772 y 1775 el Capitán James Cook con sus barcos *Resolution* y *Adventure* cruzaron tres veces el Círculo Polar Antártico, aunque algunos bancos de hielo impidieron a la tripulación avistar el continente Antártico. El 29 de Diciembre de 1774 pasando por el Cabo de Hornos descubre las Islas Georgias del Sur y Sandwich del Sur, siendo estas las únicas tierras cubiertas de hielo que haya visto se convenció a sí mismo que cualquier tierra más al S era inaccesible y sin valor económico.

El primer avistamiento confirmado de la Antártica se restringe a tres personas, con días o meses de diferencia. El primero es Fabian Von Bellingshausen, Capitán Alemán sirviendo a la Armada Rusa, quien el 28 de enero de 1820 alcanzó un punto a 20 millas náuticas del continente Antártico, divisando algunos bancos de hielos. El segundo es Edward Bransfield, Capitán de la Armada Británica, el 30 de enero del mismo año desembarca en la Isla Trinidad. Por último Nathaniel Palmer, foquero

estadounidense que diviso el área sur del la Isla Trinidad en noviembre de 1820. Más tarde, en 1823, James Weddell descubre las Islas Orcadas de Sur y el mar que llamó Rey Jorge IV, actual Mar de Weddell.

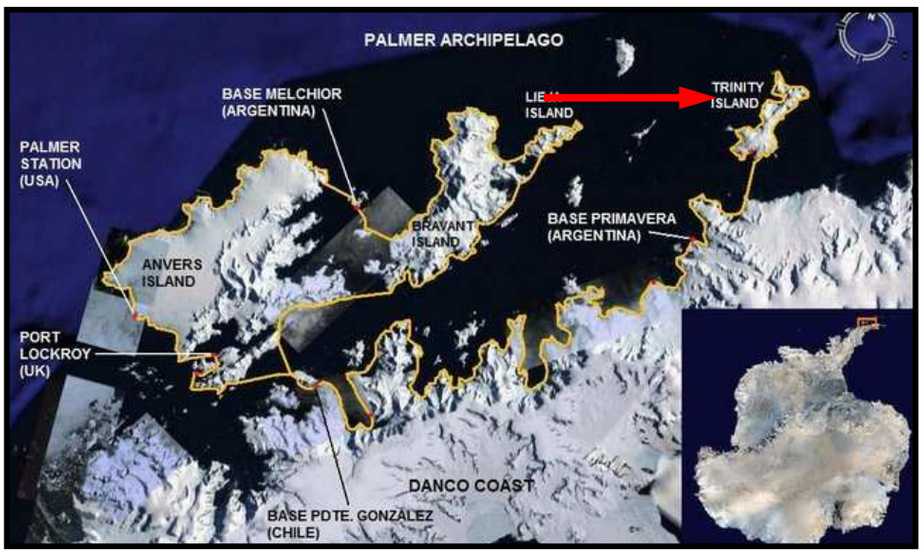



Figura 1.28: Isla Trinidad en el extremo W de la Península Antártica.
Fuente: Blog “Antarctic Expedition”

En 1831 se localizó el Polo S magnético, en la Tierra Adelia, a unos 2.600 km del Polo S geográfico, por el explorador James Clark Ross que, aunque no pudo alcanzarlo, cartografió el Campo de Hielo de Ross.

1.3.3. Rutas de exploraciones.

En 1897, una expedición liderada por el belga Adrian De Gerlache salió de Amberes, Bélgica hacia la Antártida. Este equipo multinacional incluía un zoólogo rumano, un geólogo Polaco, un navegante y astrónomo belga, un cirujano estadounidense y el explorador noruego Roald Amundsen. En 1898, se convierten en los primeros humanos en pasar el invierno en la Antártida, cuando su barco, el *Bélgica*, queda atrapado en el hielo. El barco quedó atascado el 28 de febrero de 1898, y sólo fue posible liberarlo de los hielos el 14 de marzo del año siguiente. Durante su estadía forzada, algunos hombres pierden la cordura, por la casi continua oscuridad de la noche invernal Antártica, por los aprietos físicos, además de los problemas de comunicación entre la tripulación de diferentes nacionalidades.

En 1903 la Expedición Nacional Antártica Escocesa estableció la Osmond House, un observatorio meteorológico en la Isla Laurie en el Archipiélago de las

Orcadas del Sur. Un año después, la posesión del observatorio fue traspasada a Argentina, siendo rebautizada como Base Orcadas, la base permanente más antigua del continente y la única existente por cerca de 40 años.

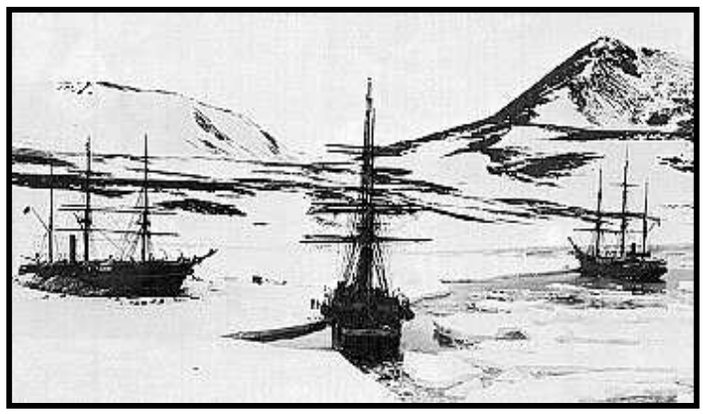


Figura 1.29: Expedición Nacional Antártica Escocesa a Bordo del *Terra Nova*, el *Morning* y el *Discovery*.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”.

Entre 1907 y 1909 Ernest Shackleton organizó y lideró la Expedición Imperial Transantártica Británica con el objetivo principal de alcanzar el polo S geográfico, aunque no lo logró pudo llegar a una distancia de 180 km de éste, convirtiéndose en la primera expedición en alcanzar el Polo S magnético y en cruzar la Cordillera Transantártica.

El 14 de diciembre de 1911, un equipo liderado por el explorador polar noruego Roald Amundsen a bordo del *Fram* se convierte en el primero en alcanzar el polo S geográfico, usando una ruta desde la Bahía de Whales hasta el Glaciar Axel Heiberg. Al cabo de 35 días Robert Falcon Scott alcanza también la Latitud 90º S en el barco *Terra Nova*, usando la ruta del pionero Shackleton. El equipo de Scott murió más tarde durante la jornada de regreso después de haber sido retrasado por una serie de accidentes: el mal tiempo, el estado físico decadente de los hombres y la falta de provisiones, convirtiéndose en uno de los más famosos y trágicos héroes de la exploración Antártica. La Base Amundsen-Scott fue bautizada más tarde en homenaje a estos dos hombres.

Figura 1.30: Círculo de banderas que rodea al polo S Ceremonial, al fondo la Base Amundsen-Scott de los Estados Unidos.
Fuente: www.tierraspolares.es

En 1914 Ernest Shackleton lidera la Segunda Expedición Imperial Transantártica Británica cuyo propósito era cruzar el continente desde el Mar de Weddell hasta el Mar de Ross pasando por el polo, completando más de 1.800 millas de recorrido. Zarpó, desde Liverpool en Agosto de 1914, en medio de la 1º Guerra Mundial, para llegar a la Isla Georgia del Sur en septiembre y aquí esperar más de dos meses, debido a las malas condiciones climáticas, para seguir la travesía. El 5 de enero de 1915 zarpa hacia el S, navega rodeado de hielos hasta que el 19 de enero el *Endurance* queda completamente atrapado por los hielos en medio del Mar de Weddell.

Figura 1.31: El *Endurance* de Ernest Shackleton atrapado entre los bancos de hielo del Mar de Weddell.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”.

La tripulación se prepara para permanecer el invierno en la embarcación, mientras ésta se escora cada vez más debido a la presión del hielo sobre el casco. Después de haber permanecido 281 días atrapado, el *Endurance* se hunde.

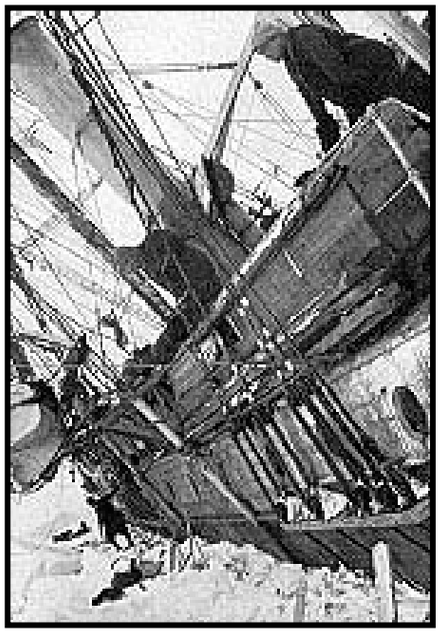


Figura 1.32 y 1.33: Dos imágenes del *Endurance* en sus últimos minutos sobre la superficie.
Fuente: Articulo “Ernest Shackleton y un Barco llamado Resistencia”.

La tripulación formó un campamento sobre una plataforma de hielo con los botes salvavidas para dejar que las corrientes los lleven al N, permaneciendo así seis meses. Luego de llegar a la Isla Elefante, situada al N de la Península Antártica Shackleton decide ponerse en camino hacia una estación ballenera en la Isla Georgia del Sur. Luego de un mes de navegación en un pequeño bote (6,7 m de eslora) y contra todas las inclemencias del tiempo desembarcó en la factoría ballenera noruega. Aquí se le facilita un barco ballenero para ir en busca de sus compañeros en la Isla Elefante, pero a bordo de éste debe retroceder hasta las Islas Falkland por el mal tiempo y abundancia de hielo, donde el gobierno uruguayo le facilita un barco de arrastre. Nuevamente el hielo lo hace retroceder, esta vez hasta Punta Arenas, donde consigue una goleta con la Colonia Británica presente en la ciudad, empresa en la que nuevamente fracasa. El 30 de agosto de 1916 consigue rescatar a su tripulación que lo esperaba en la Isla Elefante en la Escampavía de la Armada de Chile *Yelcho* a cargo del Piloto Luis Pardo Villalón, en que luego de cinco días de navegación a bordo de este buque, que no contaba con calefacción, ni alumbrado, ni radio, ni doble fondo, y gracias a la astucia y experiencia del Piloto Pardo, puede volver a tierra firme con toda la tripulación a salvo luego de casi dos años perdidos en el hielo.

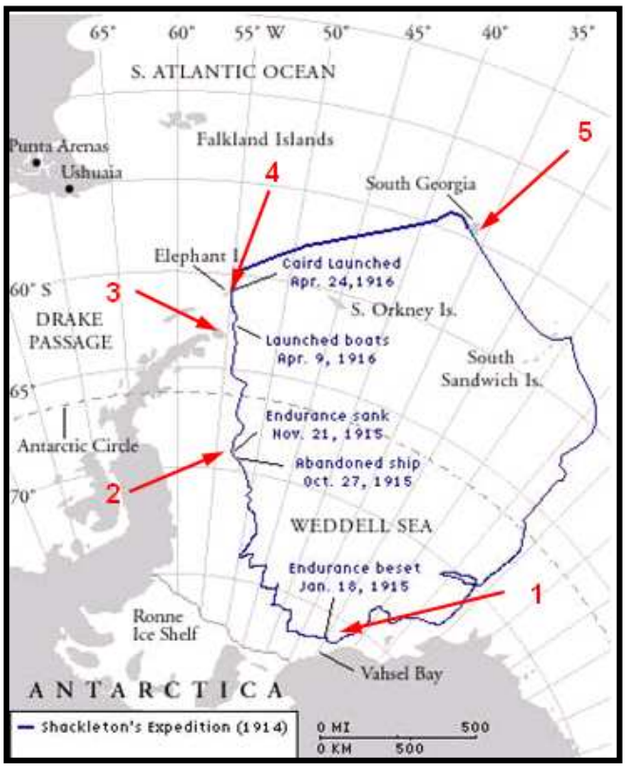



Figura 1.34: Travesía de Shackleton durante su permanencia en Territorio Antártico, en el punto 1 el *Endurance* queda atrapado en el hielo, derivando junto con la plataforma hasta el punto 2 donde el buque se hunde. En el punto 3 es el lugar desde donde navegan en los botes de rescate luego de pasar 6 meses sobre una plataforma de hielo, hasta llegar al punto 4 en la Isla Elefante, en la cual Shackleton deja a sus tripulantes para ir en busca de ayuda a la Isla Georgia de Sur a bordo de uno de los botes de rescate, en el punto 5.
Fuente: Articulo “Ernest Shackleton y un Barco llamado Resistencia”.

Posteriormente el Contralmirante de la marina Norteamericana Richard Evelyn Byrd lideró cinco expediciones a la Antártida entre los años 1930 y 1950. Sobrevoló en polo S geográfico entre el 28 y 29 de noviembre de 1929 teniendo la investigación como principal objetivo y fue el primero en el uso de aviones en el continente, con un total de 18 horas y 41 minutos de vuelo.

Entre los años 1938 y 1939 el Capitán alemán Alfred Ritscher levanta un mapa muy exacto de una porción de la Antártica. A Ritscher y su mapa se le vincula con la construcción de una base alemana para proteger al Reich y a la marina alemana durante la Segunda Guerra Mundial. Se cree también que la expedición del

Contralmirante Richard Byrd al polo S no tenía otra intención que encontrar la base alemana.

Con el objetivo de asegurar los derechos de Chile en la Antártica, en 1947 y 1948 fue fundada la Base Naval Arturo Prat y la Base Militar Bernardo O'Higgins, respectivamente por Gabriel González Videla, quien fue el primer presidente del mundo en pisar suelo Antártico.

Pero fue hasta el 31 de octubre de 1956 que alguien volvió a pisar la Latitud 90º S, esta vez el contralmirante de la marina Norteamericana George Dufek puede acceder a el por aire.

A principios de enero de 1958 el montañista neozelandés Sir Edmund Hillary alcanzo el polo S geográfico por tierra, casi cincuenta años después de Roald Amundsen hiciera lo propio. A su vez el explorador británico Sir Vivian Fuchs llegó al polo desde la dirección opuesta a fines de enero del mismo año, encontrándose con Sir Edmund Hillary completando el cruce transpolar que Shackleton no puedo concretar.

**CAPITULO II:**
**CLIMA, METEOROLOGÍA Y OCEANOGRAFÍA ANTÁRTICA.**

El clima es consecuencia de la interacción entre la Atmósfera, los océanos, las capas de hielo, los organismos vivos, los suelos y las rocas. Estos componentes forman el sistema climático que debe estar en equilibrio pues si cualquier factor se altera se produce el cambio climático, por un periodo indeterminado de tiempo.

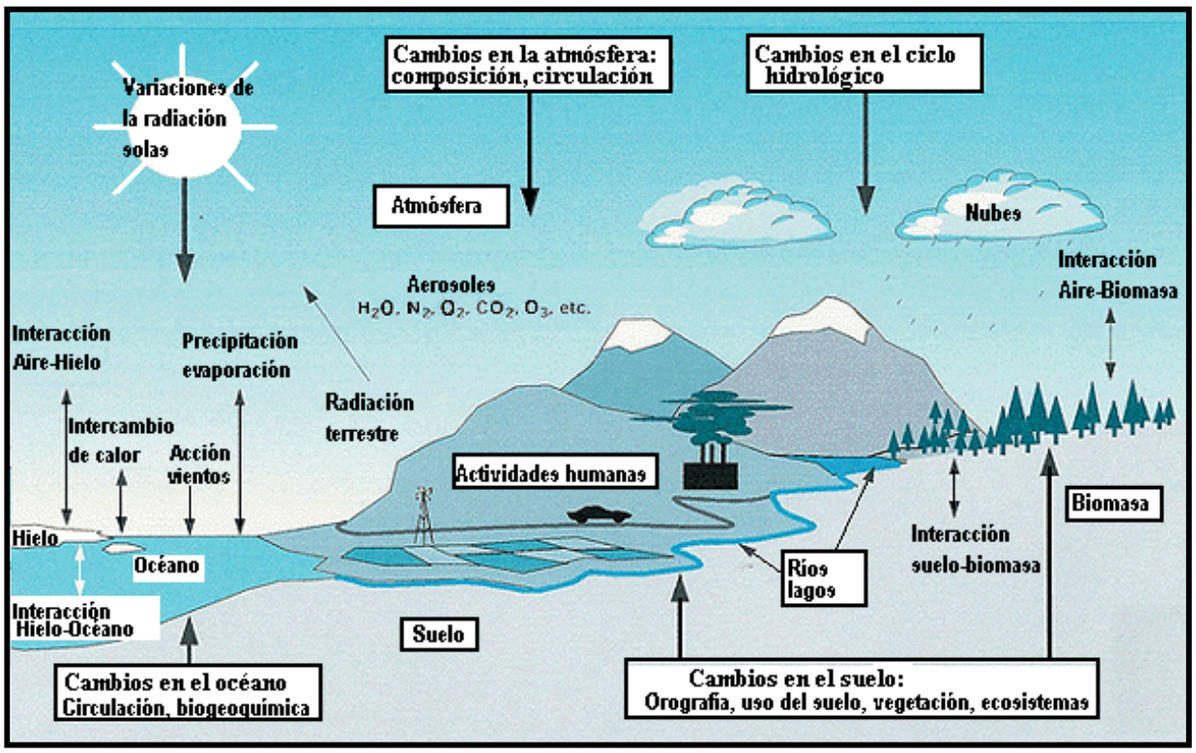



Figura 2.1: Sistema climático y los factores que interfieren.

Chile es un país de contrastes en muchos aspectos, entre ellos, en el clima. Nuestra extensión de N a S permite paisajes que van desde el desértico altiplano, pasando por la abundante vegetación del centro hasta los glaciares de la zona austral. Cada una de estas características determinadas por las condiciones climáticas existentes.

Si hacemos una clasificación general de los climas de nuestro país, nos encontramos con tres grandes zonas climáticas. La zona N que se caracteriza por presentar climas desérticos, esteparios, muy poca vegetación y con escasas precipitaciones. En la zona central y S encontramos clima templado con aumento en las precipitaciones y disminución de la temperatura desde el N hacia el S. Finalmente en la

región Austral detectamos la existencia de un clima lluvioso, caracterizado por las bajas temperaturas.

Según la dirección meteorológica de Chile existen diecinueve variedades climáticas en nuestro país, cada una de ellas ubicada en un sector específico; aunque éstos no son estrictamente determinantes, pues en un sector puede haber características de dos o más tipos de climas.

## 2.1. CLIMA POLAR Y DESIERTO NIVAL.

El clima polar, como su nombre lo indica, se manifiesta en ambas zonas polares de nuestro planeta y al contrario de lo que podría pensarse estas zonas que son muy distintas geográficamente y también climatológicamente, el Ártico es un mar helado casi completamente rodeado de tierra, al contrario de la Antártica que es un continente congelado, aislado y rodeado exclusivamente por océanos.

La circulación en el Ártico está afectada por los continentes circundantes, en cambio en la Antártica el aire que rodea a este continente circula en forma constante de W a E. La situación isobárica también difiere de una zona a otra, pues en el Ártico las isobaras, curvas de igual presión en un momento dado, disminuyen mucho más lentamente que en la Antártica, lo que se traduce en presiones mucho más bajas en esta última zona.

### 2.1.1. Características del clima de tundra.

Se extiende por las Islas subantárticas como Georgias del Sur, Sandwich del Sur y todas aquellas que se encuentran al norte del paralelo 60º S.

Caracteriza a los terrenos abiertos y llanos con suelos helados, excepto por un breve deshielo en los meses más calurosos, y falta de vegetación debido al stress por frío. En general los suelos están cubiertos por musgos y líquenes.

Las temperaturas medias oscilan entre -15º C y 5º C, las precipitaciones son escasas con un promedio de 300 mm de agua al año. Los veranos son muy frescos y los inviernos muy fríos; por esta razón son zonas húmedas ya que el agua no se evapora y el suelo congelado tiende a retenerla, permitiendo el desarrollo de algún tipo de vegetación y el hábitat de algunas especies.

### 2.1.2. Características del clima polar.

Los climas polares se caracterizan por tener casi nula precipitación, muy baja humedad relativa y vientos muy fuertes. Otra de las características de esta zona es que se trata de un desierto nival, esto es, un área fría con escasa presencia de vida y una gran sequedad del aire, superando incluso a los desiertos cálidos.

#### 2.1.2.1. Temperatura.

La Antártica se caracteriza por ser el continente más frío del planeta, más frío incluso que el Ártico, pues la temperatura en pleno invierno en el Ártico es similar a la temperatura de verano de la Antártica. El continente Antártico es un continente persistentemente nevado, de forma circular, rodeado de agua y con vientos prevalecientes del W, de manera que las isotermas, líneas de igual temperatura, adaptan esta forma circular, descendiendo hacia el interior con un abrupto cambio entre la zona costera y la zona interior.

En promedio el mes más cálido no supera los 0º C en las zonas costeras más septentrionales como la Península Antártica e islas adyacentes, en invierno este promedio desciende a -40º C. La temperatura promedio en el borde oriental de la Tierra de O'Higgins y su mar adyacente es inferior en varios grados a la del lado occidental, siendo ésta la razón por la que las isotermas se curvan hacia el N, dejando al Mar de Weddell encerrado en una zona de temperatura más baja. En la zona occidental del Mar de Weddell comúnmente se encuentra gran cantidad de hielos a la deriva, los que son atraídos a la costa por los fuertes vientos del E y por corrientes marítimas de igual dirección, provocando estos hielos que la temperatura en la zona sea menor que al W de la Tierra de O'Higgins.

La Región Antártica registra la temperatura más baja del planeta. El 21 de julio de 1983 la base Rusa Vostok registró -89,2º C. Uno de los factores que propician las bajas temperaturas en esta zona es que la base se ubica sobre un lago subterráneo, el cual lleva el mismo nombre. El Lago Vostok fue descubierto en 1996 por un radar de ondas de penetración de hielo y es uno de los 70 lagos subterráneos de la Antártica; se ubica casi 4 km bajo la capa de hielo con una extensión de 48 km de ancho, 225 km de largo y 915 m de profundidad, es el lago conocido más viejo del mundo, aproximadamente 35 millones de años, y ha estado aislado por 500.000 años lo que

lleva a pensar que contiene bacterias y microorganismos inalterados desde que este continente fue descubierto.

2.1.2.2. Nubosidad y niebla.

En esta zona la nubosidad es abundante durante todo el año. En las Islas Shetland del Sur y la Tierra de O'Higgins es común encontrar diversos tipos de nubes como cirrus, usualmente en verano; altostratus, altocúmulus y nimbustratus. La nubosidad predominante es del tipo stratus, esto es, nubes bajas (2.000 m de altura aproximada) de carácter uniforme y gris cubriendo casi todo el cielo.

En el Anexo 1 se muestra una clasificación y descripción de los diversos tipos de nubes.

Existen varios tipos de niebla que se presentan en las Islas Shetland del Sur y en la Tierra de O'Higgins.

- Niebla de masas: Se producen durante todo el año, preferentemente en verano en las costas de los Mares de Bellingshausen y de Weddell. Se originan por la invasión de una masa de aire relativamente cálido sobre el mar frío y se pronostican con la construcción de una curva del punto de rocío en conjunto con una curva de la temperatura del aire con toma de datos cada media hora, al prolongarlas y encontrar el punto de cruce entre ambas podemos pronosticar la hora en que se formará la niebla.

- Niebla de radiación: Se producen en zonas terrestres, aunque con un poco de viento pueden llegar a la costa. Se originan cuando hay fuerte radiación en la atmósfera que, al enfriar el aire hasta el punto de rocío, forma la niebla. Son frecuentes en las noches despejadas sobre todo en invierno, aunque son de corta duración.

- Nieblas frontales: Acompañan a cualquier tipo de frente que entre a la región, sea éste frío, cálido u ocluido, y se producen por la evaporación de gotas de agua, este vapor al entrar en contacto con el aire frío forma la niebla.

- Humo de mar: Se producen a la entrada del otoño por que las masas de aire frío que avanzan desde el interior hacia superficies relativamente cálidas se mezcla

con el vapor de agua desprendido por el mar, condensándose y produciendo la niebla.

2.1.2.3. Precipitación.

A pesar de ser el continente que guarda la mayor reserva de agua del planeta, la precipitación es escasa y cae en su mayoría en forma de nieve, excepto en las Islas subantárticas en las que en los meses de verano se presentan precipitaciones de forma acuosa. La humedad relativa se mantiene en valores cercanos al 100% ya que las bajas temperaturas mantienen el aire saturado, con escasa humedad absoluta.

La zona de la Península Antártica e islas adyacentes es la más húmeda, en la costa suelen caer entre 200 y 250 mm de lluvia durante el año. En general, la precipitación media anual es de apenas 100 mm, siendo la zona adyacente al Mar de Ross la más seca del continente.

La explicación para esta escasa humedad y para las nulas precipitaciones es muy simple; debido a las bajas temperaturas del interior, toda el agua se encuentra en estado sólido, quedando ausente nubes y lluvias.

En general las precipitaciones son más abundantes en el lado occidental de la Tierra de O’Higgins que en el lado oriental, pues los frentes siguen una trayectoria del W al E y son retenidos por la península Antártica, tal como en la Cordillera de los Andes, de manera que los frentes son obligados a ascender por la masa terrestre enfriándose, presentando mayor actividad frontal y permaneciendo mayor tiempo en la zona.

2.1.2.4. Viento y circulación del aire.

Los vientos son corrientes de aire y su origen se debe a diferencias de presión entre éstas, circulando de mayor a menor presión. Cuando la atmósfera se calienta sus capas inferiores lo hacen antes que las superiores, éstas se dilatan y comienzan a subir mientras que el aire frío ocupa su lugar en la superficie, produciendo una corriente circular por los cambios en la presión que da origen a los vientos.

El viento posee dos características: velocidad y dirección. La velocidad depende de la diferencia de presión y distancia entre dos zonas. En cambio la dirección puede

ser regular, siempre sopla en la misma dirección e intensidad, o periódica, se presentan sólo en determinadas épocas del año y con distintas direcciones.

El continente Antártico es la fuente de aire seco y helado del hemisferio S. Este aire helado concurre hacia el frente polar al mismo tiempo que una masa de aire un poco más cálida desciende de la alta atmósfera formando el centro de alta presión permanente.

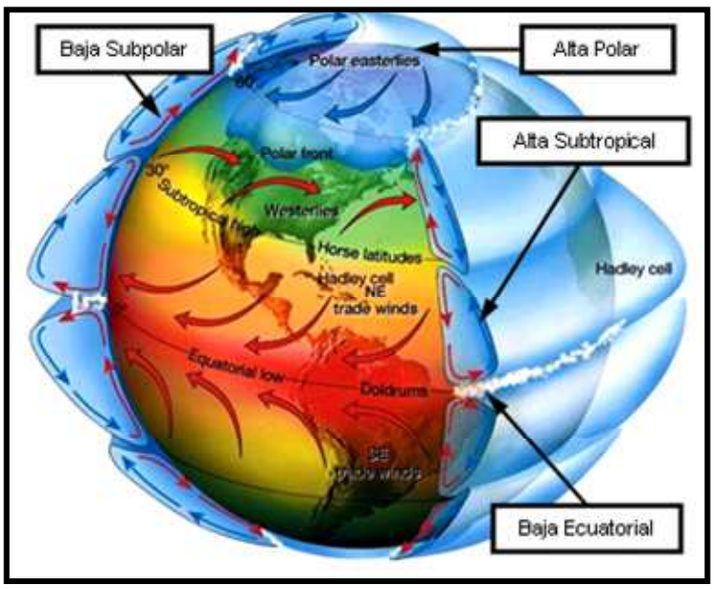



Figura 2.2: Esquema idealizado de la circulación general de la atmósfera, se distinguen las tres celdas de circulación vertical y los vientos resultantes en superficie, al S del Ecuador el esquema se repite.
Fuente: Sitio web Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas y Marítimas.

Existe un centro de alta presión permanente en el polo S, como también existe su homólogo en el polo N, lo que hace que el aire se desplace hacia el cinturón de las bajas presiones. En este desplazamiento el aire es atraído por la fuerza de Coriolis hacia la izquierda, de manera que la dirección del viento predominante en las cercanías de la Antártica tiene dirección E y sus variantes NE y SE. Dentro del continente la velocidad del viento alcanza una velocidad promedio de 10 a 20 nudos, mientras que hacia el exterior aumenta hasta los 40 ó 50 nudos. En cuanto a los canales el viento toma la dirección de su eje y al ser obligado a pasar por un lugar más estrecho aumenta su velocidad.

También existe aglomeración de aire cálido debido a dos tipos de corrientes en la superficie provenientes del N. La primera es una zona de flujo hacia el exterior desde tres puntos: la Tierra Victoria, la Tierra de O'Higgins y la zona occidental de la Tierra de Enderby. La segunda es una zona de flujo hacia el interior desde la Tierra de Mary Byrd, desde el sector oriental del Mar de Weddell, desde la Tierra de la Reina Maud y desde la Tierra Adèlie.

En la Antártica se han registrado los vientos más intensos en la superficie terrestre: 372 km/hr en Julio de 1972 en la estación científica francesa Dumont d'Urville. Estos vientos tienen algunas variantes, como las mencionadas a continuación.

- Vientos Catabáticos.

Los Vientos Catabáticos se originan cuando las masas de aire frío que se forman producto de la alta presión permanente en el continente son obligadas a deslizarse hacia el sector de las bajas presiones, desplazándose un tanto a la izquierda por la fuerza de Coriolis; estas masas de aire bajan violentamente hacia la costa, barriéndola en su recorrido. Uno de sus peores efectos es el aumento de la sensación de frío producto de la velocidad a la que circula.

- Ventiscas.

También conocida como Blizzards, se originan cuando fuertes vientos levantan la nieve acumulada sobre el suelo, existiendo de dos tipos:

a. Ventisca Baja: Las partículas de nieve son levantadas a poca altura, de manera que quedan por debajo de la vista de un observador.

b. Ventisca Alta: Las partículas de nieve son levantadas a mayores alturas.

Las ventiscas son muy frecuentes en la Antártica y traen algunas consecuencias como la reducida visibilidad, la baja sensación térmica y la sensación de oscuridad al impedir las partículas de nieve el paso de la luz. Generalmente las ventiscas están asociadas a sistemas frontales. Cuando el cielo se ha mantenido despejado el primer anuncio de ventisca es la presencia de nubes del tipo Cirrus, (nubes altas, largas y finas) y un descenso en la presión. Las ventiscas en general circulan desde el NE pudiendo alcanzar una velocidad de hasta 50 nudos. A veces las ventiscas también se

pueden presentar con altas presiones, esto sucede cuando una cuña, o el extremo de un anticiclón debilitado, invade la región y el aire sopla hacia zonas de menor presión con gran fuerza.

### 2.1.3. Distribución isobárica.

La distribución isobárica nos indica los puntos de igual presión en un momento dado y con esto se puede interpretar las condiciones meteorológicas de zona de interés. Si nuestra atmósfera estuviera en equilibrio tendríamos líneas isobaras concéntricas, lo cual no ocurre pues existen una gran cantidad de factores que inciden para tener una atmósfera inestable, entre estos factores tenemos la inclinación de la Tierra, la diferencia de calor específico entre los mares y los continentes, corrientes marinas, grandes extensiones de vegetación, grandes extensiones desérticas, entre otros.

Existe una Alta presión permanente en la meseta del continente Antártico, cuyo centro se encuentra en el cruce entre el meridiano 80º E con el paralelo 75º S y rodeando a esta alta presión, existe un cinturón de bajas presiones, distinguiéndose cinco áreas:

- Zona depresionaria del Mar de Ross.
- Zona depresionaria del Mar de Weddell.
- Zona depresionaria de la Costa de la Tierra de la Reina Maud.
- Zona depresionaria de del Mar de Davis.
- Zona depresionaria del Mar de Bellingshausen.

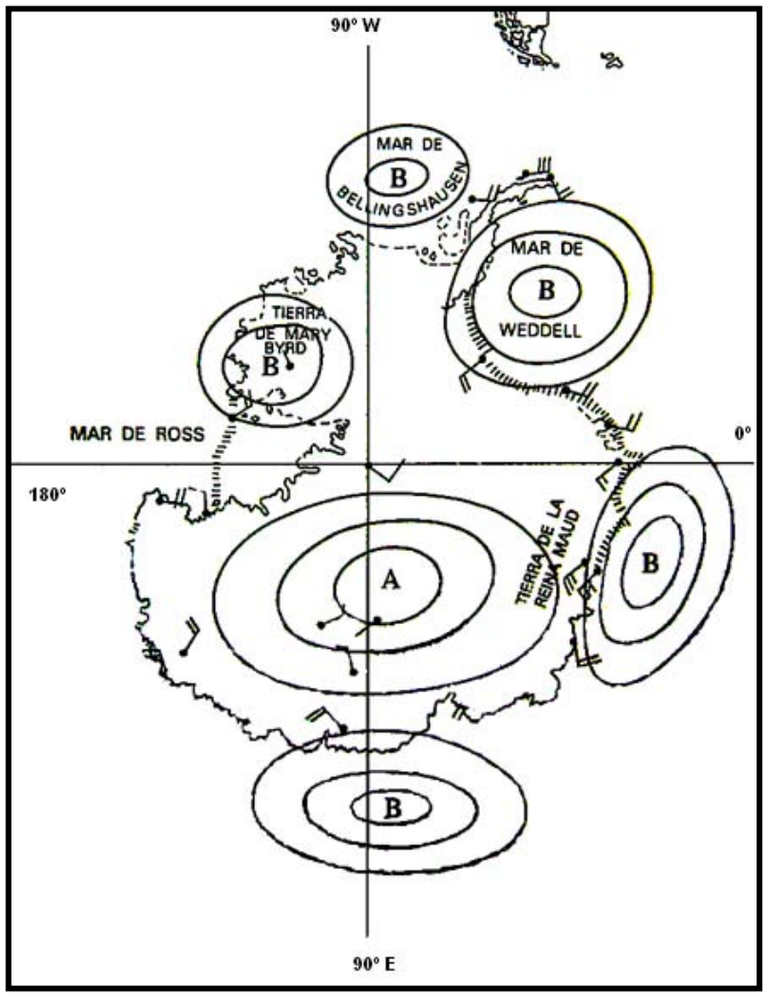



Figura 2.3: Distribución Isobárica general en la Antártica, se observan las cinco depresiones rodeando a la alta presión permanente en el Continente
Fuente: Derrotero de la Costa de Chile, Volumen VI, 2º Edición 1989.

Las trayectorias de las depresiones que afectan a la Antártica son de dos tipos: meridionales y circulares.

- Depresiones meridionales: Tienen origen las latitudes subantárticas, circulan inicialmente de W a E para luego converger al centro del continente.

- Depresiones circulares: Se forman en el borde continental, adquiriendo una trayectoria paralela a la costa haciendo sentir sus efectos fuera del continente.

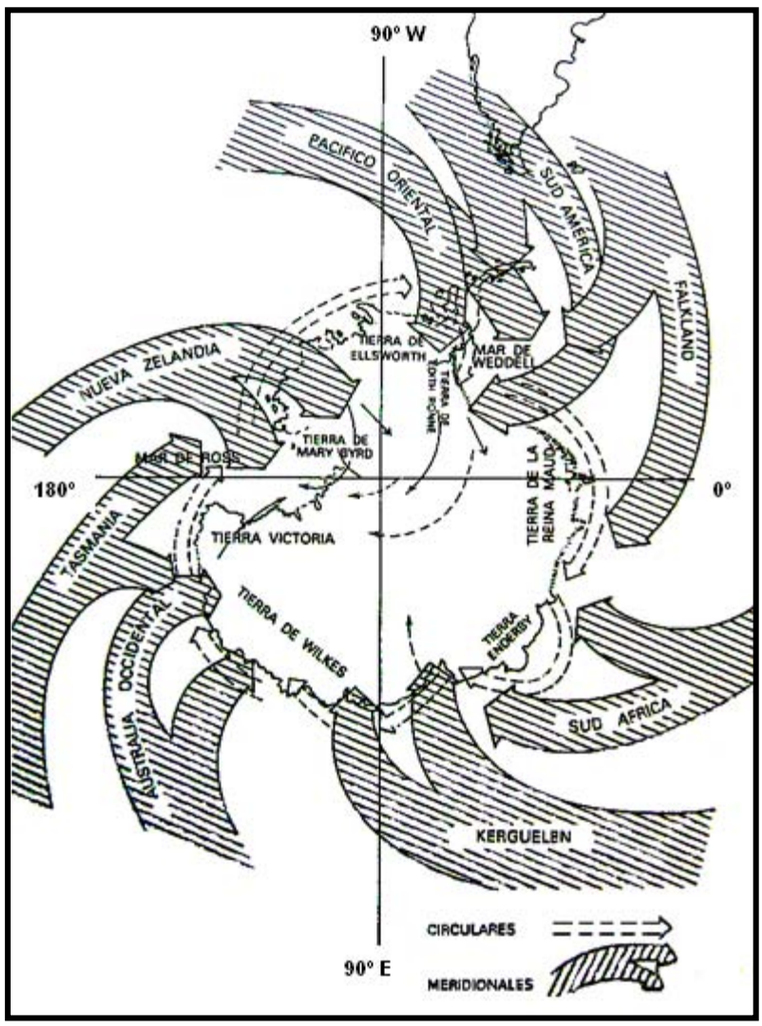



Figura 2.4: Trayectoria de las depresiones en la Antártica, se distinguen las depresiones meridionales y las depresiones circulares.
Fuente: Derrotero de la Costa de Chile, Volumen VI, 2º Edición 1989.

2.1.4. Depresiones en el Territorio Chileno Antártico.

Durante todo el año hay depresiones que cruzan la zona de las Islas Shetland y la Tierra de O'Higgins, algunas son del tipo meridional y viajan desde latitudes del N y otras se originan en el borde del continente Antártico, perteneciendo a las de tipo circular. Ambas al acercarse a la Tierra de O'Higgins sufren un efecto de retardo por la oposición del relieve. Dependiendo de la trayectoria y del origen se han observado tres tipos de estas depresiones.

2.1.4.1. Depresiones procedentes del NW.

Se forman en el interior del Pacífico Austral siguiendo una trayectoria hacia el E, al acercarse a los canales de la Patagonia se curvan hacia el SE para cruzar el Mar de Drake en forma oblicua y llegar así a la Tierra de O'Higgins en la misma dirección. Se les suele confundir con algunas depresiones que tienen la misma dirección E, pero atraviesan al Paso Drake sin alterar su sentido. Se manifiestan primero en las Islas Shetland con un descenso marcado en la presión y por la presencia de viento NE aumentando constantemente su velocidad. Estas depresiones, al tener origen lejano, hacen que los frentes cálidos y fríos se acerquen de manera que se comportan como un frente ocluido, esto es, cuando los frentes fríos se mueven rápido alcanzando a los cálidos, actuando como una cuña separando la masa cálida del suelo. Los efectos del frente ocluido son lluvia, nieve o agua-nieve y vientos que pueden alcanzar los 40 nudos. La visibilidad es reducida y el estado de mar corresponde a marejada o mar gruesa.

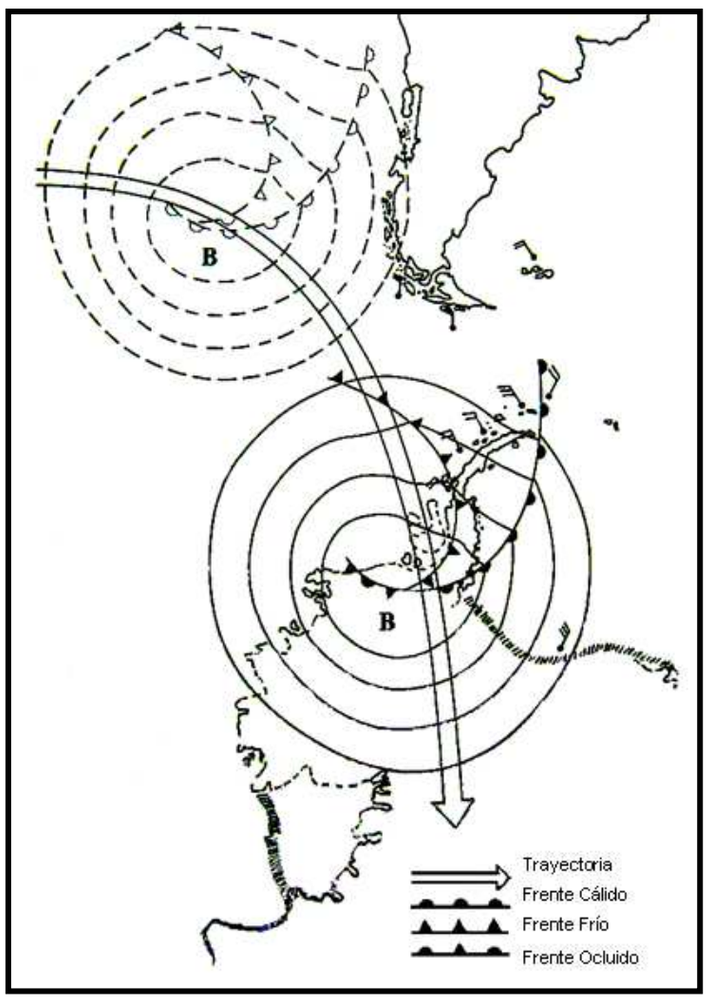



Figura 2.5: Trayectoria de las depresiones procedentes del NW.
Fuente: Derrotero de la Costa de Chile, Volumen VI, 2º Edición 1989.

2.1.4.2. Depresiones con centro en el Paso Drake.

Es una depresión del tipo circular y de pequeña extensión. En su margen N lleva mal tiempo al Cabo de Hornos, y en su margen S alcanza las Islas Shetland con nevadas y ventiscas. Generalmente su formación es reciente por lo que el frente cálido y el frente frío cruzan por la zona en forma abierta. Se manifiestan por un descenso en la presión y viento del E con aumento de intensidad. Al terminar su paso el viento cambia su dirección a SE, luego al S y por último a W.

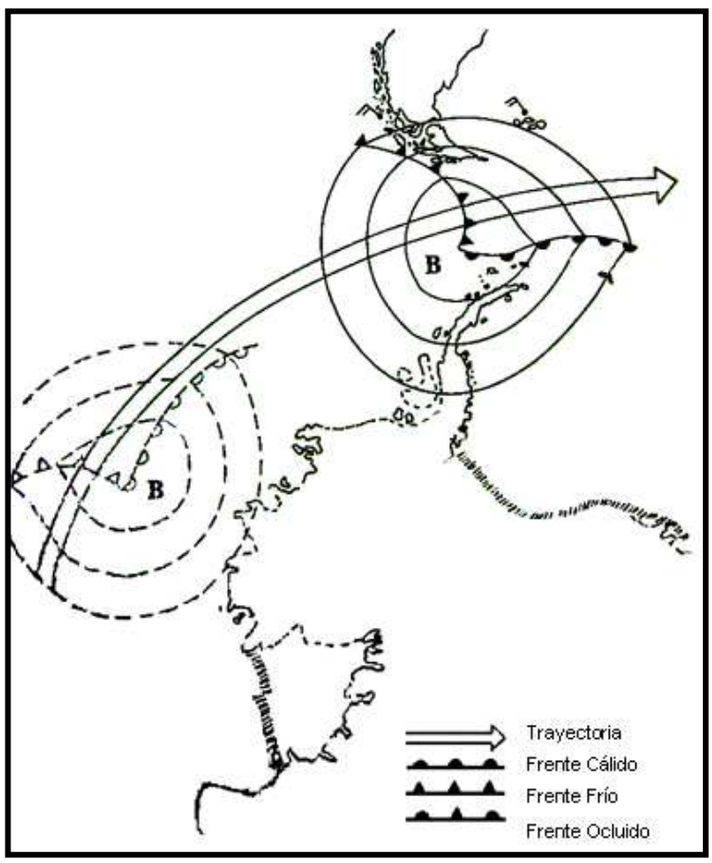



Figura 2.6: Trayectoria de las depresiones con centro en el Paso Drake.
Fuente: Derrotero de la Costa de Chile, Volumen VI, 2º Edición 1989.

2.1.4.3. Depresiones con centro al S de la Tierra de O'Higgins.

Nace en las proximidades del Mar de Ross y se mueve hacia el Mar de Weddell dejando a su paso intensas nevadas, ventiscas, baja visibilidad y condiciones de mar gruesa. Se manifiestan por un fuerte descenso en la presión a lo largo de toda la Tierra de O'Higgins, el viento tiene dirección N aumentando su intensidad y a medida que cruza este sector va cambiando su dirección a NW, W, y SW hasta alejarse de esta región.

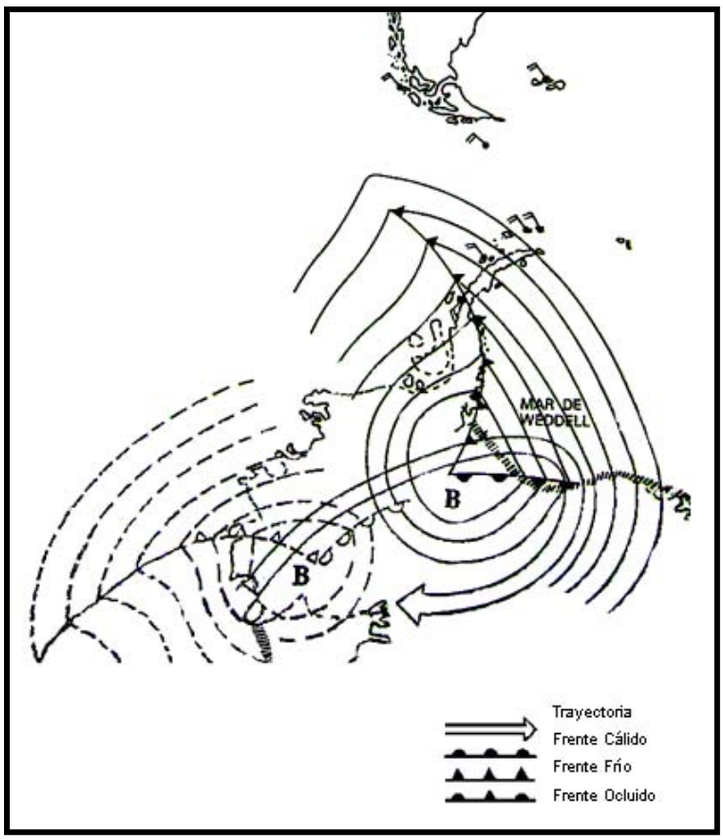



Figura 2.7: Trayectoria de las depresiones con centro al S de la Tierra de O'Higgins.
Fuente: Derrotero de la Costa de Chile, Volumen VI, 2º Edición 1989.

2.1.5. Fenómeno Kernlose Winter.

Es un fenómeno térmico producido exclusivamente en la Antártica en el que la oscilación térmica durante el invierno tiene variaciones muy pequeñas. Tal estabilidad deriva de la falta de luz solar durante los seis meses de invierno Antártico.

Pero el factor principal de este fenómeno es la situación del continente respecto de otras masas continentales, teniendo en cuenta que la tierra más cercana es la Península de América a unos 1.000 km de distancia. Así la Antártica, rodeada de grandes masas oceánicas, se mantiene en un equilibrio térmico que durante los inviernos impide que las temperaturas desciendan más aún.

Este término viene del alemán y se traduciría como "Invierno sin corazón" o bien "Invierno sin alma" y fue utilizado por primera vez a fines del siglo XIX por George Clarke Simpson quien tomando datos en el Mar de Ross entre los meses de Abril y Agosto se dio cuenta que la temperatura variaba en sólo 2.2º C.

## 2.2. RADIACIÓN SOLAR.

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de onda electromagnética de diferentes frecuencias: como luz invisible, infrarroja y ultravioleta. Aproximadamente la mitad de la luz que recibimos es visible al ojo humano, o está dentro del especto visible. La otra mitad se sitúa en el espectro infrarrojo y una pequeña parte en el espectro ultravioleta. No toda la radiación solar alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, que son las de menor longitud de onda, son absorbidas por los gases de la atmósfera como el ozono.

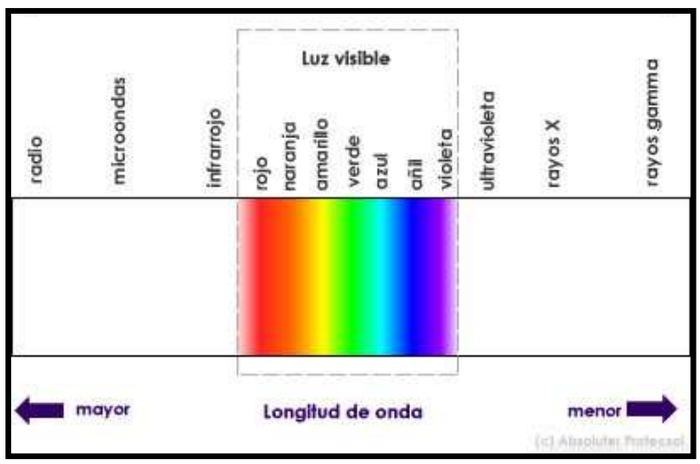



Figura 2.8: Espectro de Luz.
Fuente: Sitio web “Absoluter Protrecsol”.

### 2.2.1. Radiación y calentamiento global.

La radiación solar es generada por el Sol, que es considerado como una estrella del tipo enana amarilla. Las enanas amarillas son aquellas que están en proceso de convertir su núcleo de hidrógeno en helio y tienen un tipo de luminosidad V en una escala comparativa con otro tipo de estrellas. Consta de siete capas, entre ellas la fotósfera es la que produce casi toda la radiación.

La energía recibida por el Sol al atravesar la atmósfera terrestre calienta el vapor de agua en algunas zonas más que en otras, provocando alteraciones en la densidad de los gases y desequilibrios en la circulación atmosférica. Esta energía produce la temperatura en la superficie terrestre y el efecto de la atmósfera es aumentarla por el efecto invernadero, además de aminorar la diferencia de temperaturas entre el día y la noche y entre los polos y el ecuador.

El efecto de Invernadero proviene de la acumulación en la atmósfera de gases que permiten el paso de la radiación de onda corta del Sol, durante el día y que bloquean la propagación de la radiación de onda larga de la Tierra durante la noche, evitando así el enfriamiento de la superficie terrestre. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono ($CO_2$), el ozono ($O_3$) y el vapor de agua ($H_2O$).

La atmósfera no es calentada directamente por la radiación solar, sino de manera indirecta a través de la reflexión de esta radiación en el suelo y en la superficie de los mares y océanos, sin embargo no toda la radiación vuelve al espacio, ya que los gases invernadero se lo impiden. La importancia de los efectos de absorción y emisión de radiación en la atmósfera son vitales para el desarrollo de la vida como la conocemos pues si no existieran los gases invernadero la temperatura superficial de la Tierra sería de unos -22º C, contra los 15º C actualmente, pero hace algunos años la humanidad está produciendo un aumento de los gases invernadero con lo que la atmósfera retiene más calor y devuelve a la Tierra aún más energía causando un calentamiento global.

### 2.2.2. Derretimiento de hielos.

#### 2.2.2.1. Generalidades.

Según estimaciones científicas se calcula que más de un cuarto de de los glaciares montañosos del mundo podrían desaparecer para el año 2050, estos estudios también confirman que para esa fecha no quedaran más que algunas extensiones de hielo en Alaska, la Patagonia y el Himalaya. Debido que el hielo genera un efecto de reflejo con el calor del Sol, su derretimiento hará que la Tierra absorba ese calor en vez de reflejarlo, con el consecuente aumento en la temperatura global. El motivo de esta fusión sería el calentamiento global producto del incremento de los gases invernaderos.

El derretimiento de los hielos continentales es un fenómeno a largo plazo que modificaría la geografía de la Antártica y por consiguiente del mundo en general, pues si el hielo se derrite el nivel de las aguas oceánicas subiría considerablemente.

Algunos datos satelitales muestran que ha habido una disminución de un 10% en la extensión de la capa de nieve desde finales de los años ’60. La extensión del hielo marino en primavera y verano ha disminuido desde un 10% a un 15% desde los años ’50 y una disminución de un 40% en espesor del hielo desde finales del verano hasta principios de otoño en los últimos decenios. Todos estos cambios a nivel glaciar se

traducen en un aumento de entre 0,1 m y 0,2 m en el nivel medio del mar durante el siglo XX.

La superficie de nuestro planeta soporta una carga de unos 38 millones de $km^3$ de hielo, de los cuales un 85% está en el continente Antártico. Como el agua es más densa que el hielo, al derretirse quedarían unos 33 millones de $km^3$ de agua.

Si los glaciares se derritieran, casi toda el agua iría a parar a los océanos. Estos tienen una superficie total de 360 millones de $km^2$, y si los 33 millones de $km^3$ de hielo fundido se esparcieran uniformemente por toda su extensión, el nivel medio del mar alcanzaría una altura de 92 m. Con esta nueva altura los océanos arrasarían con unos 5 millones de $km^2$ de tierras bajas, hoy las más habitadas del planeta.

Tabla 2.1: Densidad del agua y del hielo.
Fuente: Apuntes de clases, Meteorología Marina.

| **Materia** | **Densidad** $\frac{Kg}{m^3}$ |
|---|---|
| Agua Dulce | 1000 |
| Agua Salada | 1025 |
| Hielo | 916,8 |

De todas maneras se puede suponer con cierta exactitud que el peso adicional del agua haría ceder en cierta medida el fondo marino, pero no se saben las consecuencias exactas. Una de ellas podría ser el hundimiento de placas tectónicas de manera que la presión que estas ejerzan sobre el magma emerja a la superficie formando nuevas Tierra cuando se enfríe, pues su temperatura oscila entre los 700º C y 1.500º C, destruyendo toda posibilidad de vida humana. Aún con este desplazamiento horizontal del fondo marino del nivel de las aguas aumentaría en unos 60 m.

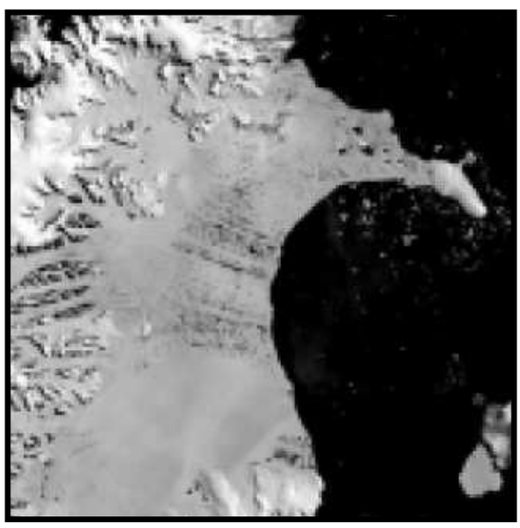
Si este cambio se realizase en forma paulatina y gradual no sería un gran problema, pues hay que recordar que nuestro planeta ya sobrevivió a una glaciación documentada y el posterior derretimiento, el problema es que la actividad humana está vertiendo, entre muchas otras sustancias, polvo y dióxido de carbono ($CO_2$). El polvo intercepta la radiación solar y enfría la Tierra, mientras que el Dióxido de Carbono atrapa el calor y la calienta. La preocupación es la velocidad con que el cambio

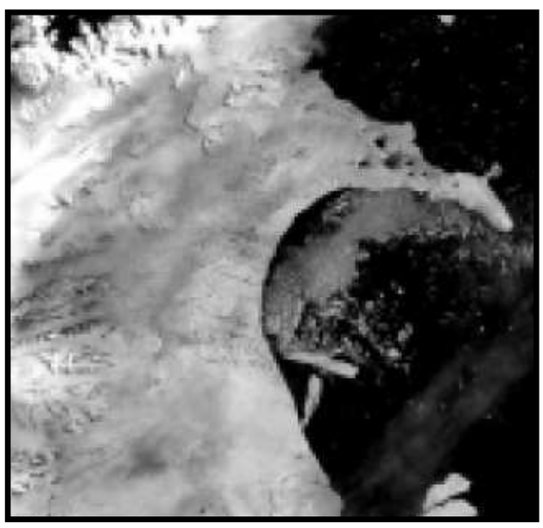
climático está afectando nuestras reservas de agua dulce, nuestros territorios habitables y por consecuencia nuestra calidad de vida.

2.2.2.2. Cambios recientes en la Antártica.

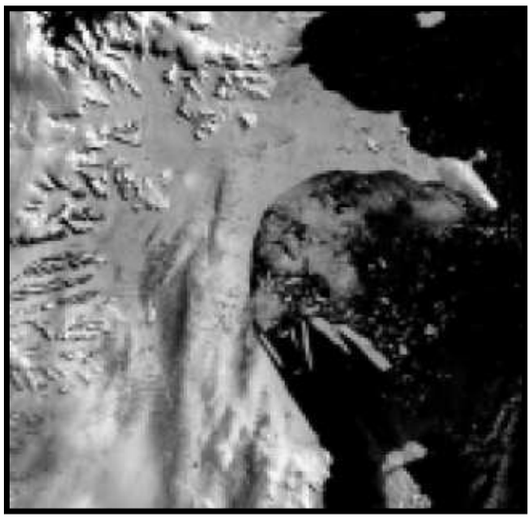
Como parte de un proceso propio de la naturaleza, es habitual que grandes masas de hielo se desprendan de los bordes de las plataformas Antárticas y comiencen a navegar como icebergs.

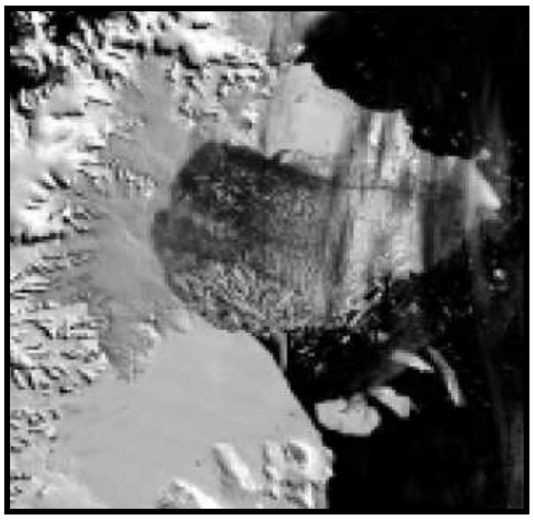
El los años ’80 la plataforma Wordie situada al W de la Tierra de O’Higgins se desintegró producto del aumento en la temperatura ambiental. En marzo del 2002 la plataforma Larsen B se desprendió del glaciar Thwaites, siendo el mayor desprendimiento en los últimos 30 años. 35 días fueron suficientes para que 3.250 $km^2$ de hielo se quebraran en miles de bloques formando un grupo de icebergs a la deriva en el océano. Lo que aún queda de esta plataforma es cerca de un 40% de su tamaño original y que se estima formada hace 400 años. La barrera Larsen era en un principio formada por tres barreras: la barrera Larsen A, Larsen B y Larsen C. La Barrera Larsen A se desintegro en enero de 1995 y la Larsen C aún parece estable. Aunque no ha habido grandes cambios en el nivel de las aguas, estos fenómenos traen como consecuencias el cambio en los ecosistemas asociados, a la fauna y por supuesto múltiples dificultades a la navegación por la cantidad de témpanos que han quedado a la deriva en la zona afectada.





Figuras 2.9 y 2.10: Colapso plataforma de hielo Larsen B, la fotografía de la izquierda es una imagen satelital tomada el día 31 de enero del 2002, la fotografía de la derecha fue tomada el día 17 de febrero de 2002.





Figuras 2.11 y 2.12: Colapso plataforma de hielo Larsen B, la fotografía de la izquierda es una imagen satelital tomada el día 23 de febrero de 2002, la fotografía de la derecha fue tomada el día 6 de marzo de 2002. Se puede ver que en poco más de un mes miles de $km^2$ de hielo se desintegran.

Fuente: Documento “Equilibrio inestable en un planeta afectado por el cambio climático” del CECS.

## 2.3. TIEMPO – RELOJ.

La Tierra tiene una órbita elíptica en torno a Sol, ocupando éste uno de sus focos. Al recorrer esta órbita nuestro planeta tiene su eje axial inclinado 23º 27’ con respecto a una línea vertical, esta inclinación trae múltiples consecuencias para nuestro planeta. La primera, y que a simple vista podemos darnos cuenta, es el origen de las estaciones del año.

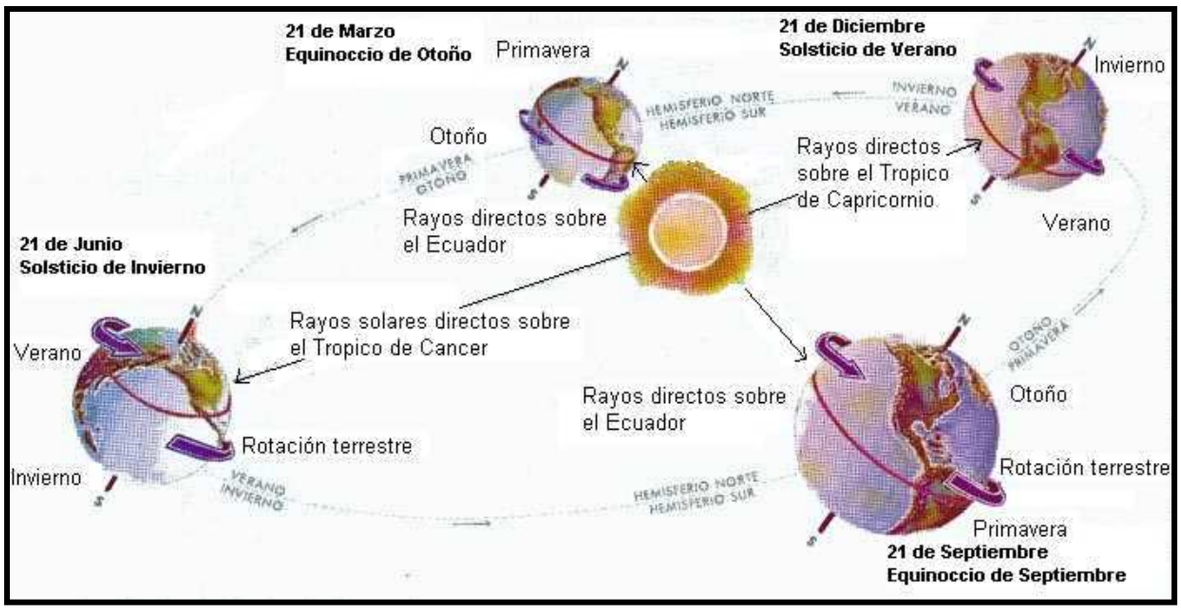



Figura 2.13: Órbita de la Tierra en torno al Sol.
Fuente: Apuntes geofísica, Universidad de Chile.

El 21 de diciembre el Sol se encuentra en su máxima posición (declinación) S con respecto a la Tierra, o dicho de otra forma los rayos del Sol llegan perpendiculares al trópico de Capricornio; a esta posición se le llama solsticio (del latín, sol estacionario) de verano en el hemisferio S y solsticio de invierno en el hemisferio N. Al haber más calor llegando al hemisferio S se inicia aquí el verano, al contrario, en el hemisferio N los rayos del Sol llegan en forma tangente por lo que se inicia el invierno. El 21 de marzo los rayos del Sol sólo llegan en forma perpendicular sobre la línea del Ecuador, por lo que en el hemisferio S se inicia el otoño y en el hemisferio N se inicia la primavera; se le llama equinoccio (del latín igual noche) de otoño en el hemisferio S y equinoccio de primavera en el hemisferio N. El 21 de Junio el Sol se encuentra en su máxima posición (o declinación) N con respecto a la Tierra, por lo que se inicia el verano en el hemisferio N y el invierno en el hemisferio S, solsticio de invierno en el hemisferio S y solsticio de verano en el hemisferio N. El 23 de septiembre nuevamente los rayos del Sol se encuentran perpendiculares sólo al Ecuador iniciando su

“descenso” hacia el S, dando comienzo por lo tanto a la primavera en el hemisferio S, equinoccio de primavera, y el otoño en el hemisferio N, equinoccio de otoño. Estos fenómenos se originan por que el plano que contiene a la línea del Ecuador no coincide con el plano que contiene la órbita terrestre, también llamada eclíptica. El plano de la eclíptica y el plano del Ecuador terrestre se encuentran separados en 23º 27’, el mismo valor que la inclinación del eje de la Tierra.

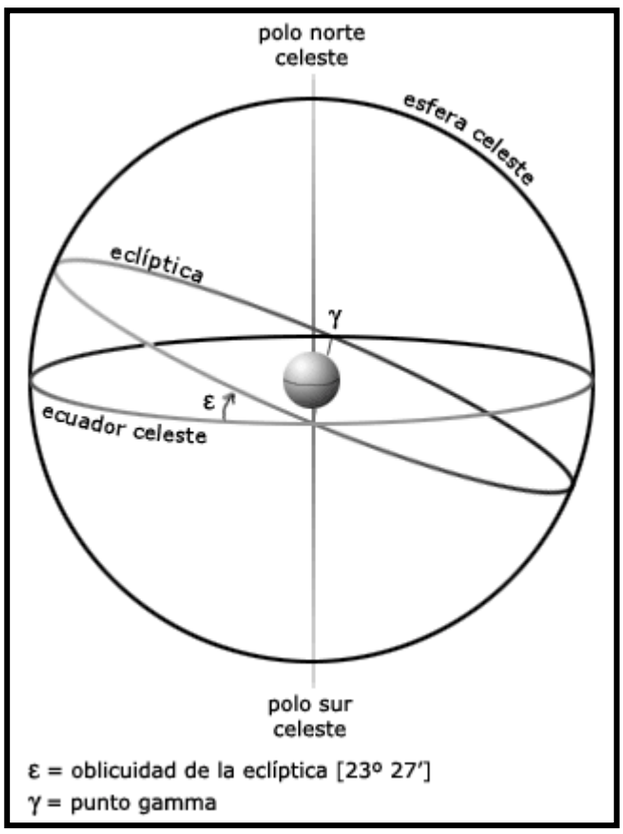



Figura 2.14: Plano de la eclíptica respecto del plano del Ecuador terrestre.
Fuente: Portal de los Siete Mares.

Hay que decir que las estaciones del año no son instantáneas ni repentinas, sino que se deben a un cambio constante y gradual en el estado de asoleamiento con el correr de los días y meses del año, pues si pensamos el día 21 de Diciembre es cuando el Sol esta en su máxima declinación S no es generalmente la época más calurosa del verano en el hemisferio S, sino que alrededor de la primera quincena de Febrero pues para esta fecha los continentes han almacenado un poco más de calor.

Tabla 2.2: Capacidades de Calor Específico de algunas materias.
Fuente: Apuntes Curso de Meteorología Marina.

| **Materia** | **Capacidad de Calor Específico en** $\frac{cal}{^{o}C \times grs}$ |
|---|---|
| Tierra (Rocas, Polvo, etc.) | 0.25 |
| Agua | 1 |
| Mercurio | 0.033 |

La segunda consecuencia de la inclinación del eje axial de la Tierra es la duración de los días y las noches, especialmente en las zonas polares. Los días de los equinoccios los rayos del Sol están llegando perpendiculares al Ecuador, por lo que el 23 de septiembre y el 21 de marzo las noches duran lo mismo que los días. En cambio el 21 de diciembre el Sol sale en la latitud 23º 27’ al S del Ecuador, es decir los rayos solares inciden perpendicularmente sobre este paralelo, haciendo el día más largo en el hemisferio Sur y la noche más larga en el hemisferio N. Lo inverso ocurre el 21 Junio, donde el Sol sale en el paralelo 23º 27’ N.

El día 23 de septiembre el punto marcado como polo S recibirá luz solar, mientras que en el polo N reinará la oscuridad durante los próximos 6 meses. A cada rotación de la Tierra, el Sol permanecerá visible durante las 24 hrs describiendo una órbita circular y cada día aparecerá más alto en el cielo. Tras alcanzar del 21 de diciembre su máxima altura sobre el horizonte, el Sol comenzará un lento movimiento de descenso que nuevamente lo llevará al horizonte el día 21 de junio. En las zonas cercanas al círculo Polar Antártico durante el verano se puede ver el hay ocaso del sol, sus trayectorias circulares y un cielo practicamente las 24 horas brillante hasta llegar al solsticio del 21 de diciembre que sería el único día donde en todo el círculo Polar Antártico donde el Sol se puede observar todo el día. Desde el 21 de marzo al 23 se septiembre la luz del Sol no caerá en el polo S, siendo el polo N el que disfrutará de un día de seis meses de duración. Todo el fenómeno descrito se presenta a la inversa en el hemisferio N, o sea, el día dura desde el 21 de Junio al 21 de Diciembre.

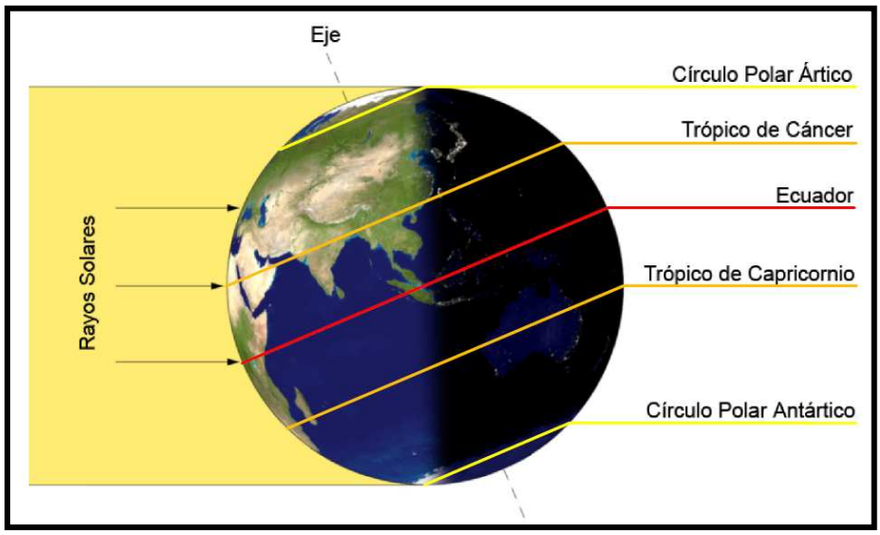



Figura 2.15: Esquema del solsticio del 21 de Junio. Los rayos solares llegan en forma perpendicular al Trópico de Cáncer ubicado en la latitud 23º 27’ N, se puede observar la oscuridad absoluta al S del Círculo Polar Antártico.

Fuente: Blog “Antarctic Kayak Expedition”

## 2.4. OCEANOGRAFÍA ANTÁRTICA.

La oceanografía es una ciencia que estudia los aspectos físicos, químicos, biológicos y geológicos de los mares, y se subclasifican en:

- Oceanografía física: estudia la dinámica de los mares, las profundidades, variaciones de temperatura, presión y densidad.

- Oceanografía química: estudia la composición de las aguas de mar y la disolución de agentes externos.

- Oceanografía biológica: estudia la fauna y flora marina.

- Oceanografía geológica: estudia el origen de los mares, como también las características de relieve y la acción de distintas formas de energía sobre la corteza submarina.

En general hasta el siglo XVII los conocimientos de oceanografía eran limitados a las observaciones superficiales de pescadores, balleneros, marineros y exploradores. Es hasta el siglo XVIII que el científico británico Robet Hooke, quien propusiera también la ley de la elasticidad, diseña instrumentos para recoger muestras de agua, medir profundidad y temperatura, lo que permitió un estudio más acabado de los mares.

Tabla 2.3: Cronología de los principales aportes a los inicios de la oceanografía mundial.

| Científico | Año | Acontecimiento |
|---|---|---|
| Robet Boyle | 1670 | Investigó sobre la salinidad en profundidad. |
| Louis Ferdinand de Marsigli | 1679 | Estudio la circulación de la salinidad entre el Mar Negro y el Mar Mediterráneo. |
| Louis Ferdinand de Marsigli | 1725 | Publica “Historia Física del Mar” en el que estudia la temperatura, salinidad, corrientes, sedimentos, flora y fauna del Mar Mediterráneo. |
| Gaspar-Gustave de Coriolis | 1792/ 1843 | Describió la fuerza aparente que tiende a desviar hacia la derecha las partículas móviles en el hemisferio N y hacia la izquierda en el hemisferio S. |
| *HMS Challenger* | Dic. 1872 | Zarpe de esta corbeta británica con el propósito de estudiar los océanos. |
| *HMS Challenger* | Mayo 1876 | Regreso de la nave con más de 150.000 km de navegación y múltiples estudios sobre profundidad media, flujos, corrientes, relieve submarino, oscilación de temperaturas superficiales. Se considera el punto de partida de la oceanografía. |
| *Vitiaz* | 1894 1895 | Nave de expedición rusa que continuó las investigaciones del HMS Challenger |
| *Valdivia* | 1899 | Nave de expedición alemana que continuó las investigaciones del HMS Challenger |
| *Thor* | 1906 1910 | Nave de expedición danesa que continuó las investigaciones del HMS Challenger |
| *Meteor* | 1925 1926 | Nave de expedición alemana, precursora de las expediciones en la Antártica. Descubrió agua Antártica de fondo en sus travesías Atlántico-Austral, permitiendo localizar la línea de convergencia Antártica. |
| ONU | 1960 | Se celebra por medio da las Naciones Unidas el primer congreso de oceanografía. El tema principal fue los recursos que mar puede ofrecer para la alimentación humana |

### 2.4.1. Zonas de convergencia y divergencia Antártica.

Producto de que las aguas Antárticas están en comunicación con los océanos Atlántico, Índico y Pacífico es muy difícil asignarle un límite N, por esto algunas teorías las consideran parte de los océanos mencionados. Pero es más aceptada la teoría que divide a las aguas Antárticas en tres grandes regiones: la Convergencia Antártica, la Convergencia Subtropical y la Divergencia Antártica. La identificación de estas zonas se le atribuye a la expedición alemana a bordo del *Meteor*.

2.4.1.1. Convergencia Antártica.

Es un flujo de aguas superficiales que ha sido identificada dando vueltas a todo el casquete Antártico a distancias variables de la costa y en algunas zonas recibe el nombre de frente polar. Circula por la mitad N del Paso Drake entre Tierra del Fuego y la Tierra de O'Higgins, sobrepasa los 50º S hacia el Ecuador en el Atlántico Austral, luego descienda a los 50º S al S de África oscilando por este paralelo hasta volver al Paso Drake. Esta masa de superficie oceánica es característica por una progresiva caída de la temperatura del agua superficial cuanto más al S se mide.

La localización de la Convergencia Antártica depende de la distribución de tierras, mares y de la topografía submarina. Sigue las isotermas e isohalinas, líneas de igual valor de salinidad, con un contramovimiento de las aguas frías de la superficie, produciendo una circulación vertical. Su posición está determinada por la latitud en la cual la capa de aguas profundas Subantárticas, relativamente calientes y salinas, asciende bruscamente por sobre al agua fría del fondo Antártico desde aproximadamente los 3.000 m a los 400 m. Este fenómeno ocurre entre los 55º y los 63º de latitud S, y como consecuencia desciende bruscamente el agua superficial Antártica. Se manifiesta en la superficie por una gran variación de temperaturas en cortas distancias.

2.4.1.2. Convergencia Subtropical.

Se denomina Convergencia Subtropical a un flujo de aguas subtropicales que chocan en la superficie con aguas subantárticas entre los paralelos 40º S y 50º S, ésta zona ha sido hallada en todos los océanos excepto al W de América del S, donde no ha sido establecida aún con claridad.

La localización de esta convergencia está condicionada por la distribución de tierras y mares, pero es menos dependiente de la topografía submarina. Se ubica alrededor de los 50º S pudiendo desplazarse hasta 300 millas debido a cambios de temperatura y salinidad.

2.4.1.3. Divergencia Antártica.

Se encuentra muy próxima a la costa helada de la Antártica y representa el frente de separación del agua producida por la fusión de hielos. Esta agua se sumerge verticalmente para constituir el agua Antártica de fondo.

Desde el punto de vista oceanográfico se consideran aguas de la región Antártica a las aguas presentes en la Convergencia Antártica y en la Divergencia Antártica.

La Convergencia Antártica y la Convergencia Subtropical están separadas en algunos puntos, como en el Pacifico Sur-Oriental; zona conocida como Región Subantártica.

Figura 2.16: Esquema de circulación de la Convergencia y la Divergencia Antártica.
Fuente: Sitio web Instituto Antártico Chileno.

2.4.2. Traslación de masas de agua.

Tan importante como conocer las corrientes oceánicas es conocer las velocidades con que se trasladan, por el efecto que podrían tener sobre una navegación segura, sino también para conocer los intercambios de calor por medio del agua desde la región polar a latitudes más bajas y los consecuentes cambios climáticos.

Alrededor de todo el continente las aguas de la región Antártica son de la misma estructura y se distinguen cuatro tipos de masas de aguas:

- Capa superficial de agua de baja temperatura: En invierno esta capa es delgada y homogénea con un espesor de hasta 100 m pues la temperatura en esta época es cercana al punto de congelación, aproximadamente -1,83º C, aumentando hasta el límite de la Convergencia Antártica donde alcanza los 0º C, y un valor de salinidad de 34%. En verano el valor de la salinidad disminuye por efecto de los deshielos.

- Capa de transición: Incrementa su espesor hacia el N, dentro de la cual la temperatura se eleva hasta los 2º C y la salinidad a 34,5%.

- Agua circumpolar Antártica: Es la más grande de todas las masas de agua, presentando una temperatura de entre 2º C y 0º C decreciendo de superficie a fondo. La salinidad aumenta a un 34,7%. La profundidad de esta capa va entre los 700 m y 1.300 m.

- Capa de fondo Antártico: Se caracteriza por una salinidad de 34,67% y temperaturas inferiores a los 0º C. Se encuentra aproximadamente hasta los 4.000 m desde la superficie y se forma por la mezcla entre el agua que fluye bajo las barreras de hielos y del agua circumpolar Antártica, teniendo su origen en el Mar de Weddell.

En la zona Subantártica las aguas difieren según la región en que se encuentren, ya sea por la circulación de las aguas profundas o por su posición en los tres océanos que rodean a la Antártica, así se pueden definir 6 masas de agua distintas, descritas a continuación.

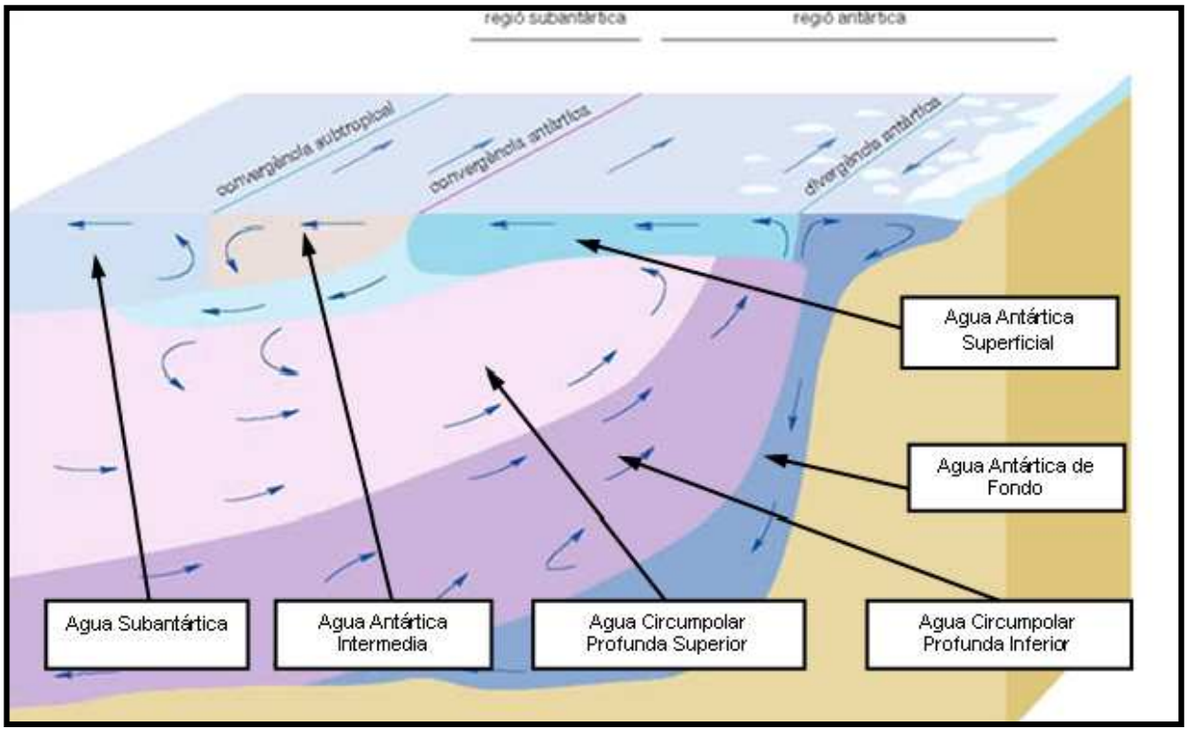



Figura 2.17: Esquema de la circulación vertical de las aguas Antárticas y Subantárticas. Fuente: Sitio web Instituto de Ciencias de la Mar, España.

- Agua superficial: Tiene una temperatura relativamente alta y uniforme entre los 8º C y 9º C que ayuda a la fusión de la parte N de los campos de hielo. Las variaciones estacionales de temperatura son del orden de 2º C entre el verano y el invierno como resultado de la mezcla de aguas superficiales que se produce en la Convergencia Antártica.

- Agua intermedia: Es de baja salinidad y se forma por la circulación vertical entre la Convergencia Antártica y Subantártica. Es la capa más ancha de las aguas subantárticas y se mantiene a la misma temperatura alrededor de todo el continente. Su temperatura fluctúa entre los 3º C y 7º C.

- Agua profunda superior: Se encuentra bajo los 1.500 m y a temperaturas entre los 2º C y los 0º C, siendo en el Océano Pacífico de menor temperatura.

- Agua profunda inferior: Tiene las mismas características que las aguas circumpolares Antártica, lo que indica que al llegar a la Convergencia Antártica esta capa sufre un hundimiento.

- Agua de fondo: Es similar a la capa de fondo Antártico y, al igual que esta última, también se origina en el Mar de Weddell. Esta capa de aguas frías y densas desciende lentamente sobre la plataforma continental y corre hacia el N en el fondo de los océanos.

- Agua subantártica.

2.4.3. Corrientes.

2.4.3.1. Corrientes de Superficie.

En general la intensidad de las corrientes superficiales es mayor en verano que en invierno debido al deshielo, como también pueden ser alteradas por algunas condiciones de vientos aislados.

Existe una corriente general hacia el E por la influencia de los vientos permanentes del W en las latitudes Antárticas. Se le conoce como Corriente Circumpolar Antártica o Corrientes de Deriva de los vientos del W y es desviada localmente por la distribución de la topografía submarina en ciertos sectores, aunque su dirección aproximada es hacia el NE debido al efecto de la rotación de la Tierra y su velocidad media es de 1 nudo, siendo variable según la zona considerada. En los océanos Pacifico Sur y Atlántico Sur tiene ramificaciones que giran en sentido antihorario.

La parte austral de America del Sur es el mayor obstáculo que encuentra la Corriente Circumpolar a su paso y toda esa gran masa de agua es obligada a pasar por el Paso Drake, aumentando su velocidad. Esta corriente en su lado N llega hasta la Isla de Chiloé donde forma dos ramas. La primera sigue hacia el N y es conocida como la Corriente de Humboldt, mientras que la segunda se desplaza hacia el SE bañando las costas del Cabo de Hornos, las costas SE de Sudamérica y las Islas Falkland, para luego tomar dirección NE.

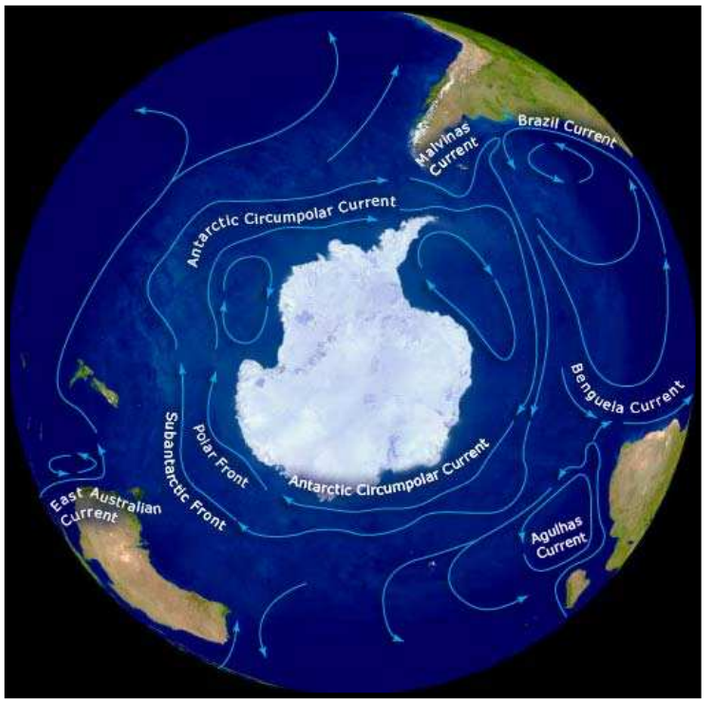



Figura 2.18: Circulación de la Corriente Circumpolar Antártica.
Fuente: Sitio web Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas y Marítimas.

Otra corriente importante es la llamada Corriente de Deriva del E que predomina en las grandes bahías como el Mar de Weddell, el Mar de Bellingshausen y el Mar de Ross y es provocada por los centros de bajas presiones permanentes, creando además dos regimenes de vientos: al N de esta corriente predominan los vientos del W y al S de ésta predominan los vientos del E. La corriente de Deriva del E está separada de la Corriente Circumpolar por la Zona de Divergencia Antártica y tienen sentido inverso de circulación.

Esta corriente en el Mar de Weddell es desviada hacia el NE en la costa oriental de la Tierra de O'Higgins para luego tomar la dirección E de la Corriente Circumpolar. A lo largo de la costa occidental de la Tierra de O'Higgins toma la dirección SW y en el Mar de Bellingshausen es influenciada por los vientos provenientes de las bajas presiones y sólo se presenta en forma débil y superficial lo que produce cierta acumulación de hielos a la deriva en esta zona. Aunque en verano esta misma corriente mantiene alejados los bancos de hielos en la zona del Mar de Amundsen pues se presenta más fuerte y en compañía de los vientos predominantes del SE.

En el Mar de Ross la Corriente de Deriva del E penetra y se divide en dos ramas: una que tira hacia el W, siguiendo la dirección principal de la Corriente de Deriva,

mientras que la rama S tira hacia la costa en dirección de la barrera de hielo de Ross y debajo de ella. De esta forma la última rama vuelve a unirse a la Corriente de Deriva que sigue circulando alrededor del continente para llegar nuevamente al Mar de Weddell, acumulando en su parte occidental numerosos campos de hielos que lo hacen muy poco navegable.

En la Región Subantártica la dirección de la Corriente también puede ser en sentido WE, pero sólo en la parte S de la Convergencia Antártica y pertenece a la Corriente Circumpolar Antártica. En su rama N esta corriente pertenece al sistema oceánico general de corrientes.

2.4.3.2. Corrientes de fondo.

Las corrientes profundas se mueven en función de las propiedades físicas del agua. El movimiento principal de las aguas profundas en general sigue la misma trayectoria de las aguas superficiales, con algunas excepciones que dependen del aumento de la profundidad o el cambio muy brusco de la configuración del fondo marino. Estas corrientes profundas son de gran importancia por que ayudan a la migración de masas de agua dentro y fuera de la Antártica.

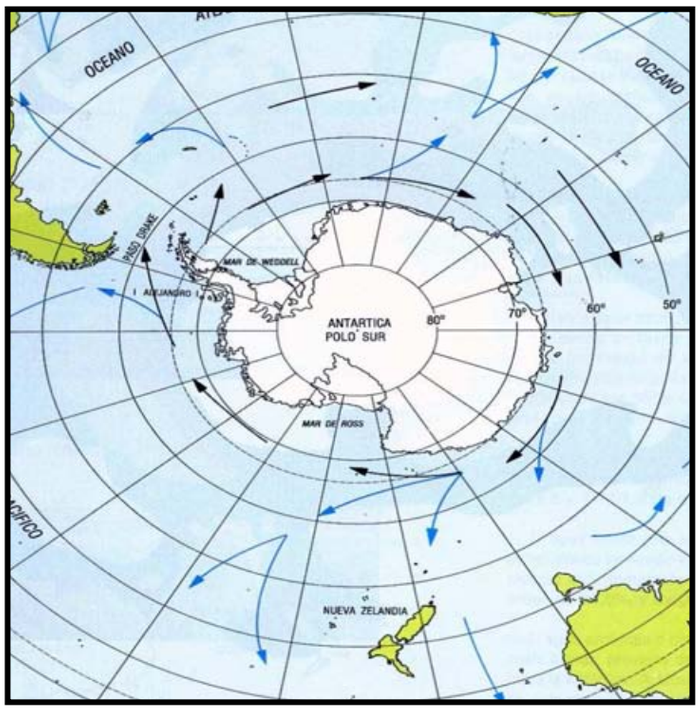



Figura 2.19: Circulación de las Corrientes de Fondo en el sector Antártico.
Fuente: Curso “Operación en Aguas Antárticas”.

## 2.5. REPORTES METEOROLÓGICOS.

El Centro Meteorológico Presidente Eduardo Frei Montalva, que depende de la base Teniente Rodolfo Marsh es la encargada de recopilar y difundir los datos meteorológicos de las estaciones Antárticas chilenas.

Desde 1985 existe la dependencia de la Armada de Chile correspondiente a la Capitanía de Puerto de Bahía Fildes, la cual sólo se abría en verano para el apoyo a las actividades científicas y para el estudio de la contaminación de aguas en la zona. Desde el 2006 esta Capitanía tiene una operación continua durante todo el año con el propósito de mantener informadas a las bases vecinas sobre las condiciones meteorológicas de la bahía y actuar en caso de accidentes en la mar.

Las transmisiones de cartas y datos sinópticos son emitidas en las frecuencias 11.660 KHz, 15.470 KHz y 5.302 KHz al minuto 30 de cada hora.

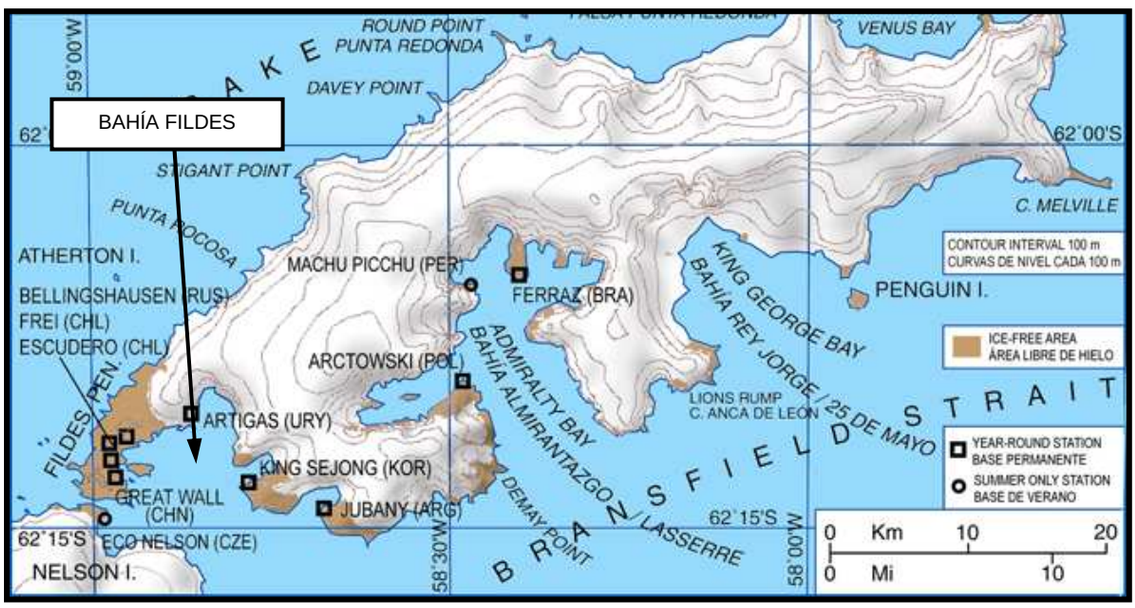



Figura 2.20: Ubicación de bahía Fildes en la Isla Nelson, Shetland del Sur.

# CAPITULO III:
# LEGISLACIÓN INTERNACIONAL Y TRATADO ANTÁRTICO.

## 3.1. RECLAMOS TERRITORIALES Y BASES ANTÁRTICAS.

### 3.1.1. Primeros reclamos territoriales.

En 1908 Gran Bretaña estableció un reclamo formal de una porción del territorio Antártico, unos pocos años después lo hicieron Nueva Zelandia, Australia y Noruega. Chile y Argentina hicieron lo propio más tarde, pues aseguraban tener pruebas que daban por hecho la posesión de territorios Antárticos desde la independencia de España. Esta situación de divergencia es explicada por la diversidad de los principios jurídicos en que se sustentan las peticiones de cada nación.

Los reclamos de Gran Bretaña, por ejemplo, se basan en los principios establecidos en la Conferencia de Berlín de 1885, en la cual África fue “repartida” a las potencias europeas, bajo los títulos de conquista y rendición indígena, ya que la conferencia de Berlín se inclina por el concepto de ocupación más que de descubrimiento para explotar un territorio.

En 1775 James Cook descubre las Islas Sandwich del Sur. Entre 1819 y 1820 Edward Brandsfield fue el primer hombre en pisar las Islas Shetland del Sur; expediciones que continuarían hasta que en 1908 Gran Bretaña establece su reclamo formal. Dada la ausencia de indígenas en estas latitudes, el sólo hecho de ocupar los territorios daba derecho de soberanía sobre ellos, pero en la legislación aceptada por Europa existía una cláusula para los territorios en caso que la ocupación territorial fuera imposible: bastaba la voluntad de ocupación para que el territorio sea soberano a la nación.

En America Central y Sur, tras la independencia de España, la repartición de los territorios nacionales consistió en que cada estado se quedaba con el territorio que se le había asignado como provincia del Imperio. Por lo tanto cuando en el siglo XIX los ingleses navegaban por los mares antárticos, a los gobiernos de Chile y Argentina no les interesaban territorios tan lejanos. Posteriormente ambos países basarían su derecho sobre la Antártica en la *Bulla Inter Caetera* del Papa Alejandro VI, posteriormente rectificada por el Tratado de Tordesillas, validando estos acuerdos como tratados internacionales, en una época en que la iglesia católica actuaba como juez en

diversas materias. Existen opiniones encontradas sobre estos tratados, pues algunos sectores son de la opinión que pueden ser invalidados ya que no se conoció intención real por parte de España de ocupar territorio Antártico durante la conquista de América, sin embargo Chile y Argentina sostienen lo contrario basándose en la carta real donde se le concede a Pedro Sánchez de la Hoz el gobierno de las tierras al S del Estrecho de Magallanes a principios de 1539, aunque para esa fecha no se tenía muy claro cuales eran los territorios existentes mas allá del Estrecho de Magallanes. Es en marzo de 1603 que almirante español al servicio del gobierno de Chile Gabriel de Castilla avista las Islas Shetland del Sur, cuando su buque *Buena Nueva* fue arrastrado hasta la latitud 64º S. El tripulante holandés Lauren Claess estableció una declaración del hecho que fue archivada en el Archivo Municipal de La Haya, donde historiadores contemporáneos establecieron a éste como el real descubridor de los territorios Antárticos. Por todos estos antecedentes históricos es que son varios los países que sienten al territorio Antártico como propio, siendo una dificultad concordar cada una de sus peticiones de suelo sin tener algún tipo de conflicto.

Diversos países disputan entre sí territorios sobrepuestos del continente, estos reclamos no son reconocidos ni por el resto de los países demandantes ni por la Organización de las Naciones Unidas, a excepción de Australia, Nueva Zelanda, Francia, Noruega y Reino Unido que sí se reconocen mutuamente sus reclamos por no estar sobrepuestos. Argentina y Chile también reconocen las áreas donde no se sobreponen y denominan al conjunto de sus territorios como Antártica Sudamericana. Estados Unidos y Rusia rechazan cualquier reclamo territorial, pero al momento de firmar el Tratado Antártico establecieron ciertas objeciones.

### 3.1.2. Teorías propuestas para el reparto de la Antártica.

El continente ha sido objeto de central de numerosas propuestas por diversos estados para su repartición, ellos se dividen entre territorialistas, con reclamos de soberanía, y no territorialistas, quienes no reclaman y no aceptan soberanía alguna.

#### 3.1.2.1. Teoría de los sectores polares.

Propuesta por el Senador Canadiense Pascual Poirier en un principio fue considerada para las regiones Árticas, pero se ha hecho una extrapolación a la Antártica, y considera que las regiones polares Antárticas serian prolongaciones de los países que rodean al polo S y por lo tanto estar bajo su soberanía. Para determinar las

regiones correspondientes a cada uno deberían trazarse desde las extremidades de los territorios circumpolares líneas convergentes al polo.

Esta teoría ha a derivado en otra que considera dividir los territorios polares en dos sectores, dejando la más cercana con derecho de preferencia a los países vecinos a estos territorios y la zona interior con derecho a quienes lo descubren.

3.1.2.2. Teoría de la defrontación.

Se basa en el principio de los sectores polares, con la diferencia que la desfrontación es aplicable a los países Sudamericanos situados por debajo de la línea del Ecuador y que posean costas hacia los océanos Pacífico y Atlántico. En ella se manifiesta que los países del hemisferio S con litoral enfrentado a la Antártica tienen derecho a poseer un sector de ese continente definido por los meridianos que pasan por los puntos extremos oriental y occidental de sus costas. Es propuesta hacia 1950, pero es en 1975 cuando la geógrafa brasileña Therezinha de Castro empezó a difundirla más fuertemente, junto con el concepto de Antártica Americana, que iría des meridiano 24º W al 90º W, coincidente con la Zona de Seguridad Interamericana establecida por el Tratado Interamericano de Asistencia Reciproca (TIAR) firmado en 1947 en Río de Janeiro.

La fundamentación de la teoría parte de considerar a Brasil como el país que posee la costa más extensa del Atlántico Sur y como responsable del TIAR. La autora propone la internacionalización de un área que afecta a la seguridad continental, quedando la Antártica dividida entre los 6 países enfrentados al Territorio Antártico: por el Atlántico Sur Brasil, Argentina y Uruguay, mientras que por el Pacífico Sur Chile, Perú y Ecuador.

3.1.2.3. Teoría de la confrontación o contiguidad.

Esta idea propone el derecho a la Antártica, de todos aquellos Estados que tienen un grado de proximidad y continuidad geográfica con dicho continente, aunque estén separados por accidentes geográficos, pero que tengan factores similares como clima, fauna, orografía, etc.

3.1.2.4. Teoría de la *Terra Nullius.*

Considera a la Antártica como una tierra sin dueño, en la que aún se pueden hacer reclamos geográficos.

3.1.2.5. Teoría del condominio.

Contempla la administración basada en la confianza mutua, compuesta por un determinado grupo de estados relacionados con el Sistema del Tratado Antártico.

3.1.2.6. Teoría del *Statuo Quo.*

Busca evitar disputas manteniendo el actual Sistema Antártico por un tiempo indeterminado.

3.1.2.7. Teoría del patrimonio común de la humanidad.

Esta alternativa propuesta por Malasia y apoyada por varios estados de los llamados Países no Alineados. Busca preservar la paz, repartir los beneficios de la riqueza, promover la investigación y el cuidado del medio ambiente, impidiendo la contaminación, conviniendo que la explotación de esta zona y sus recursos deben llevarse a cabo en beneficio de toda la humanidad. Esta posición es aceptada por países africanos y asiáticos, pero rechazada por los países miembros del Tratado Antártico y las Naciones Unidas, teniendo en cuenta que la Asamblea General de las Naciones Unidas no tiene capacidad para modificar las reglas de este tratado.

3.1.2.8. Doctrina Monroe.

Elaborada por el presidente de los Estados Unidos James Monroe (1758-1831) señala en una declaración de principios que “los continentes americanos por la condición libre e independiente que han asumido y sostienen, de hoy en adelante no se considerarán como objetivos de futura colonización por ninguna potencia europea”, declaración efectuada en una época en que casi todo el continente americano estaba obteniendo la independencia de España, Portugal y Gran Bretaña. Así, esta doctrina se puede aplicar a la Antártica, entendiendo al continente Americano como un todo, junto a las regiones Árticas y Antárticas, las cuales no pueden ser objeto de pretensiones por parte de terceros.

3.1.2.9. Teoría de los cuadrantes.

Comprende la división de la Antártica en cuatro sectores o cuadrantes, en proporción a los continentes cercanos.

a. Sector Sudamericano del 0º al 90º W.

b. Sector Sudafricano del 0º al 90º E.

c. Sector Australiano del 90º E al 180º.

d. Sector Pacífico del 90º W al 180º.

Por otra parte están las ideas de algunos exploradores, descubridores, científicos y tratadistas que sólo buscan dividir la Antártica en sectores geográficos. En un principio se aceptó la división en dos porciones, conocidas como la Antártica del E y la Antártica del W, para posteriormente dividirla en los cuadrantes.

Las teorías y concepciones antes expuestas dejan de manifiesto que existe un gran interés por la Antártica de parte de múltiples personalidades, organizaciones o estados y aunque estos intereses sean continuamente cuestionados, todas las teorías propuestas sólo han contribuido para que el actual Sistema Antártico se mantenga vigente.

3.1.3. Actuales reclamos de territorios Antárticos.

Los territorios Antárticos reclamados por distintos los países son los siguientes:

- Argentina (Antártida Argentina): Es el territorio comprendido entre los 25º W y los 74º W al S de los 60º S, formando uno de los cuatro departamentos de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e islas del Atlántico Sur, excepto las Islas Orcadas del Sur y Shetland del Sur, estas últimas conforman el departamento Islas del Atlántico Sur de la misma provincia. Este reclamo fue oficializado en 1943 y se confronta parcialmente con el reclamo chileno y totalmente con el británico. El soporte de la proposición Argentina es la permanente presencia en el sector. En 1904 inauguran una estación meteorológica en el Archipiélago de Las Orcadas del Sur y establecen la Compañía Argentina de Pesca.

- Australia (Australian Antarctic Territory): Territorio comprendido entre los 45º E y los 136º E y entre los 142º E y los 160º E, al S de los 60º S, reclamado en 1933 como uno de los siete territorios externos de Australia. El reclamo de esta nación abarca casi el 40% de la superficie total del continente y se encuentra dividido en dos por la interposición del reclamo francés. Sus reclamos se basan en descubrimientos y exploraciones, tanto nacionales como británicas.

- Chile (Territorio Chileno Antártico): Es el territorio comprendido entre los 53º W y los 90º W sin límite N delimitado en 1940, corresponde a la comuna Antártica, una de las dos comunas de la provincia de la Antártica Chilena, XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

- Francia (Terre Adélie): Entre los 136º E y los 142º E al S de los 60º S. Reclamado en 1924 es uno de los cuatro distritos de las Tierras Australes y Antárticas Francesas. Sus reclamos se basan en exploraciones y descubrimientos de sectores antárticos.

- Noruega (Dronning Maud Land): Entre los 20º W y los 45º E sin límite N, reclamada en 1939, además de la Isla Pedro ubicada en 68º 50’ S y 90º 35’ W reclamada en 1929.

- Nueva Zelanda (Ross Dependency): Entre los 150º W y los 160º E al S de los 60º S, reclamado en 1923 como un territorio dependiente neozelandés. Los reclamos de esta nación se basan en los principios de vecindad geográfica, a unos 1.600 km. De las Islas Adyacentes al territorio reclamado.

- Reino Unido (British Antarctic Territory): Entre los 20º W y 80º W al S de los 60º de latitud S. Este territorio fue reclamado oficialmente en 1908, aunque sus límites actuales fueron fijados en 1962 como un territorio de ultramar superpuesto totalmente con el reclamo argentino y parcialmente con el chileno. El primer paso de acercamiento hacia la Antártica fue en 1833 por medio del establecimiento de colonias en las Islas Falkland, luego en 1881 autoridades del Reino Unidos publican un listado de sus colonias incluyendo a las Islas Georgias del Sur; años más tardes se agregarían las Islas Sandwich del Sur, Orcadas del Sur, Shetland del Sur y la Tierra de Grahan. En 1908 el Rey Eduardo VII delimita las dependencias de las Falkland por los meridianos 20º W y 80º W y como límite N el paralelo 50º S, cubriendo algunos territorios americanos de Chile y

Argentina. Luego, en 1917, el Rey Jorge V rectifica el límite N en 50º S para el territorio comprendido entre los meridianos 20º y 50º W y el paralelo 58º S para el territorio comprendido entre los meridianos 50º y 80º W. Es en 1962 que la Reina Isabel II establece como límite N el paralelo 60º S, que es el fijado hasta el día de hoy, además separa administrativamente el Territorio Antártico Británico de la Gobernación de las Falkland.

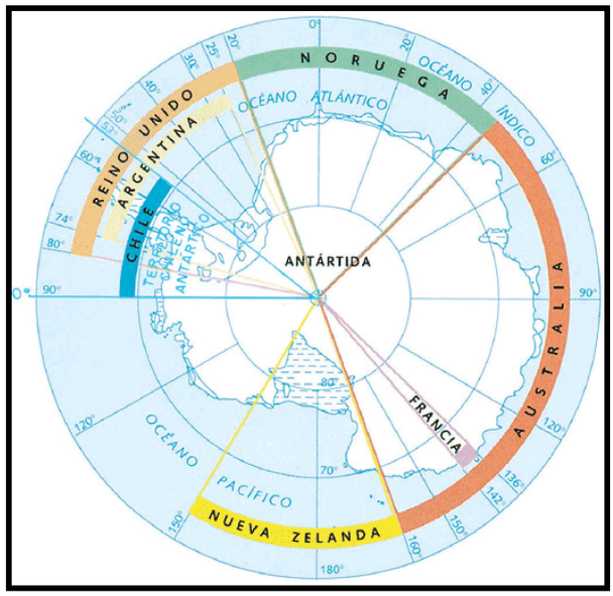



Figura 3.1: Esquema de los Territorios Antárticos reclamados por los distintos países, se observan las pretensiones superpuestas de Reino Unido, Argentina y Chile.

3.1.4. Bases Antárticas.

La mayoría de los miembros del Tratado Antártico mantienen estaciones de investigación científica en la Antártica. Algunas de ellas operan todo el año, mientras otras son de carácter temporal y operan sólo en verano. Existe una notable concentración de las bases en la mitad N de la Península Antártica. Algunas de las más notables son la estación Amundsen-Scott (Estados Unidos) por que esta situada muy cerca al polo S geográfico, en latitud 89º 59’ 51” S, mientras que la base rusa Vostok es donde se ha registrado la menor temperatura del planeta: -89º C y se encuentra sobre un lago subterráneo en la Latitud 78º 28’ S, ésta en conjunto con la base Franco-Italiana Concordia (75º 06’ 06” S) son las más próximas al polo S magnético. La Base más antigua es la estación Argentina Orcadas que funciona desde el 22 de Febrero de 1904.

Se incluye en el anexo 2 un listado las bases antárticas y ciertas características como población, ubicación y país responsable.

## 3.2. CHILE ANTÁRTICO.

### 3.2.1. Territorio Chileno Antártico.

Ya en 1906, el gobierno de turno, deja constancia pública que la relimitación de los territorios Antárticos era una importante materia de discusión, aunque sólo se consideraron como estudios iniciados, sin llegar a una decisión concluyente.

Posteriormente la delimitación del Territorio Chileno Antártico queda expresado por el Decreto Supremo nº 1.747 del Ministerio de Relaciones Exteriores el 6 de noviembre de 1940 durante el gobierno de Pedro Aguirre Cerda, en el cual queda indicado que: “Forman parte de la Antártica Chilena o Territorio Chileno Antártico, todas las tierras, islas, islotes, arrecifes, glaciares y demás territorios, conocidos y por conocerse, y el mar territorial respectivo, existentes dentro de los límites del casquete constitutito por los meridianos 53º longitud W de Greenwich y 90º longitud W de Greenwich”.

Las razones para reclamar soberanía de los territorios entre estos límites fueron cuidadosamente estudiados según actividades económicas e instrumentos jurídicos heredados del gobierno español. El meridiano 53º W corresponde al límite trazado por el Tratado de Tordesillas de 1493, que dividía las posesiones Españolas de las Portuguesas en América, siendo también límite oriental de la Capitanía General de Chile; más tarde se estableció que los países independizados mantendrían los límites asignados por la Corona Española, en nuestro caso hasta el polo S reconocida desde hace siglos por las Reales Cédulas y Órdenes de la Corona Española. También en esta longitud es donde desarrolló sus actividades las Compañía Ballenera de Magallanes, con base en la Isla Decepción desde 1907. El meridiano 90º W se eligió como límite occidental teniendo en cuenta la ubicación del archipiélago Juan Fernández

Otros motivos de los reclamos territoriales son los descubrimientos y las primeras exploraciones por parte de cazadores de focas chilenos; los títulos de herencia de la Corona Española; la proximidad geográfica; la continuidad geológica a través de las denominadas Antillas Australes formadas por las Islas Georgias del Sur, Sándwich del Sur, Orcadas del Sur y Shetland del Sur, considerando a éste como límite natural de los océanos Atlántico y Pacífico; y por último la ocupación efectiva.

Para los chilenos el Territorio Chileno Antártico es un sector más de nuestro territorio nacional en el cual se aplica toda la legislación interna que no sea contraria al Tratado Antártico, a cualquier protocolo internacional de protección de este territorio o sus recursos que estén ratificados por nuestro país. A los extranjeros en este territorio se les aplica el artículo VIII del Tratado Antártico sobre jurisdicción. Se hace distinción entre científicos, acompañantes y observadores, pues a estos se les aplica la legislación de sus países de origen, mientras que a otro tipo de visitantes como turistas no se deja claro que legislación se les debe aplicar; aunque existe una “Guía para aquellos que organicen y conduzcan actividades turísticas y no gubernamentales en la Antártica” y una “Guía para los visitantes a la Antártica” en que se estipulan las obligaciones antes, durante y una vez terminada la estadía y las responsabilidades con el ecosistema, con la seguridad personal y grupal. El país que reclama el lugar visitado es el encargado de hacer llegar esta información a los Tour Operadores o a la delegación visitante para que pueda cumplir las normativas exigidas, el cual debe ser notificado con la debida antelación a la visita.

### 3.2.2. Organismos encargados de la actividad Antártica nacional.

En 1906 el Ministerio de Relaciones Exteriores inicia negociaciones con la Republica de Argentina sobre la relimitación de la Península Antártica, ya que ambos países afirmaban tener derechos sobre ella. En 1908 se terminan estas negociaciones sin llegar a acuerdo, dejándose en calidad de “estudios iniciados”. Más tarde, en 1940 se publica el Decreto Supremo 1.723 del Ministerio de Relaciones Exteriores, en el cual se le traspasa esta materia de estudio a la Cancillería, con el poder para resolver cualquier asunto relacionado con los Territorios Antárticos.

#### 3.2.2.1. Ministerio de Relaciones Exteriores.

Es el organismo encargado de coordinar las actividades de los distintos ministerios con relación a la política exterior; determinar las fronteras del territorio, espacios marítimos y aéreos, el fortalecimiento de los derechos soberanos la nación y promover los principios del Tratado Antártico.

Todas estas misiones se llevan a cabo a través de los siguientes organismos:

- Consejo de Política Antártica (CPA): Es un organismo colegiado de nivel ministerial, se reúne una o dos veces en el año y es el organismo coordinador

antártico más importante del país pues se analizan los temas de mayor relevancia sobre el Territorio Chileno Antártico. En un principio el CPA sólo tenía como función “recopilar antecedentes de la Antártica”, pero ha evolucionado hasta convertirse en quien tiene la función de determinar las bases jurídicas, políticas, científicas, económicas del territorio.

- Departamento Antártica: Depende de la Dirección del Medio Ambiente, Mar y Antártica (DIMA). El Departamento Antártica es el encargado de coordinar al Consejo de Política Antártica con otros organismos como la Defensa Nacional, las Fuerzas Armadas, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el Instituto Antártico Chileno, la Dirección de Fronteras y Límites, entidades académicas y una representación de la XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Además debe hacerse cargo de la cooperación y relación entre los estados partes del Tratado Antártico.

- Sección Nacional de la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos: Fue establecida en 1991 y sus funciones principales es la coordinación nacional para cumplir los objetivos de esta convención.

- Instituto Antártico Chileno (INACH): Fue creado en 1963, es un organismo autónomo y único en los asuntos de carácter científico, tecnológico y de difusión sobre el área Antártica, ya sean prácticas de carácter público o privado. También le compete coordinar la participación de Chile en las actividades internacionales que se efectúen en la Antártica y que estas no sean contrarias a lo suscrito en el Tratado Antártico. Su principal sede se encuentra en Punta Arenas desde 1997 y mantiene varias bases en el Territorio Antártico Chileno.

Tabla 3.1: Base Permanente del INACH en el Territorio Chileno Antártico.

| **Nombre Base** | **Fecha Creación** | **Ubicación** | **Coordenadas** | **Dotación** | | **Comunicación** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **Verano** | **Invierno** | |
| Profesor Julio Escudero | Feb. 1995 | Isla Rey Jorge Shetland del S. | 62º 12' S 58º 57' W | 25 Personas | 2 personas | Satelital, Internet, VHF Y HF |

Tabla 3.2: Bases de verano del INACH en el Territorio Chileno Antártico.

| Nombre Base | Fecha Creación | Ubicación | Coordenadas | Dotación Máxima | Comunicación | Fecha Operación |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Julio Ripamonti | Nov. 1986 | Isla Rey Jorge Shetland del S. | 62º 12' S 58º 53' W | 4 personas | Radio VHF | Oct. a Feb. |
| Luis Risopatrón | Mar. 1957 | Isla Robert Shetland del S. | 62º 22' S 59º 39' W | 10 personas | Radio VHF | Dic. a Feb. |
| Antonio Huneeus Gana | Oct. 1999 | Montes Ellworth Tierra O'Higgins | 80º 08' S 81º 16' W | 7 personas | UHF Satelital | Nov. a Dic. |
| Dr. Guillermo Mann | Nov. 1991 | Isla Livingston Shetland del S. | 62º 27' S 60º 47' W | 6 personas | UHF Satelital | Nov. a Feb. |
| Sub Base Yelcho | 1962 | Isla Doumer Arch. De Palmer | 64º 62' S 63º 35' W | 8 personas | UHF Satelital | Ene. a Feb. |
| Refugio Punta Spring | 1972 1973 | Punta Spring Penin. Antártica | 64º 17' S 61º 04' W | 4 personas | UHF Satelital | Actualmente Cerrado |

- Comité Nacional de Investigaciones (CNIA): Fue creado en 1962 y es el organismo nacional del Comité Científico de Investigación Antártica denominado SCAR (Scientific Commitee on Antartic Reserch). Es el encargado de representar a la comunidad científica nacional ante el SCAR y asesorar al INACH en la programación de sus actividades.

- Dirección de Fronteras y Límites (DIFROL): Es el organismo encargado de preservar y fortalecer la integridad territorial del país, participando en la celebración de convenios, tratados y foros internacionales. En esta materia debe preocuparse de la zona Antártica ya que esta también es una zona fronteriza.

3.2.2.2. Ministerio de Defensa.

Este ministerio organizó la primera expedición nacional y estableció la primera base en el año 1947. En ese mismo año la Armada de Chile crea la sección Antártica en el Estado Mayor de las Fuerzas Armadas. Actualmente el Ministro de Defensa forma parte del Consejo Político de la Antártica, en conjunto con el Jefe del Estado Mayor de la Defensa Nacional y los respectivos jefes de las Fuerzas Armadas. El ministerio de Defensa puede cumplir sus funciones gracias a los siguientes organismos a su cargo.

- Estado Mayor de la Defensa Nacional: Es el organismo coordinador de los asuntos logísticos y de traslados de las Fuerzas Armadas a través del Departamento de Política Antártica.

- Ejército: Se encarga en conjunto con el Instituto Geográfico Militar de hacer levantamientos topográficos del Territorio Chileno Antártico. Mantiene la Base O'Higgins en la Península Antártica, como también el proyecto de una antena satelital en conjunto con el INACH y el Centro Alemán de Aeronáutica y Astronáutica (DLR, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt) y desde 1997 mantiene el Refugio General Ramón Cañas Montalva.

- Armada: Mantiene la Base Arturo Prat en la Isla Greenwich y el Refugio Yankee Bay. En esta base se encuentra la Estación de Ciencias Marinas de la Antártica, proyecto científico en conjunto con el INACH y la Universidad Católica del Norte. Realiza labores de patrullaje por medio de la Patrulla Antártica, que depende de la III Zona Naval en Punta Arenas y de la División de Asuntos Nacionales ubicada en Valparaíso y a cargo del Estado Mayor de la Armada. También se relaciona con la Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) por su constante preocupación por el medio ambiente acuático y la preparación de las cartas náuticas de la zona.

- Fuerza Aérea: Mantiene la Base Eduardo Frei Montalva en la Isla Rey Jorge; la Base Teniente Marsh y su aeropuerto en conjunto con la Dirección de Aeronáutica Civil; la Villa las Estrellas y la hostería Estrella Polar Mantiene también la Base Gabriel Gonzáles Videla en Bahía Paraíso, la base Teniente Carvajal en la Isla Adelaida del Sur, la base de verano Estación Polar Teniente Merino ubicada junto con la base del INACH Antonio Huneeus Gana.

3.2.2.3. Ministerio del Interior.

Las funciones de este ministerio es mantener el orden público, la seguridad y la paz social al interior de nuestra nación, y por lo tanto dentro del Territorio Antártico Chileno por medio de los siguientes organismos:

- Intendencia de la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena: Tiene a su cargo todos los asuntos administrativos del Territorio Chileno Antártico. La Antártica

constituye una de las dos comunas de Provincia de la Antártica Chile (Cabo de Hornos y Antártica) y aunque no tiene alcalde quien la administra es el Intendente de Magallanes con acuerdo del Consejo Nacional.

- Consejo Coordinador Antártico de Punta Arenas: El consejo usualmente se reúne dos veces al año con el objeto de promover a la XII Región como la entrada al Continente Antártico, de esta forma coopera con los países miembros del Tratado Antártico en su paso a la Antártica incentivando la prestación de servicios de logística y de preparación científica.

3.2.2.4. Universidades.

El INACH apoya a todas las universidades nacionales y centros de investigación que tengan interés en las diversas áreas científicas, tecnológicas o ambientales que puedan ser un aporte para el conocimiento y difusión del continente blanco. Para esto anualmente se llama a un concurso a nivel nacional para la coordinación y financiación de proyectos o investigaciones.

3.2.2.5. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

Es el organismo encargado de la aplicación del Protocolo de Madrid sobre Protección del Medio Ambiente por medio de la creación del Comité Nacional para la Evaluación del Impacto sobre el Medio Ambiente (CONAIEA) cuya función es la evaluación de impacto ambiental sobre cada actividad que se emprenda en la Antártica por organismos públicos o privados y dar el respectivo cumplimiento al Protocolo de Madrid.

3.2.3. Centro de Estudios Científicos (CECS).

Es una organización privada sin fines de lucro dedicada al desarrollo, fomento difusión de la investigación científica; fundado en 1984 en Santiago a cargo del físico Claudio Bunster, quien lo dirige hasta hoy. A principios del año 2000 trasladó su sede a la ciudad de Valdivia.

Este Centro tiene tres líneas de investigación científica, estas son Biología, Física Teórica y Glaciología y Cambio Climático. En este último punto de investigación el Cecs estudia las variaciones de los glaciares, las dinámicas del flujo del hielo y su relación

con el cambio climático mediante diversa tecnología como monitoreo de la superficie de los casquetes por medio de GPS, ecosondaje, balance de masa y energía, radar, altimetría láser y análisis digital de imágenes satelitales. Para llevar a cabo estos estudios de han realizado las siguientes investigaciones.

- Expedición Científica al Lago Ellsworth, 2006: El objetivo de esta expedición fue el estudio glaciológico del Lago subglacial Ellsworth, con un recorrido aproximado de 426 km a fin de obtener topografía superficial, estructura de los hielos y detectar posibles grietas. También se trabajó en la medición de velocidades del flujo de hielo y balances de masa.

- Exploración aérea de los glaciares del Mar Amundsen y la Península Antártica, 2002: Se realizaron un total de 27 horas de sobre vuelos en la zona de la Plataforma de Hielo Larsen y sobre al Mar de Amundsen con el objetivo de determinar si la reducción de las plataformas de hielo flotante se traduce en una inestabilidad y aceleración del hielo interior y como podrían influir en el nivel global del mar.

- Interacciones entre volcanes y glaciares de la Región de los Lagos: Proyecto en conjunto con FONDECYT (Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico) en el que se estudiaron dos volcanes activos cubiertos de nieve y hielo, el Villarrica y Mocho Choshuenco, con el objetivo de diferenciar respuestas glaciares frente a cambios climáticos asociados a volcanes activos. También se analizaron los efectos de las variaciones de peso y volumen de los glaciares sobre la actividad eruptiva de dichos volcanes, y el aumento de flujo de hielo por deformación interna y cambio de albedo generando la depositación de cenizas y lava sobre el hielo y nieve.

- Estudio de testigos de hielo en los Andes de Chile Central y la Patagonia: El objetivo de este proyecto fue estudiar propiedades de geometría, cinemática y variación de glaciares y generar modelos de flujo para estimar las futuras variaciones de estos.

- Desarrollo de métodos geofísicos y geodésicos para el estudio de los glaciares: Esta línea de estudio se llevó a cabo en diversos lugares de Chile. Primero se estudio la profundidad del espejo de agua subterránea del Salar de Atacama para modelar el flujo hídrico en esta zona por medio de un Radar de Penetración

Terrestre (GPR). Posteriormente se trabajó con el mismo sistema GPR, más un sistema de radio-eco sondaje terrestre (RES) en el Glaciar Pichillancahue, Volcán Villarrica. Luego se estudiaría el Volcán Osorno con el objetivo de obtener la topografía superficial del cráter, la deformación de los conos volcánicos y la dinámica del hielo por medio de un Radar de Apertura Sintética. Finamente mediante radio-ecosondaje, GRS y altimetría láser se estudiaron las variaciones y dinámica del margen S del glaciar Fuchs en la Isla Adelaida, lugar que durante décadas ha sido ocupado como pista de aterrizaje y que presenta peligrosas grietas que solo se hacen visibles durante el verano, pues la nieve fresca con que se llenan estas grietas se derrite, concluyendo el estudio con un mapa de las grietas existentes y con la recomendación de buscar nuevos sitios a mayor altura para estos fines, ya que las condiciones de ésta empeoran debido al incremento del flujo del hielo.

## 3.3. El SISTEMA DEL TRATADO ANTÁRTICO.

Es un sistema Jurídico internacional único en el mundo, que ha permitido que un continente completo haya sido destinado a la paz, a la ciencia y al uso pacífico de sus recursos durante los últimos cuarenta años. El Sistema del Tratado Antártico es un conjunto de tratados, protocolos y medidas para proteger el continente Antártico.

El Sistema del Tratado Antártico comprende el Tratado Antártico; el Protocolo de Madrid o Protocolo sobre Protección del Medio Ambiente; las Convenciones de las Focas, de los Recursos Vivos Marinos Antárticos y de los Recursos Minerales y todas las Recomendaciones, Medidas, Decisiones y Resoluciones Vigentes adoptadas por las partes suscritas al Sistema.

En Julio del 2001 y de la mano de la XXIV Reunión Consultiva Especial celebrada en San Petersburgo, se acordó tener una secretaría la que estaría ubicada en Buenos Aires, Argentina. La función de esta seria preparar documentos, coordinar las reuniones y algunas labores administrativas, aunque aún es tema de discusión las funciones específicas de ésta y su financiamiento.

### 3.3.1. EL Tratado Antártico.

#### 3.3.1.1. Antecedentes del Tratado Antártico.

El Tratado Antártico fue creado con el fin de regular el uso del Territorio Antártico incluyendo las barreras de hielo ubicadas al S de la latitud 60º S, sus recursos minerales y encontrar soluciones al problema de reclamos de soberanía en el continente Antártico. Es el principal documento jurídico internacional que dio origen al denominado “Sistema del Tratado Antártico”

El Tratado Antártico fue firmado el 1 de Diciembre de 1959 con doce países firmanes iniciales, llamados signatarios, de los cuales siete ya tenían reclamos formales de soberanía, dejando abierta la puerta a cualquier miembro de la Organización de Naciones Unidas u otro estado invitado por los países firmantes para sumarse al tratado. Desde esa fecha varios países de han adherido.

Los países firmantes iniciales fueron: Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Francia, Japón, Nueva Zelandia, Noruega, Sudáfrica, Unión de Republicas Socialistas

Soviéticas (reemplazada posteriormente por Rusia), Reino Unido y Estados Unidos, todos participantes del Año Geofísico Internacional desarrollado entre 1957 y 1958. Aunque el Año Geofísico Internacional fue un evento de intenciones científicas, deja entrever los propósitos políticos de algunas naciones; por ejemplo en 1956, el año anterior al evento Geofísico, la Unión Soviética construye su primera base en territorio reclamado por Australia, sino hubiese existido tal evento dedicado a la paz y la ciencia, las críticas y acciones de las naciones de occidente hubieran sido numerosas.

Otro gran antecedente de este tratado es la Guerra Fría sostenida entre los Estados Unidos de América (USA) y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) entre los años 1947 y 1991. Ya desde la Segunda Guerra Mundial se venían desarrollando intereses de distintas naciones sobre los Territorios Antárticos, especialmente referidos a ocupación de áreas estratégicas o al control marítimo de las aguas que circundan al continente como acceso a los distintos océanos, lo que sumado a la perspectiva geoestratégica por el uso del espacio, los fondos marinos y la existencia de minerales energéticos y nucleares, como también la posibilidad de convertirse en escenario de pruebas del poderoso armamento utilizado en esta época, hacía de la Antártica el blanco siguiente entre las disputas de oriente y occidente, pues no podía mantenerse separada del gran interés mundial por su existencia y su futuro.

Al evaluar esta situación Estados Unidos desarrolla, a partir de la post guerra, una gran tarea de estudio, prospección, explotación e investigación científica, apoyada por la acción diplomática. En 1946 esta nación expresa su “no reconocimiento de las reivindicaciones territoriales de otras naciones” en conjunto con una presentación a la Organización de Naciones Unidas (ONU) con el objeto de colocar a la Antártica bajo el régimen de administración de este organismo internacional, pretendiendo con esto “impedir su utilización para fines militares e impulsar el desarrollo de sus valores científicos y económicos”, no hay que olvidar que a partir de 1948 los Estados Unidos inician intensas negociaciones directamente con el gobierno de Chile para buscar soluciones la problemática de los reclamos territoriales sobre la Antártica. Al negociar directamente con los países demandantes se pretendía internacionalizar el continente blanco, pero Estados Unidos abandonará estos intentos luego que la URSS exigiera participar en cualquier arreglo y también por el rechazo de otros países con reclamos territoriales.

Entre los años 1955 y 1957 se realizaron las Conferencias Antárticas, cuyo objetivo fue congregar los programas científicos para la realización del Año Geofísico

Internacional entre los años 1957 y 1958. Como consecuencia de este año dedicado a la investigación científica se crea el Comité para las investigaciones Antárticas (SCAR) que se mantiene hasta hoy; además se establecen las bases para el Tratado Antártico. Es el 1 de Diciembre de 1959 que se firma el Tratado Antártico en Washington luego de haberse celebrado una convención desde el 15 de octubre hasta el 1 de diciembre de dicho año, ratificado por los doce países firmantes y que entra en vigencia el 23 de Junio de 1961.

3.3.1.2. Objetivos del Tratado Antártico.

El principal objetivo del Tratado es establecer a la Antártica como un continente para la paz y el desarrollo científico, prohibiéndose las explosiones nucleares y la eliminación de desechos radioactivos, llegando a ser el primer acuerdo internacional de prohibición en materias nucleares. Se congelan las disputas sobre reclamos territoriales, disponiendo que ninguna de las partes lo utilice como base para afirmar, apoyar, negar o extender los reclamos existentes. También, y no menos importante, es que las partes del tratado se comprometen a efectuar investigaciones científicas, a la cooperación y especialización, intercambio de información y personal; todo esto de cara a preservar el único medio ambiente intacto, con sus ecosistemas dependientes y asociados, de manera de guardar éste para la subsistencia o para la comparación con otros ecosistemas extinguidos o en vías de hacerlo.

3.3.1.3. Miembros del Tratado Antártico.

Existen dos tipos de miembros suscritos al tratado, ellos son:

- Las partes consultivas: Son las partes contratantes del Tratado Antártico con derecho a designar representantes para participar en las reuniones según el Artículo IX del tratado, mostrado más adelante. Tienen derecho a voz y voto en las reuniones y actualmente son 27 países. Para llegar a ser miembro consultivo se requiere demostrar interés en la Antártica mediante la operación científica y el establecimiento de una base en la Antártica, aunque desde 1990 éste no es un requisito estricto ya que se sugiere el uso compartido de las bases para así aminorar el impacto ambiental. Son los miembros consultivos quienes deciden si el país solicitante tiene el mérito para ser uno de ellos en una Reunión Consultiva Especial. Se incluye una tabla con el listado de países que forman las partes consultivas del Tratado Antártico ordenados por su fecha de incorporación.

- Las partes adherentes: son las partes contratantes del Tratado Antártico que tienen derecho a participar en las reuniones sólo con derecho a voz, desde la XII Reunión Consultiva del Tratado Antártico (Australia 1983). Se incluye una tabla con el listado de países que forman las partes adherentes del Tratado Antártico ordenados por su fecha de incorporación.

Tabla 3.3: Países que son miembros consultivos del Tratado Antártico ordenados según su fecha de ratificación del tratado. En azul se destaca a los países signatarios, para el resto la fecha de ratificación no es la misma que la fecha de incorporación como miembro consultivo, ya que en un principio debieron ser miembros adherentes.

| **Miembros Consultivos** | **Ratificación Tratado Antártico** | **Fecha Incorporación como Miembro Consultivo** |
|---|---|---|
| Reino Unido | 31 de Mayo de 1960 | 31 de Mayo de 1960 |
| Sudáfrica | 21 de Junio de 1960 | 22 de Junio de 1960 |
| Bélgica | 26 de Julio de 1960 | 27 de Julio de 1960 |
| Japón | 4 de Agosto de 1960 | 5 de Agosto de 1960 |
| Estados Unidos | 18 de Agosto de 1960 | 19 de Agosto de 1960 |
| Noruega | 24 de Agosto de 1960 | 25 de Agosto de 1960 |
| Francia | 16 de Septiembre de 1960 | 17 de Septiembre de 1960 |
| Nueva Zelandia | 1 de Noviembre de 1960 | 2 de Noviembre de 1960 |
| Rusia | 2 de Noviembre de 1960 | 3 de Noviembre de 1960 |
| Polonia | 8 de Junio de 1961 | 29 de Julio de 1977 |
| Argentina | 23 de Junio de 1961 | 24 de Junio de 1961 |
| Australia | 23 de Junio de 1961 | 24 de Junio de 1961 |
| Chile | 23 de Junio de 1961 | 24 de Junio de 1961 |
| Holanda | 30 de Marzo de 1967 | 19 de Noviembre de 1990 |
| Brasil | 16 de Mayo de 1975 | 22 de Septiembre de 1983 |
| Bulgaria | 11 de Septiembre de 1978 | 25 de Mayo de 1998 |
| Alemania | 5 de Febrero de 1979 | 3 de Marzo de 1981 |
| Uruguay | 11 de Enero de 1980 | 7 de Octubre de 1985 |
| Italia | 18 de Marzo de 1981 | 5 de Octubre de 1987 |
| Perú | 10 de Abril de 1981 | 9 de Octubre de 1989 |
| España | 31 de Marzo de 1982 | 21 de Septiembre de 1988 |
| China | 8 de Junio de 1983 | 7 de Octubre de 1985 |
| India | 19 de Agosto de 1983 | 12 de Septiembre de 1983 |
| Suecia | 24 de Abril de 1984 | 21 de Septiembre de 1988 |
| Finlandia | 15 de Mayo de 1984 | 9 de Octubre de 1989 |
| Corea del Sur | 28 de Noviembre de 1986 | 9 de Octubre de 1989 |
| Ecuador | 15 de Septiembre de 1987 | 19 de Noviembre de 1990 |

Tabla 3.4: Países que son miembros adherentes del Tratado Antártico, ordenados según su fecha de ratificación del tratado.

| **Miembros Adherentes** | **Ratificación Tratado Antártico** |
|---|---|
| Dinamarca | 20 de Mayo de 1965 |
| Rumania | 15 de Septiembre de 1971 |
| Papua Nueva Guinea | 16 de Marzo de 1981 |
| Hungría | 27 de Enero de 1984 |
| Cuba | 16 de Agosto de 1984 |
| Grecia | 8 de Enero de 1987 |
| Corea del Norte | 21 de Enero de 1987 |
| Austria | 25 de Agosto de 1987 |
| Canadá | 4 de Mayo de 1988 |
| Colombia | 31 de Enero de 1989 |
| Suiza | 15 de Noviembre de 1990 |
| Guatemala | 31 de Julio de 1991 |
| Ucrania | 28 de Octubre de 1992 |
| República Checa | 1 de Enero de 1993 |
| República Eslovaca | 1 de Enero de 1993 |
| Turquía | 24 de Enero de 1996 |
| Venezuela | 24 de Marzo de 1999 |
| Estonia | 17 de Marzo de 2001 |

3.3.1.4. Contenido del Tratado Antártico.

Las materias tratadas a lo largo de sus 14 artículos no hacen otra cosa que ratificar y asegurar los objetivos antes descritos, a continuación se exponen las ideas medulares de cada uno de sus artículos:

- Artículo I: La Antártica podrá ser utilizado solo con fines pacíficos. Se prohíbe toda medida de carácter militar y fortificaciones que incluyan pruebas de armamentos. Sólo se podrá utilizar personal y equipo militar para fines científicos.

- Articulo II: Establece la libertad de investigación científica y de cooperación.

- Artículo III: Incentiva el intercambio de programas de investigación científica, observaciones y resultados.

- Articulo IV: Reclamos Territoriales. El tratado no afecta los derechos de soberanía de las partes contratantes o los reclamos territoriales que hubieran hecho valer anteriormente. Se prohíbe formular nuevos reclamos territoriales, o modificarlos mientras el tratado esté en vigencia.

- Artículo V: Se prohíben las explosiones nucleares y la eliminación de desechos radioactivos en la región del Tratado Antártico.

- Artículo VI: El Tratado Antártico se aplicará a la región situada al S de la latitud 60º S incluidas las barreras de hielo, aunque quien cubre la alta mar es el derecho internacional.

- Artículo VII: Los observadores de los estados del tratado tienen libre acceso, incluso observación aérea a cualquier área y pueden inspeccionar bases, sus instalaciones y equipos, como también barcos y aviones. Para esto se debe dar aviso anticipado de todas las actividades e instrucción del personal militar.

- Artículo VIII: Los observadores que están bajo el artículo VIII y los científicos que intercambien información, investigación y resultados, están sometidos a la jurisdicción de la parte contratante de la cual son ciudadanos.

- Artículo IX: Las partes del tratado se reunirán periódicamente para intercambiar información y tomar medidas respecto de los objetivos del tratado, incluyendo la preservación y conservación de los recursos. Estas reuniones estarán abiertas a las partes contratantes que tengas políticas de investigación científica en el continente Antártico.

- Artículo X: Las partes deben oponerse a las actividades de cualquier país que sean contrarias al tratado.

- Artículo XI: Solución de discrepancias. Estas deben ser solucionadas por mutuo acuerdo entre las partes, o bien, por medio de la Corte Internacional de Justicia.

- Artículo XII: Modificaciones y vigencia. Después de treinta años desde la entrada en vigencia del tratado, cualquier estado miembro puede solicitar una conferencia para enmendarlo, en caso que la enmienda sea rechazada, e país que la propone podrá retirarse en el plazo de cuatro años.

- Artículo XIII: El tratado estará abierto a la adhesión de cualquier estado miembro de las Naciones Unidas, o que sea invitado por los estados miembros.

- Artículo XIV: Los idiomas oficiales del Tratado Antártico son el Inglés, Francés, Ruso y Español; y Estados Unidos es el país depositario del tratado y el encargado de proporcionar copias certificadas a los estados.

3.3.1.5. Reuniones del Tratado Antártico.

- Reuniones Consultivas del Tratado Antártico (RCTA): Por medio de estas reuniones es que se toman las decisiones relativas al continente Antártico, estas deben mostrar unanimidad de todos los miembros consultivos y es un voto por país, excepto los miembros adherentes quienes solo tiene derecho a voz. Luego de que las decisiones son ratificadas por todos los miembros consultivos, entran en vigencia y son obligatorias para todas las partes.

- Reuniones Consultivas Especiales del Tratado Antártico (RCETA): En estas reuniones se tratan asuntos específicos respecto de la Antártica o el ingreso de algún país como miembro consultivo. En estas Reuniones se han adoptado convenciones como son la Convención de las Focas, la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos, Convención para la Reglamentación de las Actividades sobre Recursos Minerales Antárticos y Comité de Protección del Medio Ambiente.

- Reuniones de Expertos: Fueron un medio de colaboración entre los miembros del Sistema del Tratado Antártico y los organismos internacionales especializados en temas Antárticos. Hoy en día han disminuido ya que tales organismos pueden participar en las Reuniones Consultivas Especiales.

- Recomendaciones: Son los acuerdos adoptados por las Partes Consultivas en las Reuniones Consultivas Especiales, debiendo obtener consenso absoluto para ser aprobadas; por medio de ellas se regula y administra el continente Antártico. A contar de la XIX Reunión Consultiva celebrada en Seúl en 1995, la forma de estos acuerdos pasaron a llamarse Medidas, Decisiones y Resoluciones.

- Medidas: Contienen disposiciones legales una vez que son aprobadas por todas las partes.

- Decisiones: Es adoptada en una Reunión Consultiva y entra en vigencia desde el momento de su adopción.

- Resoluciones: es un texto en calidad de advertencia adoptado durante una Reunión Consultiva.

Tabla 3.5: Reuniones Consultivas del Tratado Antártico desde el año 1961 hasta el año 1994, hasta ese momento las decisiones tomadas se traducían en Recomendaciones, con un total de 204 hasta ese año.

| RCTA | Fecha | Ciudad | País | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|
| I | 10 al 24 Julio 1961 | Camberra | Australia | 16 |
| II | 18 al 28 Julio 1962 | Buenos Aires | Argentina | 10 |
| III | 2 al 13 Julio 1964 | Bruselas | Belgica | 11 |
| IV | 3 al 18 Noviembre 1966 | Santiago | Chile | 28 |
| V | 18 al 29 Noviembre 1968 | Paris | Francia | 9 |
| VI | 19 al 31 Octubre 1970 | Tokio | Japón | 15 |
| VII | 30 Oct al 10 Nov 1972 | Wellington | Nueva Zelanda | 9 |
| VIII | 9 al 20 Junio 1975 | Oslo | Noruega | 14 |
| IX | 19 Sept al 7 Oct 1977 | Londres | Reino Unido | 6 |
| X | 17 Sept al 5 Oct 1979 | Washington | Estados Unidos | 9 |
| XI | 23 Jun al 7 Julio 1981 | Buenos Aires | Argentina | 3 |
| XII | 13 al 27 Septiembre 1983 | Camberra | Australia | 8 |
| XIII | 7 al 18 Octubre 1985 | Bruselas | Belgica | 16 |
| XIV | 5 al 15 Octubre 1987 | Rio de Janeiro | Brasil | 10 |
| XV | 9 al 20 Octubre 1989 | Paris | Francia | 22 |
| XVI | 7 al 18 Octubre 1991 | Bonn | Alemania | 13 |
| XVII | 11 al 20 Noviembre 1992 | Venecia | Italia | 4 |
| XVIII | 11 al 22 Abril 1994 | Kyoto | Japón | 1 |

Tabla 3.6: Reuniones Consultivas del Tratado Antártico desde el año 1994 hasta el año 2002, desde ese momento las decisiones tomadas se traducen en Medidas, Decisiones y Resoluciones.

| RCTA | Fecha | Ciudad | País | Medidas, Decisiones y Resoluciones |
|---|---|---|---|---|
| XIX | 8 al 19 Mayo 1995 | Seúl | Corea | 5 - 2 - 9 |
| XX | 29 Abr al 10 May 1996 | Utrecht | Holanda | 2 - 0 - 5 |
| XXI | 19 al 30 Mayo 1997 | Christchurch | Nueva Zelanda | 5 - 2 - 3 |
| XXII | 25 May a 5 Jun 1998 | Tromso | Noruega | 2 - 4 - 6 |
| XXIII | 24 May al 4 Jun 1999 | Lima | Perú | 1 - 2 - 6 |
| XXIV | 9 al 20 Junio 2001 | San Petersburgo | Rusia | 3 - 3 - 5 |
| XXV | 10 al 20 Septiembre 2002 | Varsovia | Polonia | sin información |

Tabla 3.7: Reuniones Consultivas Especiales del Tratado Antártico desde el año 1977 hasta el año 2000.

| RCETA | Sesión | Fecha | Ciudad | País |
|---|---|---|---|---|
| I | 1 | 25 al 29 Julio 1977 | Londres | Reino Unido |
| II | 1 | 27 Feb al 16 Mar 1978 | Canberra | Australia |
| | 2 | 17 al 28 Julio 1978 | Buenos Aires | Argentina |
| | 3 | 5 al 6 Mayo 1980 | Canberra | Australia |
| | 4 | 7 al 20 Mayo 1980 | Canberra | Australia |
| III | 1 | 03-Mar-81 | Buenos Aires | Argentina |
| IV | 1 | 14 al 25 Junio 1982 | Wellington | Nueva Zelandia |
| | 2 | 17 al 28 Enero 1983 | Wellington | Nueva Zelandia |
| | 3 | 11 al 22 Julio 1983 | Bonn | Alemania |
| | 4 | 18 al 27 Enero 1984 | Washington DC | Estados Unidos |
| | 5 | 23 al 31 Mayo 1984 | Tokio | Japón |
| | 6 | 26 Feb al 12 Mar 1985 | Río de Janeiro | Brasil |
| | 7 | 23 Sept al 6 Oct 1985 | Paris | Francia |
| | 8 | 14 al 25 Abril 1986 | Hobart | Australia |
| | 9 | 27 Oct al 12 Nov 1986 | Tokio | Japón |
| | 10 | 11 al 20 Mayo 1987 | Montevideo | Uruguay |
| | 11 | 18 al 29 Enero 1988 | Wellington | Nueva Zelandia |
| | 12 | 2 May al 2 Jun 1988 | Wellington | Nueva Zelandia |
| V | 1 | 12 Septiembre 1983 | Canberra | Australia |
| VI | 1 | 7 Octubre 1985 | Bruselas | Bélgica |
| VII | 1 | 5 Octubre 1987 | Río de Janeiro | Brasil |
| VIII | 1 | 20 al 21 Septiembre 1988 | Paris | Francia |
| IX | 1 | 9 Octubre 1989 | Paris | Francia |
| X | 1 | 19 Noviembre 1990 | Viña del Mar | Chile |
| XI | 1 | 19 Nov al 6 Dic 1990 | Viña del Mar | Chile |
| | 2 | 22 al 30 Abril 1991 | Madrid | España |
| | Cont. 2 | 10 al 23 Junio 1991 | Madrid | España |
| | 3 | 1 al 4 Octubre 1991 | Madrid | España |
| XII | 1 | 11 al 15 Septiembre 2000 | La Haya | Holanda |

El Sistema del Tratado Antártico ha sido un instrumento importante para asegurar la desmilitarización del área y para fomentar la colaboración científica. En este sentido se puede afirmar que el tratado ha cumplido su función con algunas excepciones, por ejemplo que se ha limitado a cubrir y no a resolver el problema de los reclamos territoriales, ya que indica que mientras el tratado exista nadie tiene derecho a establecer un reclamo de soberanía, ni modificar la superficie del terreno declarado; aunque varios de los miembros signatarios del tratado no estaban muy conformes con esta cláusula al momento de ratificar el tratado, pues veían que sus aspiraciones de soberanía se congelaban, debieron aceptar igualmente pues de lo contrario verían

amenazadas a futuro el reconocimiento mutuo de los territorios reclamados. En cambio los países que no tenían aspiraciones territoriales adquirían algún tipo de dominio en el continente Blanco. Otra excepción, pero que no se puede contar como tal pues no fue una necesidad en el momento de la firma del tratado sino con el correr de los años, es la urgente regulación del turismo. Aunque existen algunas recomendaciones para los tour operadores y para los visitantes, éstas no dejan de ser recomendaciones que deberían convertirse en alguna convención o convenio dentro del Sistema del Tratado Antártico y complementario al Tratado propiamente tal.

Parte del éxito del Sistema del Tratado Antártico se debe a la capacidad de adaptación con que cuenta, ya que a medida que ha pasado el tiempo ha ido modificándose y amoldándose a la política internacional y a las necesidades de los miembros.

### 3.3.2. Acuerdos Complementarios al Sistema del Tratado Antártico.

El Tratado Antártico en sus años de vigencia ha sido complementado por una serie de acuerdos que consideran aspectos que en la negociación inicial no fueron tomados en cuenta. Se han elaborado algunas medidas para contrarrestar impacto de la actividad humana en el continente Blanco, como son las que se mencionan a continuación.

#### 3.3.2.1. Convención para la Protección de la Fauna y Flora Antártica.

Esta convención fue adoptada en Bruselas, Bélgica el 13 de junio de 1964. Por medio de esta se considera al Área del Tratado Antártico (área encerrada al S de la latitud 60º S) como un Área Especial de Conservación y como una reserva natural consagrada a la paz y a la ciencia.

Por medio de esta convención se pide a los estados miembros que adopten las medidas suficientes para evitar las obstrucciones a las condiciones de vida de las especies protegidas, pudiendo ser estos mamíferos, aves, flora y los ecosistemas existentes en general.

Todos los conceptos de las medidas adoptadas en esta convención fueron actualizados y ordenados en el Protocolo de Madrid.

Pero sin duda unas de las principales medidas de este Protocolo es la adopción de Zonas de Protección, que se clasifican en:

- Áreas Especialmente Protegidas (AEP): Para que una zona tenga esta designación debe cumplir con algunos requisitos como tener especies únicas, tener colonias de crías, ser un ecosistema único para mantenerse intacto y que en el futuro sirva como comparación con otros que hayan sido intervenidos. En estas áreas no se puede entrar a menos que se tenga un permiso especial otorgado para un fin científico y que no se pueda alcanzar en otro sitio.

- Sitios de Especial Interés Científico (SEIC): Los requisitos para convertirse en este tipo de sitios son que en ellos se lleven a cabo o esté planeado realizar investigaciones científicas que puedan ser intervenidas por causas externas; y que sean un lugar interesante desde el punto de vista científico, de manera que exijan una protección especial. Los SEIC son designados por períodos limitados de tiempo mediante una Recomendación.

- Sitios y Monumentos Históricos: Para ingresar a estas áreas no se necesita un permiso especial, pues se entienden como áreas con un potencial interés turístico. Cada gobierno propone una lista con los sitios que a su juicio son interesantes desde el punto de vista histórico, los que deben aprobarse en una Reunión Consultiva. En este momento existen más de 90 Sitios o Monumentos Históricos.

Tabla 3.8: Áreas Especialmente Protegidas en el Territorio Chileno Antártico.

| **Áreas Especialmente Protegidas** | **Latitud** | **Longitud** |
|---|---|---|
| Islotes Dion, Bahía Margarita | 67º 52' S | 68º 10' W |
| Isla Verde, Islas Berthelot | 65º 19' S | 64º 10' W |
| Península Coppermine, Isla Robert | 62º 32' S | 59º 42' W |
| Isla Litchfield, Archipiélago de Palmer | 66º 16' S | 64º 06' W |
| Isla Lagotellerie, Bahía Margarita | 67º 53' S | 67º 24' W |
| Islote Avian, Bahía Margarita | - | - |

Tabla 3.9: Sitios de Especial Interés Científico en el Territorio Chileno Antártico.

| Sitios Especial Interés Científico | Latitud | Longitud |
|---|---|---|
| Península Fildes, Isla Rey Jorge | 62º 13' S | 59º 00' W |
| Península Byers, Isla Livingston | 62º 35' S | 61º 10' W |
| Costa Bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge | 62º 15' S | 58º 00' W |
| Punta Rothera, Isla Adelaida | 67º 34' S | 68º 08' W |
| Península Potter, Isla Rey Jorge | 62º 15' S | 58º 37' W |
| Punta Armonía, Isla Nelson | 62º 18' S | 59º 14' W |
| Punta Cierva e Islas vecinas, Cabo Tisne | 64º 10' S | 60º 57' W |
| Punta Biscoe, Isla Anvers | 64º 49' S | 63º 49' W |
| Partes de Isla Decepción | 62º 55' S | 60º 38' W |
| Bahía Chile, Isla Greenwich | 62º 28' S | 59º 41' W |
| 27 Puerto Foster, Isla Decepción | 62º 55' S | 60º 38' W |
| Bahía Sur, Isla Doumer, Shetland del Sur | 64º 51' S | 63º 35' W |
| Punta Ablación, Alturas Ganyamede, Isla Alejandro | 70º 50' S | 64º 24' W |
| Monte Flora, bahía Esperanza, Pen. Trinidad. | 63º 25' S | 57º 01' W |
| Cabo Shirreff, Isla Livingston, Shetland del Sur | 62º 29' S | 60º 48' W |
| Isla Ardley, Bahía Maxwell, Isla Rey Jorge | 63º 13' S | 58º 56' W |
| Anca de León, Bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge | 62º 07' S | 58º 09' W |
| Parte Oeste del Estrecho de Bransfield, Sur de la isla Low | 62º 20' S | 61º 45' W |
| Parte Este de bahía Dallman, Oeste de Isla Brabante | 64º 00' S | 62º 50' W |

3.3.2.2. Convención para la Conservación de las Focas Antárticas.

Fue adoptada en Londres, Reino Unido el 1 de Junio de 1972. Por medio de este acuerdo se establecieron límites de capturas por especies de focas, así como también se designaron zonas de captura y temporadas de veda. A la fecha no se han registrado capturas comerciales de focas de la Antártica desde que la Convención entró en vigor el 11 de marzo de 1978. El principal objetivo es la protección, estudio científico y utilización racional de las Focas Antárticas.

Esta convención se aplica en el área del tratado a las especies que se encuentren de elefantes marinos, leopardos marinos, focas de Weddell, focas de Ross, focas cangrejeras y lobos de dos pelos.

Las partes contratantes de la Convención son los doce países signatarios del tratado y los cinco últimamente incluidos: Polonia (1980), Alemania (1987), Canadá (1990), Brasil (1991) e Italia (1992).

3.3.2.3. Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos.

Fue negociada en Canberra, Australia durante la II Reunión Consultiva Especial, aprobándose el 20 de mayo 1980 y entró en vigor el 7 de abril de 1982. Tiene una secretaría ejecutiva permanente en Hobart, Tasmania, Australia donde se reúnen anualmente durante los meses de octubre y noviembre.

Su principal objetivo es la conservación y utilización racional de los recursos vivos marinos del ecosistema marino como los peces, moluscos, crustáceos y todas las especies de organismos vivos. La zona de aplicación de esta convención es la denominada Convergencia Antártica o Frente Polar, que corresponde a una línea que rodea a la Antártica donde las aguas frías que fluyen hacia el N se hunden bajo las aguas relativamente tibias de la zona subantártica.

Las Partes Contratantes de esta Convención son los miembros del Tratado Antártico excepto China, Ecuador, Bulgaria, Canadá, Grecia y Ucrania.

3.3.2.4. Convención para la Reglamentación de las Actividades sobre Recursos Mineros Antárticos.

Esta Convención se negoció en la IV Reunión Consultiva Especial en Canberra, Australia, siendo firmada el 2 de junio de 1988. Aunque aún no ha entrado en vigencia el Protocolo de Madrid prohíbe la explotación de minerales en la Antártica por los 50 años siguientes a su ratificación.

3.3.2.5. Protocolo de Madrid.

También se le conoce como “Protocolo sobre Protección al Medio Ambiente” o “Protocolo Antártico” y es un instrumento internacional complementario al Tratado Antártico ya que no lo modifica ni lo enmienda. Fue suscrito por las partes contratantes del Tratado el 4 de octubre de 1991 en Madrid, España y entró en vigencia el 14 de enero de 1998.

Consta de 5 anexos que se refieren específicamente a:

- Anexo I: Evaluación del impacto sobre el medio ambiente. Toda actividad que se realiza en la Antártica debe ser sometida a una evaluación previa de impacto

ambiental y debe desarrollarse tal como el operador lo planificó, sin cambios posteriores.

- Anexo II: Conservación de la fauna y flora Antártica. Se prohíbe la toma e intromisión perjudicial de especies Antárticas y la introducción de fauna no autóctona. A menos que, previa autorización del INACH, ésta sea imprescindible y dentro de ciertos límites para alguna actividad científica que sea inviable de otra forma.

- Anexo III: Eliminación y tratamiento de residuos. Establece una prioridad para el tratamiento de residuos, pues al planificar cualquier actividad se debe planificar también la disposición de los residuos que la actividad genere. Las aguas residuales de las bases pueden descargarse directamente al mar si hay capacidad de dilución y dispersión, pero en las bases que vivan más de 30 personas estas aguas deben someterse a tratamientos previos. El resto de los residuos se clasifican en una escala según su nivel de peligrosidad.

    a. Grupo 1: Desechos biodegradables como restos de comida, papeles y madera. Pueden ser incinerados y las cenizas deben ser evacuadas de la Antártica.

    b. Grupo 2: Desechos no biodegradable como plásticos, envases tetra pack y metálicos, caucho, esponjas y sintéticos.

    c. Grupo 3: Desechos reactivos, aceites, grasas, pinturas, elementos contaminados con otros desechos peligrosos, pilas, baterías y cenizas provenientes de los desechos del Grupo 1.

    d. Grupo 4: Desechos inertes como vidrio, latas, estructuras metálicas, chapas, tambores vacíos, hormigón, ladrillos. Estos residuos, junto con los de los Grupos 2 y 3 deben ser retirados de la Antártica.

- Anexo IV: Prevención de la contaminación marina. Las medidas aquí adoptadas son las mismas que sugiere el MARPOL.

- Anexo V: Administración y protección de áreas. Por razones científicas, ambientales o históricas hay sitios que tienen cierta protección especial, como se

enumera en el párrafo sobre la Convención para la Protección de la Fauna y Flora Antártica.

Antes de la aprobación de este protocolo, iniciar y desarrollar actividades en el continente Antártico no tenía mayores exigencias, aunque algunas Recomendaciones anteriores ya estaban siendo más restrictivas. Con la aprobación del Protocolo se hizo obligatoria una evaluación previa de impacto sobre el medio ambiente Antártico y en los ecosistemas dependientes o asociados. Esta evaluación entrega un reconocimiento de lo que será la Antártica en algunos años más. El Protocolo también prohíbe cualquier actividad que guarde relación con los Recursos Minerales en forma permanente, a menos que pasados 50 años de la firma del protocolo alguno de los estados miembros quiera llamar a una conferencia de revisión para cambiar o anular este artículo.

Es muy importante recalcar que este Protocolo no hace otra cosa que reafirmar los principios del Tratado Antártico de designar a la Antártica como reserva natural, consagrada a la paz, a la ciencia y a la cooperación internacional; pero sin que sea limitante para otras actividades, planeadas de manera que el impacto ambiental sea nulo, si este no fuera el caso deberán modificarse, suspenderse o cancelarse.

El Protocolo también expresa la necesidad de consultarse entre los miembros la elección de lugares para ubicar sus bases y así evitar la densidad exagerada en algunos lugares y la ausencia en otras, la idea es reducir al mínimo el impacto acumulativo que se podría ocasionar. Se promueven las expediciones conjuntas para la optimización de recursos, logística, disposición y conocimiento. También se promueve el uso compartido de bases para así enlazar los conceptos de ecología y economía.

3.3.2.6. Recomendación sobre Actividades Turísticas y no Gubernamentales.

Establece un código de conducta para todas aquellas personas que visiten la Antártica ya sea en calidad de turista, autoridad, personal científico, operadores, etc.

Aunque no existen medidas que se inicien si este código no es cumplido, queda a la conciencia de cada miembro del tratado cumplirlo, aunque conlleve a un gran costo económico, sobretodo para países que mantienen bases y actividades durante toda la temporada como es el caso de Chile.

Entre el código de conducta se encuentra la Recomendación XVIII-1 Sobre Actividades Turísticas y no Gubernamentales adoptada en la XVIII Reunión Consultiva celebrada en Kyoto, Japón en 1994. En esta Recomendación se encuentran las siguientes guías:

- Guía para los visitantes de la Antártica: Se exige proteger la fauna, respetar las zonas protegidas, respetar las investigaciones científicas, tomar precauciones respecto de la seguridad, del clima y mantener la limpieza del continente.

- Guía para aquellos que organicen y conduzcan actividades turísticas y no gubernamentales en la Antártica: Contiene obligaciones y procedimientos a seguir para los organizadores tanto al planificar recorrido como durante su estancia y al finalizarla. Incluye listas de documentación y permisos que debe tener al ingresar al área Antártica y la documentación que debe tener en conocimiento los organizadores de las excursiones y donde pueden obtenerla. Es obligación de cada miembro del Sistema del Tratado Antártico tener copias disponibles de cada documento del sistema a fin de poder entregarlo a quien lo solicite por medio del conducto regular.

3.3.2.7. Convenio para Prevenir la Contaminación por Buques (MARPOL).

Las normas que establece el Protocolo de Madrid son las mismas que determina el convenio MARPOL 73/78, ya que sería imposible que dos organismos internacionales, como la OMI y el Tratado Antártico, pudieran imponer normas diferentes en la misma zona y sobre el mismo ámbito.

Este convenio designa al área al S de la Latitud 60º S como Zona Especial, aquí se prohíbe el vertido de materiales plásticos, basura, hidrocarburos, aceites, materiales peligrosos y aguas residuales en estos lugares. Otras Zonas Especiales designadas por MARPOL son el Mar Mediterráneo, sus golfos y mares interiores; Mar Báltico, Golfos de Botnia y de Finlandia y entrada al Mar Báltico; Mar Negro; Mar Rojo junto con los Golfos de Suez y Aqaba; Golfo de Adén, entre el Mar Rojo y Mar de Arabia; los mares Noroccidentales de Europa como el Mar del Norte, Mar de Irlanda, Mar Celta y Canal de la Mancha (Regla 10, Anexo I MARPOL).

Todas las restricciones para descargar contaminantes en las aguas de esta zona especial se encuentran en los siguientes anexos del MARPOL:

- ANEXO I: Reglas para Prevenir la Contaminación por Hidrocarburos. Prohíbe toda descarga al mar de hidrocarburos o mezclas oleosas y productos químicos desde cualquier buque. Esta regla no se aplica a los lastres limpios (menos de 15 ppm de hidrocarburos) ni al lastre separado (proveniente de tanques dedicados sólo al transporte de lastre). Si se observan rastros de hidrocarburos sobre la superficie del agua o la estela de un buque, el gobierno correspondiente debe hacer la investigación pertinente a la transgresión de este convenio. Los gobiernos de las partes del Tratado Antártico se deben comprometer a comprobar que todos lo buques que entren a la Zona Antártica deben tener los tanques que sean necesarios para mantener a bordo todos los fangos, lastres contaminados, aguas de lavados de tanques y mezclas oleosas mientras operen en la Antártica. Además deben comprometerse a preveer las instalaciones para recepcionar de estos fangos de acuerdo con las necesidades de los buques que operen en la Antártica. Todas estas medidas quedaran anuladas cuando pongan en peligro la seguridad de la tripulación o de la nave. Además en este Anexo se dan a conocer medidas exclusivas de buques petroleros, para prevenir la contaminación por abordaje o varada.

- ANEXO II: Reglas para Prevenir la Contaminación Ocasionada por Sustancias Nocivas Líquidas Transportadas a Granel. Hace una clasificación de las sustancias nocivas líquidas en Categorías A, B, C y D. Se establece que debe llevarse un libro de registro de carga en el cual se anotarán todos los movimientos de carga (trasvasije o descarga), lastre (recepción o descarga) y residuos.

    a. Categoría A: Sustancias nocivas líquidas que si fueran descargadas al mar supondrían riesgo grave para la salud humana o para los recursos marinos y que justifican la aplicación de medidas rigurosas contra la contaminación. Estas deben descargarse en los tanques receptores especiales con que debe contar el puerto de arribo, junto con el agua de lavado de estos tanques, de su sistema de bombeo y de las cañerías, trámite que es obligatorio antes del zarpe de la nave.

    b. Categoría B: Sustancias nocivas líquidas que si fueran descargadas al mar supondrían riesgo para la salud humana o para los recursos marinos y que justifican la aplicación de medidas especiales contra la

contaminación. La descarga de estas sustancias debe hacerse igual que las sustancias de la categoría A.

c. Categoría C: Sustancias nocivas líquidas que si fueran descargadas al mar supondrían riesgo leve para la salud humana o para los recursos marinos y que exigen condiciones operativas especiales. Estas deben descargarse en los estanques receptores de puerto; las aguas de los lavados, bombeo y cañerías de estos estanques podrán descargarse al mar siempre y cuando la sustancia de la categoría C transportada no exceda los valores de nocividad que se puede descargar en una zona cualquiera.

d. Categoría D: Sustancias nocivas líquidas que si fueran descargadas al mar supondrían riesgo perceptible para la salud humana o para los recursos marinos, que exigen atención a las condiciones operativas. Los residuos deben descargarse en los estanques receptores y las aguas de los lavados, bombeo y cañerías pueden ser descargados al mar en forma diluida.

e. Otros: Si se quisiera transportar una sustancia nociva a granel que no estuviera dentro de estas categorías, los gobiernos que suscriben este convenio y que estén interesados en el transporte del mismo deben ponerse de acuerdo en su clasificación. Hasta que el acuerdo no se lleve a cabo debe la sustancia transportarse en las condiciones más rigurosas que sean propuestas. También queda prohibida la descarga en cualquier zona de estas sustancias no clasificadas.

- ANEXO III: Reglas para Prevenir la Contaminación por Sustancias Perjudiciales Transportadas por Mar en Bultos. Establece el etiquetado, envasado, estiba y limitaciones cuantitativas de estas sustancias perjudiciales, entendiéndose por sustancias perjudiciales aquellas que se consideran contaminantes del mar por el Código IMDG.

- ANEXO IV: Reglas para Prevenir la Contaminación por las Aguas Sucias de los Buques. Establece a que se consideran las aguas sucias de los buques, la forma en que deben descargarse al mar y los sitios en que esta descarga se debe hacer, en ningún caso en el área Antártica. Se establece también la conexión

universal a tierra para conectarse con el depósito en puerto, en caso de los buques que navegan en las zonas especiales, y los certificados de las autoridades respectivas.

- ANEXO V: Reglas para Prevenir la Contaminación por las Basuras de los Buques. Establece la forma de eliminación de basuras convencionales. En las Zonas Especiales las basuras deben almacenarse en la nave hasta que puedan ser eliminadas en las instalaciones portuarias correspondientes, estas basuras deben ser etiquetadas con su contenido en el idioma de la tripulación y si además la nave en su derrota pase por aguas de otra nacionalidad debe etiquetarlas además en ingles, francés o español. Estas medidas pueden transgredirse siempre y cuando pongan en peligro la seguridad de a nave o de la tripulación.

Todas las medidas y procedimientos del MARPOL que afectan al área Antártica se encuentran en el Ordinario Nº 12.600/182 de la Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante DGTM y MM.

3.3.2.8. Convenio sobre la Gestión del Agua de Lastre.

Este Convenio aún no entra en vigor, pues en su Artículo 18 establece que entrará en vigor 12 meses después de la fecha en que por lo menos 30 estados cuyas flotas en conjunto representen el 35% del tonelaje bruto de la marina mercante mundial, hayan ratificado su firma. Aun así el Comité de Protección del Medio Ambiente Marino llama a los estados miembros del Tratado Antártico a adoptar directrices para el cambio del agua de lastre en la Zona Antártica para evitar, principalmente, la introducción de por este medio de organismos no nativos a esta zona. Cabe recordar que en el Protocolo de Madrid se prohíbe toda entrada de organismos, animales o plantas que no sean nativas de la zona Antártica, estas medidas en ningún caso anulan el Convenio de Gestión del Agua de Lastre, sino que constituyen un régimen provisional mientras entra en rigor dicho convenio.

Dentro de estas directrices se sugiere que si un buque tuviera que deslastrar algún tanque en la Zona Antártica, debe primero realizar un cambio en el 95 % del agua de estos tanque fuera de esta zona; es decir al N de la Latitud 60º S, a 200 millas de la tierra más cercana y con una profundidad mínima de 200 m. Si esto no fuera posible debe hacerse a un mínimo de 50 millas de la tierra más cercana y en 200 m de

profundidad. Esto es obligatorio sólo para los tanques que se fueran a deslastrar en la Antártica, pero para buques que embarquen y desembarquen carga deberán cambiar el agua de lastre, según el procedimiento antes descrito, de todos los tanques ya que los cambios de ruta y actividades pueden ser diversos en esta zona debido a la gran oscilación de las condiciones meteorológicas y de los estados de mar. Otra medida importante es que si un buque que tenga ruta entre la Antártica y el Ártico o viceversa debe hacer por lo menos un cambio en el agua de lastre y sus sedimentos antes de entrar en la Zona Antártica o en el Círculo Polar Ártico. Queda prohibida la descarga de cualquier agua de lastre que haya podido estar en contacto con hidrocarburos, mezclas oleosas o alguna sustancia nociva del buque.

Por último, cada buque que opere en la Antártica debe tener un Plan de Gestión de Agua de Lastre; además de un libro de registro, llamada bitácora de lastre, donde queden anotadas todas las operaciones que involucren al agua de lastre con dos copias, una en la sala de máquinas y otra en el puente de gobierno.

### 3.3.3. Organismos Internacionales de cooperación científica.

#### 3.3.3.1. Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR).

La Primera reunión se celebró en La Haya, Holanda entre el 3 y 5 de febrero de 1958 con el fin de recopilar toda la información científica respecto de la Antártica para el Año Geofísico Internacional de 1957 y 1958. Su sigla en Ingles significa Scientific Committee on Antarctic Research. Está formado por un delegado de cada nación comprometida con la actividad científica en la Antártica, representantes de la Unión Geográfica Internacional (IGU), Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG), Unión Internacional de Ciencias Biológicas (IUBS) y la Unión de Radio Científica Internacional (URSI).

El campo de aplicación del SCAR es el área de la Convergencia Antártica definida en la Convención para la Conservación de los Recursos Marinos Vivos Antárticos, más las Islas subantárticas que estén fuera de la convergencia.

Las funciones del SCAR son la promoción y coordinación de la actividad científica en la Antártica con el objetivo de revisar los programas científicos en general, esto sin pasar a llevar la autonomía de otros organismos internacionales que regulen sobre las mismas materias. Otra función es el mantenerse al margen de cualquier

asunto político o judicial como podría ser la administración de recursos explotables, a menos que se requiera su consejo en esta materia. Puede proporcionar ayuda científica y tecnológica a cualquier miembro del Tratado Antártico o alguna organización internacional, como también fomentar la divulgación de las investigaciones en la Antártica. Funciona como organismo independiente asesor del Sistema del Tratado Antártico.

El SCAR tiene cuatro tipos de miembros, ellos son:

- Plenos: Estos son los miembros que cuentan con programas de investigación continuos y activos en la Antártica, además de tener comités nacionales que se relacionan directamente con el SCAR. En Chile el organismo encargado de relacionarse con el SCAR es el Comité Nacional de Investigación Antártica (CNIA) que funciona en forma autónoma, aunque administrativamente y logísticamente depende del INACH.

- Asociados: Participan en el SCAR pero no tienen programas continuos de Investigación.

- Sociedades Miembros: Son uniones Científicas que participan en forma asociada con el SCAR.

- Organismos Subsidiarios: Estos organismos están compuestos por Grupos de Trabajo Permanente y Grupos de Especialistas.

3.3.3.2. Consejo de Administradores de Programas Antárticos Nacionales (COMNAP).

Este Consejo se constituyo el 15 de septiembre de 1988 en Hobart, Australia para reunir a los Directores de Programas Antárticos Nacionales que hasta ese entonces se reunían informalmente en alguna reunión del Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR) o en alguna Reunión Consultiva (RCTA). Su sigla en inglés significa Council of Managers of National Antarctic Programs. Desde la XVI Reunión Consultiva celebrada en Bonn, Alemania el COMNAP tiene la calidad de observador para las RCTA.

El objetivo del COMNAP es desarrollar y promover las prácticas de apoyo a la investigación científica en la Antártica, sirviendo como lugar de encuentro y debate,

promoviendo la cooperación internacional y asesorando en forma técnica los Programas de Investigación Antártica.

Existe un COMNAP Latinoamericano llamado Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos (RAPAL) que funciona desde 1990. Actualmente lo componen Chile, Argentina, Uruguay, Brasil, Perú y Ecuador, rotándose entre ellos para efectuar las reuniones.

Los objetivos de las reuniones RAPAL son fortificar la presencia Sudamérica en la Antártica, por medio de un trabajo científico conjunto entre los países de la región aprovechándose de las capacidades del territorio en materia operativa y logística. Es también preocupación del RAPAL armonizar las legislaciones de cada país respecto del tema Antártico, orientadas a una mayor cooperación.

Las primeras reuniones RAPAL fueron entre los directores de los Institutos Antárticos de Argentina, Chile y Uruguay en Buenos Aires, Argentina en 1987; en Santiago, Chile en 1988 y en Montevideo, Uruguay en 1989. Luego a partir de 1990 se ampliaron al resto de los países latinoamericanos con bases Antárticas.

Tabla 3.10: Reuniones RAPAL a partir de 1990 y ciudad en que fueron celebradas.

| RAPAL | Fecha | Ciudad | País |
|---|---|---|---|
| I | 11 al 13 Junio 1990 | Buenos Aires | Argentina |
| II | 24 al 16 Julio 1991 | Montevideo | Uruguay |
| III | 4 al 6 Mayo 1992 | Quito | Ecuador |
| IV | 29 Nov al 1 Dic 1993 | Lima | Perú |
| V | 6 al 9 Septiembre 1994 | Brasilia | Brasil |
| VI | 29 al 31 Marzo 1995 | Punta Arenas | Chile |
| VII | 3 Jun al 7 Jul 1996 | Ushuaia | Argentina |
| VIII | 30 Jun al 4 Jul 1997 | Montevideo | Uruguay |
| IX | 14 al 18 Septiembre 1998 | Quito | Ecuador |
| X | 26 al 30 Julio 1999 | Brasilia | Brasil |
| XI | 13 al 17 Noviembre 2000 | Lima | Perú |
| XII | 24 al 28 Septiembre 2001 | Punta Arenas | Chile |
| XIII | 13 al 15 Noviembre 2002 | Buenos Aires | Argentina |
| XIV | 17 al 19 Septiembre 2003 | Montevideo | Uruguay |
| XV | 21 al 24 Noviembre 2004 | Guayaquil | Ecuador |
| XVI | 19 al 22 Septiembre 2005 | Lima | Perú |
| XVII | 25 al 27 Septiembre 2006 | Punta Arenas | Chile |
| XVIII | 26 al 28 Septiembre 2007 | Brasilia | Brasil |

3.3.3.3. Comité Permanente sobre Logística y Operaciones Antárticas (SCALOP).

Este Comité fue constituido por el COMNAP para reemplazar al Grupo de Trabajo sobre Logística del SCAR. El presidente de este comité integra por derecho propio el Comité Ejecutivo del COMNAP.

Su función es proveer al COMNAP y al SCAR de la asesoría técnica y logística en las operaciones que se lleven a cabo en la Antártica. Sus representantes son nombrados por el Administrador del Programa Antártico de cada país y se reúnen en forma conjunta con el SCAR.

3.3.3.4. Organizaciones internacionales.

Desde la primera Reunión Consultiva celebrada en Canberra, Australia se ha llamado a todos los países a fomentar el trabajo de las organizaciones internacionales que tengan algún interés científico o técnico en territorios Antárticos, además del trabajo conjunto y cooperación entre ellas. Pueden también ser invitadas a participar a las Reuniones Consultivas u otras sesiones en que tengan algún interés.

3.3.3.5. Puntos nacionales de contacto.

Las Partes Contratantes deben indicar los datos de contacto de todas las instituciones encargadas de los temas Antárticos a fin de poder dirigirse a ellas para la obtención de cualquier documento e información. Estos datos se actualizan en cada Reunión Consultiva.

## 3.4. AÑO POLAR INTERNACIONAL.

El Año Polar Internacional (API) es un programa a nivel mundial de investigación científica, cooperativo e interdisciplinario que se desarrollara entre el mes de marzo de 2007 y marzo del 2009 con el fin de abarcar todas las estaciones del año. Para desarrollar este programa están calendarizadas distintas actividades como proyectos de investigación, construcción de bases de datos, talleres, congresos, excursiones, programas de educación y difusión, entre otros. Es organizado por el Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU, International Council of Science) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO, World Meteorological Organization). Tiene asociados otros eventos como el Año Geofísico Electrónico (EGY, Electronic Geophysical Year), el Año Heliofísico Internacional (IHY, International Heliophysical Year) y Año Internacional del Planeta Tierra (International Year of Planet Earth).

La realización del API 2007-2009 coincide con la celebración de los 125 años del Primer Año Polar Internacional, 75 años del Segundo Año Polar Internacional y 50 años desde la realización del Año Geofísico Internacional (AGI), uno de los precedentes del Tratado Antártico y éste, junto con las dos celebraciones anteriores, conducen a lo que hoy se conoce como API.

### 3.4.1. Objetivos del API.

Los objetivos generales del API son orientar los esfuerzos interdisciplinarios y multinacionales para enfocarlas en investigaciones en las áreas polares, poniendo énfasis en la difusión educativa. Para lograr este gran objetivo se han propuesto las siguientes líneas de trabajo.

- Determinar la situación medioambiental de las regiones polares.

- Aportar al conocimiento de la evolución tanto natural como ambiental y social de las regiones polares.

- Encontrar patrones sobre los cambios futuros de las regiones polares y la relación e interacción que podría tener con el resto del planeta.

- Educar a la siguiente generación de científicos, escolares, políticos y en general a las personas de todo el mundo en conciencia, interés y comprensión de las investigaciones polares.

- Investigar los dominios menos conocidos de las fronteras científicas en las regiones polares.

Algunos de los elementos que figuran dentro de las investigaciones en la Antártica para el API son las siguientes:

- Su carácter de “refrigerador” del planeta.

- El rol de los mares polares en el intercambio de $CO_2$.

- Los registros naturales del clima pasado que se encuentran en muestras (testigos) de hielo y en los sedimentos del Océano Austral.

- La percepción de la alta inestabilidad natural en las regiones polares.

- Los grupos de vegetales que se adaptan fácilmente al rigor del clima Antártico, pero que tienen gran sensibilidad a los cambios de temperatura, y que podrían servir como indicadores de posibles cambios climáticos.

- La capa de hielo Antártico y la catástrofe que podría ocasionar en caso de derretirse. Se estima que si esto sucediera el nivel del mar subiría en 60 m.

### 3.4.2. Anteriores jornadas dedicadas a la investigación.

#### 3.4.2.1. Primer Año Polar Internacional.

Se realizó entre los años 1882 y 1883 avalado por la Organización Internacional de Meteorología (IMO, International Meteorological Organization) que fue la antecesora de la Organización Meteorológica Mundial.

Participaron doce países colaborando en la organización y ejecución de 13 expediciones al Ártico y 2 a la Antártica en forma simultánea, más el establecimiento de

15 estaciones de observación científica, entre ellas la primera fue la Estación Sodankyla ubicada en Finlandia.

Las expediciones lograron grandes avances en los estudios de geomagnetismo y meteorología, pero por sobre todo se logró el primer acercamiento a un modelo de cooperación científica internacional.

3.4.2.2. Segundo Año Polar Internacional.

Entre 1932 y 1933 se realizó el Segundo Año Polar Internacional por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial. En esta oportunidad participaron 40 naciones que lograron establecer 114 estaciones de observación en el Ártico y una estación en el interior del continente Antártico, en el bloque de hielo de Ross.

Esta vez se siguieron estudiando asuntos relacionados con el geomagnetismo, ciencias atmosféricas y en el área de la meteorología la teoría de los Jet Stream o corrientes de chorro.

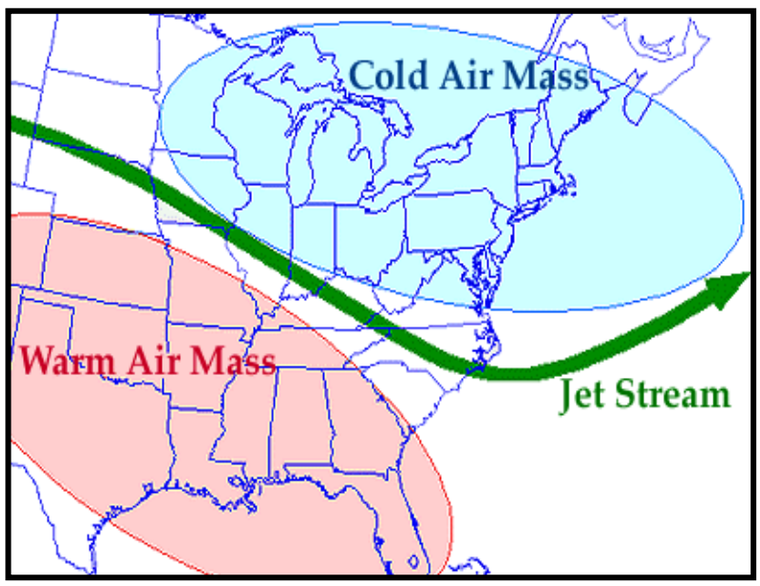



Figura 3.2: Los Jet Streams son flujos muy rápidos y angostos de aire que se encuentran en la atmósfera, a unos 11 km sobre la superficie y se forman cuando se reúne una corriente helada proveniente de una región polar con una corriente más caliente proveniente de los trópicos.
Fuente: Sitio web “The Weather World Proyect 2010”.

3.4.2.3. Tercer Año Polar Internacional.

Recibió un nombre más amplio que el Año Geofísico Internacional (AGI) ya que no excluyó a las áreas templadas y tropicales del planeta. Se realizó entre el 19 de julio de 1957 y el 31 de diciembre de 1958, participaron 61 naciones y aún cuando el mundo se encontraba en medio de la Guerra Fría, esta tercera cita respecto del continente blanco una vez más dio ejemplo de cooperación científica internacional.

En el trabajo específico respecto de la Antártica trabajaron 12 naciones en el despliegue de 45 estaciones de investigación tanto en el continente como en las islas que lo rodean. Aunque los objetivos de esta reunión eran principalmente los sondeos glaciales (por la gran concentración de agua dulce en ellos), la alta atmósfera y la discusión de la validez sobre la Teoría de la Deriva Continental, se obtuvieron también grandes avances en materias de sismología y meteorología; pero su resultado más importante fue la idea del Tratado Antártico para dedicar el continente a la paz y a la ciencia, reflejado en instituciones como el SCAR.

3.4.3. Participación de Chile en el API 2007-2009.

Científicos nacionales se han manifestado entusiasmados por más de 25 programas de investigación. En cambio en INACH se inclina por dos importantes proyectos, el GLABENAP y el GEOPASAA.

- GLABENAP (Glacier Benchmark Network on Antarctic Peninsula): Es la red de monitoreo del balance de masa en glaciares de la Península Antártica.

- GEOPASAA (Geology and Palaeontology of South America-Antarctic Connection): Es el programa que investiga la geología y paleontología de la conexión de Sudamérica con la Antártica. Este proyecto pretende demostrar que la Península Antártica estuvo adosada al borde occidental de la Patagonia hasta el Mesozoico Inferior (hace 251 a 200 millones de años) y que con posterioridad migró hacia su posición actual impulsada por la apertura del Mar de Weddell y la expansión del fondo oceánico en el Mar de Scotia. Participan investigadores de la Universidad de Chile, investigadores y profesionales del Servicio Nacional de Geología y Minería, la Universidad de Concepción, la Empresa Nacional del Petróleo y el INACH.

# CAPITULO IV:
# NAVEGACIÓN CON ROMPEHIELOS.

## 4.1. CARACTERÍSTICAS.

Los rompehielos son el único tipo de buques diseñados para navegar específicamente en un ambiente distinguido por la presencia de temperaturas muy frías, lugares lejanos, además de la presencia misma de hielos, entre otras dificultades. La IACS (Internationan Association of Classification Societies) define un rompehielos como cualquier buque con un perfil operativo de escolta a otro en el hielo, con funciones de gestión, alimentación y que tenga las dimensiones apropiadas para llevar a cabo operaciones agresivas en aguas cubiertas de hielo y que tenga un certificado de clasificación de esta clase.

El uso más común de este tipo de buques es el transporte de infraestructura, alimentos, insumos, apoyo a otros barcos mercantes, prestar servicios de apoyo a las bases Antárticas y Árticas o también la exploración científica, y por eso deben tener características especiales. Las capacidades de estos buques dependerán de las condiciones del hielo en la ruta que operará, los costos extraordinarios asociados a la navegación en estas rutas y del tiempo que navegará entre glaciares respecto del tiempo que navega en aguas abiertas; pues los glaciares tienen espesores variables desde algunos centímetros hasta varios metros, tomado distintas formas, y cambiando su posición diariamente o de una estación a otra, haciendo muy peligrosa la navegación y acelerando el desgaste de la embarcación.

La mayoría de de los efectos en el diseño son el refuerzo del casco, el aumento de potencia de la planta propulsora con el consecuente aumento de costo y menor capacidad de carga, como también, la capacidad de maniobra para poder asistir a otros buques y la implementación de algunos equipos auxiliares.

### 4.1.1. Diseño.

#### 4.1.1.1. Arreglo general.

Como los rompehielos tienen un perfil de misión muy amplio, sus características generales no se parecen mucho a los buques convencionales. La resistencia debe ser considerada para las operaciones en lugares remotos, como la capacidad de los

estanques, la capacidad de almacenamiento de provisiones e insumos propios. El diseño debe estar preparado para las bajas temperaturas y la posible prolongada obscuridad, por lo que se debe contar con accesos interiores a cualquier espacio, calefacción, aislamiento del frío y luz exterior extra en todas las cubiertas.

Los rompehielos no son barcos silenciosos, tanto por los impactos con el hielo como por el ruido de la maquinaria propulsiva. Deben tenerse presente las vibraciones y el ruido al interior de los espacios de habitabilidad, aislándolos de la sala de máquinas. Necesitan de cubiertas abiertas en popa para un posible remolque en sus operaciones y vistas despejadas desde el puente de gobierno, por lo que algunos tienen una estación de vigilancia más elevada sobre el puente; también es importante que las ventanas del puente de gobierno sean accesibles desde fuera, para poder limpiarlas fácilmente, o alternativamente, puede instalarse calentadores con el objeto de tener vistas más claras.

Generalmente tienen más de una hélice o sistema propulsor en popa y alguno en proa para mayor maniobrabilidad y alguna cubierta especial para el aterrizaje de un helicóptero.

4.1.1.2. Navegación.

Existen dos modalidades de navegación para este tipo de buques; una es la navegación continua, esto es, a una velocidad constante el rompehielos avanza por entre los hielos, esquivando los de mayor tamaño. Otra modalidad es la embestida, también conocida como ramming, donde el buque que se encuentra con un espesor de hielo por el cual le es imposible avanzar, retrocede una distancia aproximada de una eslora para luego avanzar a toda potencia para poder montarse sobre éste y por su propio peso lograr la fractura de la plataforma de hielo. Para esta maniobra es fundamental una característica de diseño llamada Skeg que consiste en una plancha saliente en la proa, en la parte inferior de la roda. Las operaciones de embestida necesitan, en poco tiempo, mucho empuje con mediana o baja velocidad y generan gran presión en el sector de proa del casco.

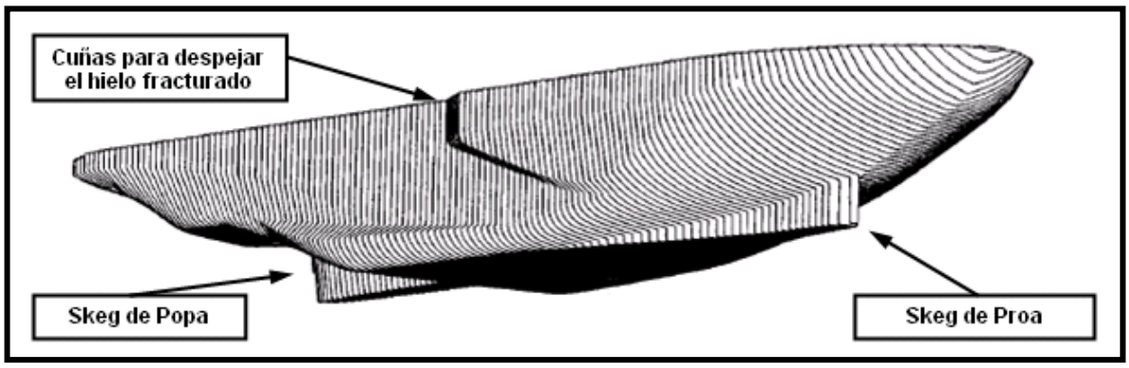



Figura 4.1: Formas del casco de un Rompehielos convencional, se observa el Skeg de proa y de popa y una estructura en los costados del buque que cumple la función de despejar los hielos fracturados durante la navegación por embestida.
Fuente: Ice Capable Ships, Brian Veitch, Neil Bose, L. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

Los rompehielos que navegan entre los glaciares abriendo un camino o canal a través de ellos generalmente lo hacen para abrir una ruta a otros buques, especialmente mercantes, que pueden no estar preparados para ello. Se debe tener en cuenta que el rompehielos debe tener una manga superior a las de los buques siguientes si es que se navega en convoy, aún si navega en solitario es una característica común entre este tipo de buques que tengan una proa con más manga que el resto del cuerpo del buque, así sólo ésta parte es la que soporta la presión del hielo que lo rodea y para apartar el hielo fracturado del recorrido. El canal abierto tras la nave puede quedar muy despejado, sólo con algunos hielos a la deriva, o puede volver a cerrarse detrás del buque a distintas velocidades, dependiendo de las fuerzas de compresión que ejerzan los témpanos. Si las fuerzas de compresión son muy fuertes, este sendero puede cerrarse rápidamente dando origen a los fenómenos conocidos como jamming, presión ejercida en todos los sentidos por los hielos sobre el casco, o pinching, aprisionamiento del casco en una plataforma de hielo, cualquiera de los dos fenómenos causan un considerable daño estructural, además del daño al equipo propulsor.

Existen buques que son reforzados para navegar entre hielos y no soportan más que el hielo formado durante el último año, que es más frágil y de espesor de hasta 1 m. Los rompehielos propiamente tal, construidos con un perfil de misión exclusivo para este tipo de navegación, pueden fracturar hielos de mayor espesor.

Al momento del diseño se debe estimar las condiciones de hielo sobre la ruta en la cual va a navegar el rompehielos, esto se puede hacer sobre la información histórica del lugar de manera diaria, semanal o mensual a través de inspecciones en el lugar, fotografías satelitales, rayos infrarrojos, microondas o radares de penetración de hielo. Además la mayoría de los rompehielos cuentan con plataformas para albergar helicópteros que realizan la tarea de reconocimiento de hielo para informar a la tripulación sobre el estado de éste y así operar de la manera más segura.

### 4.1.2. Mecánica del hielo.

El hielo es un elemento sólido, frágil y visco-elástico. Se expande en la congelación por lo que es capaz de flotar. Presenta un peligro para los barcos si éstos no evitan las colisiones o no se toman en cuenta medidas al diseñar. Si el diseño es hecho apropiadamente los buques pueden ser construidos para resistir cargas de hielo y poder quebrar estas capas. Para entender las cargas generadas durante la interacción entre el barco y el hielo es necesario entender la mecánica del hielo y como se desintegra bajo las cargas. El hielo es un material geofísico con defectos como grietas, fisuras, bolsas de drenaje, por lo cual las fallas se producen en forma aleatoria y bajo estas fallas se iniciarían las fracturas.

#### 4.1.2.1. Cálculo de presiones.

La presión media, al entrar en contacto el casco con el hielo, se calcula usando la fuerza total dividida por al área nominal de contacto definida como la proyección de la estructura en la forma original del iceberg. Esto da una presión media global, que tiende a declinar con el incremento del área nominal de contacto.

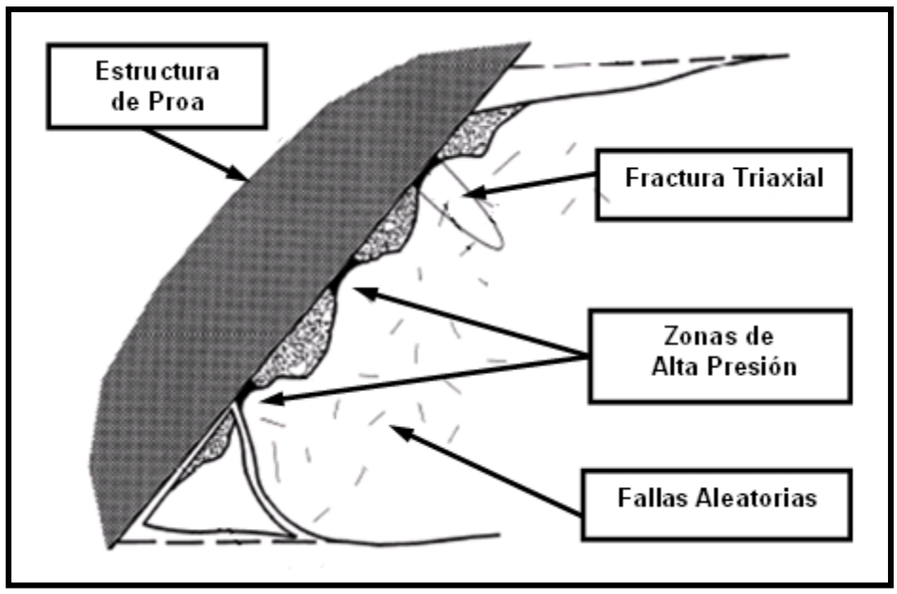



Figura 4.2: Proceso de falla local.
Fuente: Ice Capable Ships, Brian Veitch, Neil Bose, L. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

La falla global depende de la geometría del hielo, del estado de carga de éste y del flujo de la estructura sobre el hielo. El tipo de hielo depende de la región geográfica donde se encuentra, diferenciándose el hielo propiamente tal y el hielo que cubre algunas islas. Una variedad de situaciones se debe tener en cuenta al aplicar las reglas ya que son indicadas para una región y no para otra. Por ejemplo el espesor de las planchas de acero desarrolladas para los cascos de buques que operarán en el Báltico son similares para los que operarán costa E de Canadá, pero necesitaría refuerzos extra para las embarcaciones que navegan en la Antártica.

El hielo responde a la falla elástica, seguido de la deformación en el tiempo. La deformación ε bajo tensiones constantes se expresa como sigue:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_d + \varepsilon_f$$

Donde:

$\varepsilon_e$ = Deformación elástica, anisotrópica para un cristal único, pero estadísticamente isotrópico para el hielo granular policristalino.

$\varepsilon_d$ = Deformación recuperable.

$\varepsilon_f$ = Deformación irrecuperable.

La importancia de las interacciones buque–hielo, cuando este último es quebrado o fracturado, son relativamente de corta duración y se espera que en estos breves períodos se comporte como un material elástico. Ésta es una presunción razonable, excepto por que las capas del material en su proceso microestructural resultan en una deformación viscosa a gran velocidad. Este proceso incluye la recristalización.

La falla global depende del tipo de falla local y del espesor del hielo. La falla más común es por flexión y el objetivo de las investigaciones es encontrar las cargas límites de estas fallas. Con respecto a la flexión, un análisis aproximado ha conducido a la máxima fuerza ejercida en la proa en las interacciones con el hielo antiguo, es decir, de más de un año, esta expresión es:

$$F = C_f \times \sigma_f \times h^2$$

Donde:

F = Fuerza del hielo en MN ($10^6$ Newton).

h = Espesor del hielo en m.

$\sigma_f$ = Resistencia a la flexión del hielo. Se ha medido en 0.8 MPa aproximadamente.

$C_f$ = Es un parámetro que varía entre 0.5 para una condición cuasi estática y 1 para la fase inicial en la embestida.

Las regiones donde la carga es aplicada en la estructuras incluyen zonas de altas presiones. Los resultados para los requerimientos locales de diseño deben considerar refuerzos para procurar seguridad. Las zonas de altas presiones ocurren donde el hielo está libre de flujo, con una forma de cuña.

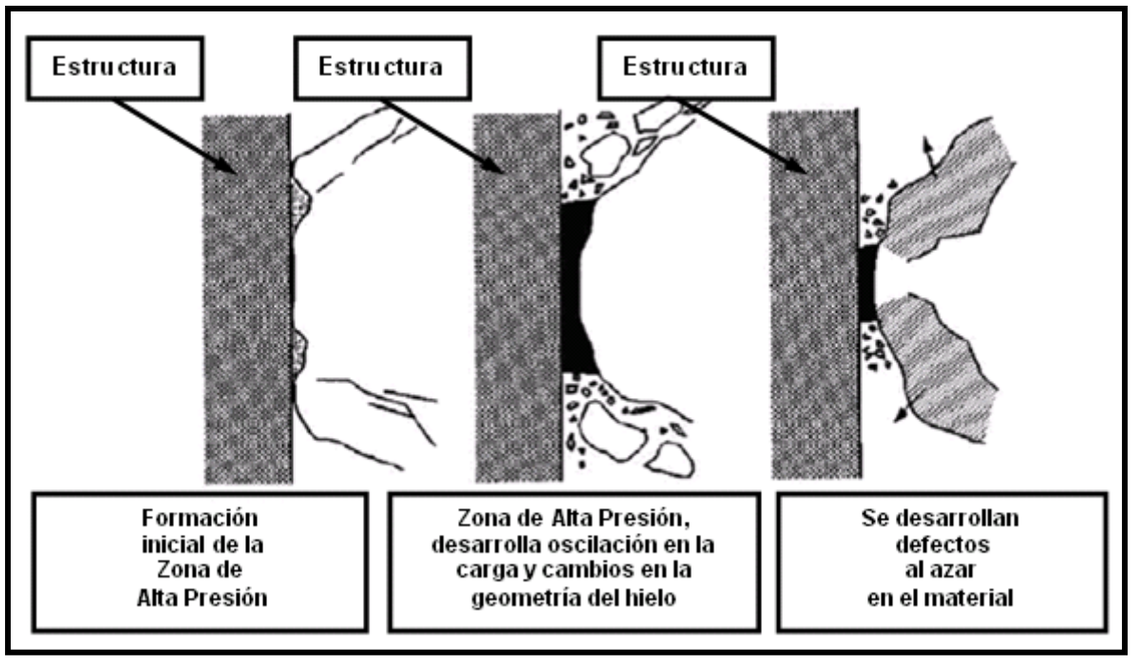



Figura 4.3: Zonas de altas presiones.
Fuente: Ice Capable Ships, Brian Veitch, Neil Bose, L. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

Debido a lo complicado del proceso de falla en el hielo y a lo aleatorio de los datos recopilados se recurre al método probabilístico para la formulación de reglas de diseño. Varios rompehielos han sido estudiados en sus navegaciones con embestidas para calcular los excedentes en la presión calculada en distintas áreas.

Los resultados son combinados en un factor α, que es función del área de diseño $a_d$ y que es usado para el diseño de las presiones Z de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_z(z) = e^{e\left(-\frac{z-x_0-x_1}{\alpha}\right)}$$

Donde:
$F_z$ (z) = Distribución de probabilidad acumulada de Z.
$X_o$ y $X_1$ = Parámetros que dependen de la expresión $X_1$=α (Ln μ); donde μ es el número esperado de golpes de embestida en un período de tiempo determinado. La siguiente relación empírica fue desarrollada a partir de los datos, con α en MPa:

$$\alpha = 1.25 \times a_d^{\,0.7}$$ , si $0.59 \le a_d \le 6m^2$ , o bien:

$$\alpha = 1.8$$ , si $a_d \le 0.59m^2$

Donde:

$a_d$ = Área de diseño en $m^2$.

Con respecto a la recopilación de datos sobre las fuerzas ejercidas por el hielo, la respuesta global fue modelada usando una curva de área-presión, obtenida de la siguiente manera:

$$P = C \times \alpha^D$$

Donde:

P = Promedio de presiones basado en la presión nominal α.

C y D = Parámetros modelados de acuerdo a la variación global de fuerzas.

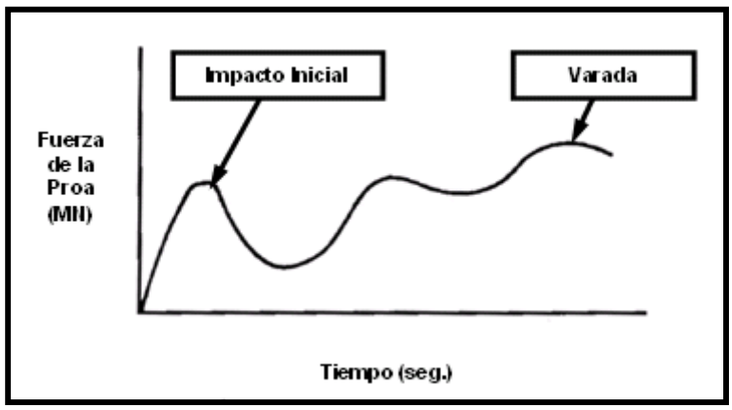



Figura 4.4: Forma general de la curva fuerza-tiempo. En general la fuerza del primer impacto es mayor en los buques pequeños, mientras que el peak posterior al primer impacto es mayor en los buques de gran tamaño.
Fuente: Ice Capable Ships, Brian Veitch, Neil Bose, L. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

Luego de encontrar una ecuación para determinar la fuerza local, se desarrolló la ecuación de la fuerza global también mediante observaciones estadísticas y es la siguiente:

$$F_{MAX} = 4.4D^{0.7}\left(1+\left(\frac{P}{D^{\frac{2}{3}}}\right)^{\frac{1}{3}}\right)$$

Donde:

$F_{max}$ = Máxima fuerza en la proa en MN ($10^6$ Newton).

D = Desplazamiento en kilotones ($10^3$ toneladas).

P = Poder del eje en MW ($10^6$ Watts).

4.1.2.2. El proceso de fractura del hielo.

Uno de los principales indicadores de la eficiencia de los rompehielos es el espesor de hielo que pueden quebrar. Este es un proceso complejo que consume energía producto del choque, la fractura de las plataformas de hielo y al despejar del camino los pedazos de hielos quebrados.

En aguas abiertas la energía consumida es constante por que la resistencia al avance es constante también. Durante el proceso de la fractura del hielo la energía consumida no es constante y la resistencia del buque es altamente variable, la que debe ser promediada a lo largo de varios ciclos de esta operación. Los rompehielos generalmente quebran el hielo usando su energía cinética para montarse sobre la plataforma de hielo y provocar la falla por flexión. Una característica de la mayoría de los rompehielos es el bajo ángulo de la roda y también un bajo ángulo en la vagra en la zona de proa. Típicamente los rompehielos tienen ángulos de roda entre 15º a 25º.

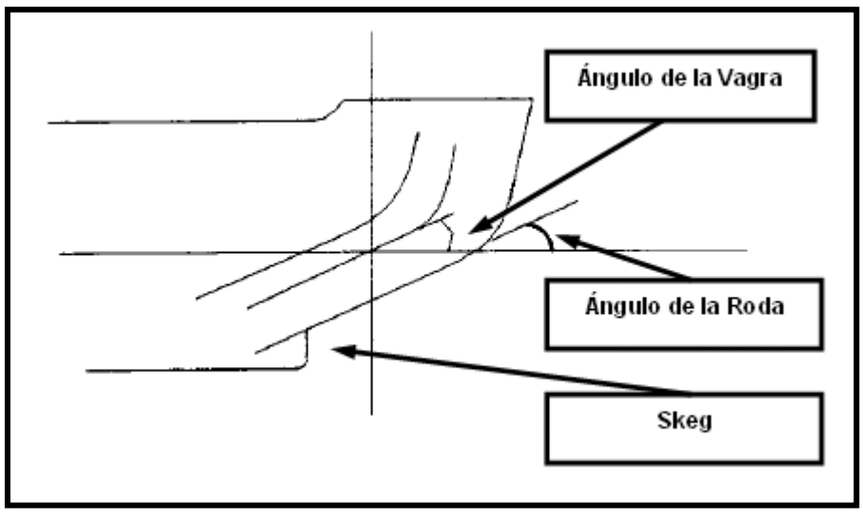



Figura 4.5: Formas características en la proa de buques rompehielos.

Fuente: Ice Capable Ships, Brian Veitch, Neil Bose, L. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

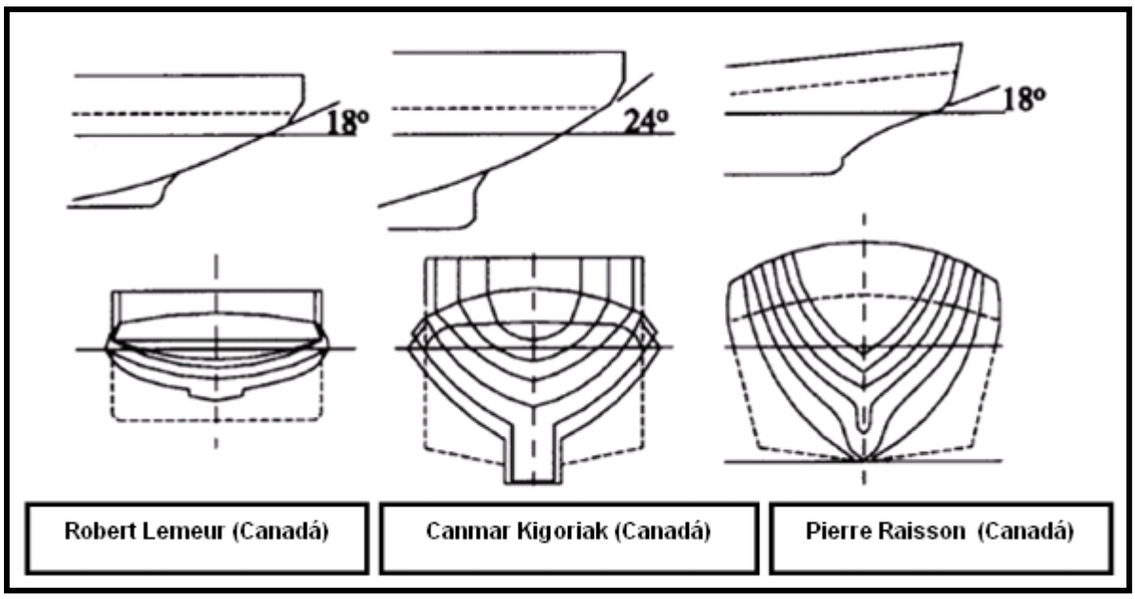



Figura 4.6: Formas del casco en la proa de algunos rompehielos, se observan las medidas del ángulo de la roda.
Fuente: Ice Capable Ships, Brian Veitch, Neil Bose, L. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

Durante el contacto con la plataforma de hielo, la energía cinética del barco es parcialmente transformada en energía potencial, asociada con los pedazos de hielos desviados, el trimado del buque y su emergida, la energía restante es liberada e irradiada en forma de ola y durante la amortiguación del choque. Hay energía adicional que se pierde por la fricción entre el barco y el hielo. Finalmente, las piezas de hielo quebradas deben ser retiradas de la proa del buque, para conseguir el avance. Esto generalmente es realizado por la aceleración de estos trozos debajo del casco, los cuales han adquirido la energía cinética y potencial del buque.

Diversos autores proponen diversas teorías para el cálculo de la resistencia al avanzar. El trabajo de Enkvist (The Swedish Academy of Engineering in Finland, 1972) propone que la resistencia de los rompehielos se puede dividir en tres componentes primarios:

1. La energía requerida para fracturar la plataforma de hielo.
2. La energía requerida para acelerar las piezas de hielo desde la posición de descanso.
3. La energía requerida para sumergir los témpanos de hielo.

La influencia del ángulo de la vagra en la proa es importante en el proceso de romper el hielo. Las proas elevadas generan altas fuerzas por tener múltiples puntos de contacto. El choque lleva trabajo adicional sin provocar la falla por flexión y por lo tanto una gran cantidad de energía es perdida. Con la reducción del ángulo de la proa, las pérdidas por choque son minimizadas. Las pérdidas por fricción, y las consideraciones prácticas como los golpes del casco y los costos del buque limitan la medida de este ángulo.

La resistencia en los rompehielos generalmente es estimada en la etapa de diseño mediante los siguientes métodos: ecuaciones semi empíricas basadas en datos ya existentes de buques, análisis de modelos a escala y modelos numéricos; los cuales se presentan a continuación.

- Ecuaciones semi empíricas.

Las ecuaciones basadas en modelos a escala para de tanques de pruebas son de fácil uso, aunque algunos de estos casos no incluyen parámetros importantes dentro del proceso de fractura del hielo. Por ejemplo, la resistencia a la flexión casi no es tomada en cuenta. No obstante la fórmula de Lewis y Edwards (Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance, 1970) es la más popular para dar una rápida y fácil estimación sobre la potencia propulsiva durante la espiral de diseño:

$$R_{im} = C_0 \sigma_f h^2 + C_1 \rho_i g B h^2 + C_2 \rho_i g B h V^2$$

Donde:

$R_{im}$ = Potencia propulsiva requerida.

h = Espesor del hielo.

$\rho_i$ = Densidad del hielo.

V = Velocidad del buque.

B = Manga.

$\sigma_f$ = Resistencia a la flexión del hielo.

g = Aceleración de gravedad.

$C_0$, $C_1$ y $C_2$ = Coeficientes que son constantes obtenidos de los modelos a escala.

- Modelos numéricos.

Dos ejemplos de los métodos numéricos son los de Milano (Ship Resistance to Continuos Motion in Ice, 1973) y de Neagle (Ice Resistance and Motion Simulation to Operating in the Continuous Mode of Icebreaking, 1980). El modelo de Milano usa la fórmula de la energía, mientras que la fórmula de Neagle asume que el hielo falla en las cúspides y que los datos semiempíricos describen la geometría de estas fallas. Ambos modelos usan soluciones teóricas para las capas de hielo, basadas en estimar la carga a la que falla el hielo. Ninguno de los modelos predice la resistencia del hielo particularmente bien, aunque el modelo de Neagle es ligeramente superior. Estos modelos son usados para examinar la oscilación en la resistencia del hielo más que para diseñar algún cambio en el modelo propiamente tal.

- Análisis de modelos a escala.

Estas pruebas en modelos deben ser realizadas bajo condiciones controladas y son usadas durante la etapa final de diseño. El hielo generalmente tiene bolsas internas con soluciones acuosas como clorhidrato de sodio, alcohol y etilenglicol. Típicamente la plataforma de hielo a escala se construye al espesor de hielo deseado, entonces la temperatura del aire en la base es alterada hasta ajustar la resistencia a la flexión del hielo. Las pruebas comienzan cuando ésta resistencia a la flexión llega a un valor objetivo. Hasta hace muy poco se usaba cera de parafina como material para simular el hielo a escala, actualmente se usa hielo refrigerado.

Dentro del hielo refrigerado existen dos clases: hielo de granos finos hecho con pulverizadores en el tanque de pruebas y hielo en columnas, que es hielo natural que crece en forma alargada. A menudo mientras el hielo a escala se calienta, reduce su resistencia a la flexión e incrementa la densidad, mientras más agua se derrita. Los parámetros más influyentes en el proceso de romper el hielo son el espesor del hielo, la velocidad del buque, la resistencia del hielo, el coeficiente dinámico de fricción entre el casco y el hielo y la densidad del hielo relativa a la del mar.

En forma similar a las pruebas en aguas abiertas, existen dos pruebas básicas: la resistencia del hielo y propulsión libre de hielo. La prueba de resistencia del hielo cuantifica la acción del hielo en el casco mientras la prueba de propulsión libre de hielo cuantifica la acción del hielo en el sistema propulsor. Si bien es posible obtener los requerimientos de potencia directamente del desempeño de las pruebas de propulsión

libre de hielo con un modelo libre, la información más detallada es obtenida separando la resistencia del casco del sistema propulsivo.

La presencia de muchas cuencas de hielo conduce al experimento de remolque del casco desnudo en un nivel de hielo para determinar la resistencia. El modelo es remolcado a una velocidad constante por una plataforma de hielo con propiedades adecuadas a la escala del modelo. Usualmente los modelos están libres de movimientos de roll, pitch y heave, pero algunas cuencas de hielo permiten cierta libertad al emerger usando un sistema de remolque suave, otros permiten cierta libertad en el movimiento de sway y yaw usando un sistema similar. El estado de las técnicas para analizar la resistencia del casco en el hielo por pruebas en modelos ha sido discutido extensivamente en la International Towing Tank Conference (ITTC 69-72).

4.1.2.3. Fricción entre el casco y el hielo.

La fricción entre el casco y el hielo es un parámetro importante, pero raramente estudiado en la etapa de diseño pues los valores que resultan de las pruebas con modelos dan una buena correlación. De esta forma, se prueban varios modelos que resultan en un coeficiente de correlación en fricción, dando un resultado objetivo para los valores de prueba.

Algunas grandes cuencas usan un valor para el coeficiente de fricción entre el casco y el hielo de 0,05, valor que representa a los cascos nuevos. El desafío para los diseñadores es proporcionar suficiente potencia propulsiva para proceder continuamente en un gran espesor de hielo y a una velocidad continua. Si las predicciones de potencia son hechas usando en coeficiente de fricción de 0,05, la velocidad máxima propuesta sólo será lograda si el casco está en buenas condiciones; pues debido a la constante abrasión por el hielo y la corrosión, la condición del casco no permanece intacta por mucho tiempo. La resistencia es muy sensible a cambiar con la fricción casco-hielo y un pequeño incremento en el deterioro del casco puede significar que el buque no posea suficiente potencia para proceder en forma continua.

Para que el rompehielos navegue sin problemas en forma continua se debe asegurar la potencia suficiente, por lo que se recomienda un coeficiente de fricción casco-hielo de 0,08. El alto costo inicial debido a la potencia adicional de la maquinaria principal se verá compensado con la reducción en los costos operacionales y con la mayor eficiencia del buque. Si las condiciones del casco están deterioradas cuando la

embestida sea necesaria, el promedio de la velocidad puede caer entre 2 a 3 nudos y el consumo de combustible se incrementa, el cual puede tener un gran impacto en los objetivos de la misión.

4.1.2.4. Efecto de la densidad del hielo.

Se puede pensar que la densidad del hielo debería tener pequeños efectos en la fractura o en la componente en flexión de la resistencia del hielo. Sin embargo, las fuerzas de flotación de las piezas de hielo hacen más difícil al casco sumergirse en él. Así en un hielo de baja densidad existe una gran probabilidad para el buque de quedar atrapado (efecto jamming). El efecto jamming es muy difícil de predecir ya que tradicional densidad del hielo modelo no puede ser simulada en forma muy real en el tanque de pruebas.

4.1.2.5. Efectos de la nieve.

Se desprende de los análisis de los ensayos a escala que la nieve es unos de los mayores efectos en la resistencia del rompehielos. La nieve actúa como una capa fácilmente compresible bajo el casco, y el hielo bajo de ésta. La nieve puede tener menos de un 50% de la densidad del hielo, por lo que la flotabilidad del hielo cubierto de nieve es mucho más grande que la del hielo libre de nieve. Finalmente, la nieve incrementa la fricción entre el casco y el hielo.

4.1.3. Casco y estructuras.

4.1.3.1. Forma del Casco.

Tiene dos objetivos que se contraponen desde el punto de vista del diseño: quebrar el hielo y apartarlo del camino. El balance entre estos dos conceptos está dado por el perfil de misión del buque. Generalmente lo que se gana haciendo que la forma de un casco sea efectiva rompiendo el hielo se pierde en resistencia al avance y en el comportamiento del buque en el mar abierto.

- Formas de proa.

Para quebrar el hielo efectivamente, la forma de la proa debe promover la fractura, más que el impacto mismo con el hielo. Las formas finas en la proa y su poca

profundidad la hacen muy eficaz para despejar hielo, pero no son buenas formas para fracturar el hielo. Los bulbos de proa no son apropiados para este tipo de buques ya que no es práctico para la fractura y presenta dificultades al remolque. En el caso de los buques que principalmente operan en aguas abiertas y ocasionalmente entre hielos, el beneficio de tener bulbo es mayor que la pérdida al navegar entre hielos.

La capacidad de apartar el hielo quebrado del canal abierto es muy importante cuando se navega en un campo de hielo muy cerrado o en un canal obstruido, pues este hielo se puede acumular bajo la proa hasta detener el buque. Otra importancia de un buen despeje es que estos trozos de hielos se pueden sumergir hasta el fondo del buque y deslizarse a través de él a lo largo de la eslora, reapareciendo en la popa e interfiriendo con el rendimiento de las hélices propulsoras, por lo que es común la instalación de cuñas para guía los trozos de hielo.

Para prevenir los choques muy violentos durante la maniobra de embestida con los témpanos de hielo muy gruesos se ha incorporado una plancha skeg, cuya función es frenar la excesiva avanzada del buque sobre el hielo.

El diseño de la línea de agua desde la proa hasta la mitad del buque es diseñada para evitar el excesivo choque con el hielo que avanza hacia la popa y facilitar la maniobrabilidad, para lograr este objetivo se debe tener en cuenta que el cambio en la línea de agua en proa debe ser muy sutil hacia atrás, o bien la forma de las vagras sea suave en las secciones de proa para lograr que los iceberg pasen suspendidos en la superficie del agua, y no bajo ella, desde la proa hacia atrás.

- Formas de popa.

Las capacidades que necesitan los rompehielos para ofrecer protección a los equipos de propulsión son parte del diseño de la popa, por ese motivo las formas de las vagras son suaves y llenas, para poder expulsar el hielo quebrado y obtener gran estabilidad.

La forma de la popa está muy influenciada por el sistema propulsivo, que puede ser un sistema de ejes convencionales, propulsores azimutales o una, dos o tres hélices trabajado conjuntamente. Una variedad de precauciones pueden ser tomadas para proteger el o los timones y propulsores de los efectos del hielo. Por ejemplo algunos

hielos agudos que pasan por la popa intentan deflectar el timón. Adicionalmente tiene un skeg en la popa para prevenir el excesivo montaje del hielo, al igual que en la proa.

Las estructuras de los rompehielos están diseñadas para resistir las cargas locales debido al contacto con el hielo y las cargas globales asociadas a las operaciones de embestida, también se deben considerar las vibraciones debido a la gran potencia instalada. Por bajas temperaturas del ambiente necesita el uso de aceros especiales con una adecuada resistencia a la fractura. Como consecuencia de proteger las estructuras de las grandes cargas de hielo existe un aumento de peso del acero, comparando los rompehielos con los buques que operan en aguas abiertas. Para reducir este factor es común el uso de un acero de alta resistencia como el acero dulce ($\sigma_y$ = 245 MPa) usado comúnmente en la industria naval.

4.1.3.2. Cargas de hielo.

Las cargas resultantes del quiebre del hielo son transmitidas a través de la superficie de contacto entre el hielo y el casco. Una dificultad en el diseño estructural del casco es modelar con exactitud esta superficie de contacto. El problema ha recibido mucha atención durante los últimos años, incluyendo varios software de cargas medidas a gran escala. Empleando estas cargas junto con el contacto nominal, la eslora y el espesor del hielo, se puede deducir un promedio nominal de presión y la correspondiente carga por unidad de área, pudiendo ser usado para el diseño futuro, de la misma forma que se diseñaba este tipo de buques en sus inicios, o sea, en base a prueba y error. Desafortunadamente el hielo no presiona uniformemente la superficie de contacto, por lo que la prueba en un modelo puede ser muy imprecisa.

Para las velocidades en que operan los rompehielos, el hielo falla de manera quebradiza y la presión tiende a una alta concentración en pequeñas áreas de contacto. La variabilidad de las propiedades mecánicas del hielo, la falla propiamente tal, la interacción de los movimientos por cargas de contacto y la deflexión estructural local son factores que pueden influir en las cargas de hielo y en el contacto con las estructuras del rompehielos.

A nivel local las planchas entre cuadernas deben resistir las altas presiones concentradas derivadas del contacto con el hielo, por este motivo el armado longitudinal es preferido al armado transversal.

La falla de la estructura soporte puede ser por flexión, por tensión de corte o pandeo. Los refuerzos locales que deben soportar las cargas de hielo son las cuadernas y mamparos. Las cuadernas y las vigas longitudinales soportan los esfuerzos producidos en las planchas del fondo. En las embestidas, las estructuras que soportan las cargas son las cubiertas y planchas del fondo, por lo que la flexión total se debe mantener en los límites permisibles para garantizar seguridad a la viga buque.

Otro criterio de diseño es evitar la fractura por fragilidad, provocada por el descenso en la tenacidad del acero. Las condiciones operativas de los rompehielos incrementan la probabilidad de esta falla, pues trabajan en un ambiente de bajas temperaturas del aire, entre -50º C y -20º C, y baja temperatura del agua, que también son bajo 0º C.

Una acero de alto grado con gran resistencia a la fractura como, un acero grado A, reduce la probabilidad de fractura por fragilidad. El uso de aceros de alto grado se ha convertido en requerimiento de la mayoría de las sociedades de clasificación y de las autoridades nacionales. Los mínimos requerimientos de resistencia a la fragilidad para dar seguridad a los elementos estructurales pueden estar relacionados con el tipo y espesor del acero.

Tabla 4.1: Tipos de acero para temperaturas de diseño bajo 0º C.
Fuente: Rules and Regulations for the Classification of Ships, Lloyd's Register.

| **Temperatura Mínima de Diseño (º C)** | **Espesor (mm)** | **Tipo de acero** |
|---|---|---|
| 0 a -10 | e < 12,5<br>12,5 < e <25,5<br>t >25,5 | B / AH<br>D / DH<br>E /EH |
| -10 a -25 | t < 12,5<br>t > 12,5 | D / DH<br>E / EH |
| -25 a -40 | t < 12,5<br>t > 12,5 | E / EH<br>FH / LT-FH |

La resistencia de la estructuras de cubierta, por ejemplo, pueden exigir como mínimo acero de grado E, mientras que las cubiertas que no sean refuerzo de alguna estructura requieren sólo de un acero grado B. Las fuentes más probables de defectos que dan lugar a grietas son la soldadura y el calor que afecta la zona de la base del material de relleno, una forma de tratar el área de la soldadura es ver los requerimientos

específicos de resistencia de esa zona, que generalmente no son mismos que los de la estructura adyacente.

Usar aceros de alta resistencia reduce el peso y aporta flexibilidad en el diseño, es común usar aceros de alta y muy alta resistencia ($\sigma_y$ = 355 MPa y 500 MPa) que ofrecen un ahorro en el peso del casco de un 18% a 30% respectivamente, comparado con un acero convencional usado en la construcción naval ($\sigma_y$ = 245 MPa). En ambos casos se combina la reducción en el espesor del casco con la gran resistencia de las cuadernas y el aumento del espacio entre ellas,

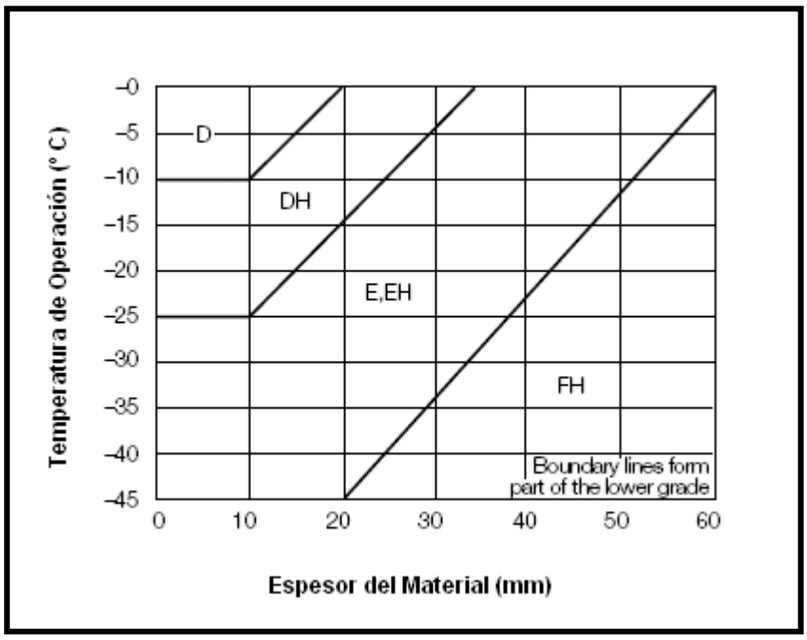



Figura 4.7: Esquema para la selección del tipo de acero en las estructuras de proa, según la temperatura en la que operará el rompehielos y el espesor del material.
Fuente: Rules and Regulations for the Classification of Ships, Lloyd's Register.

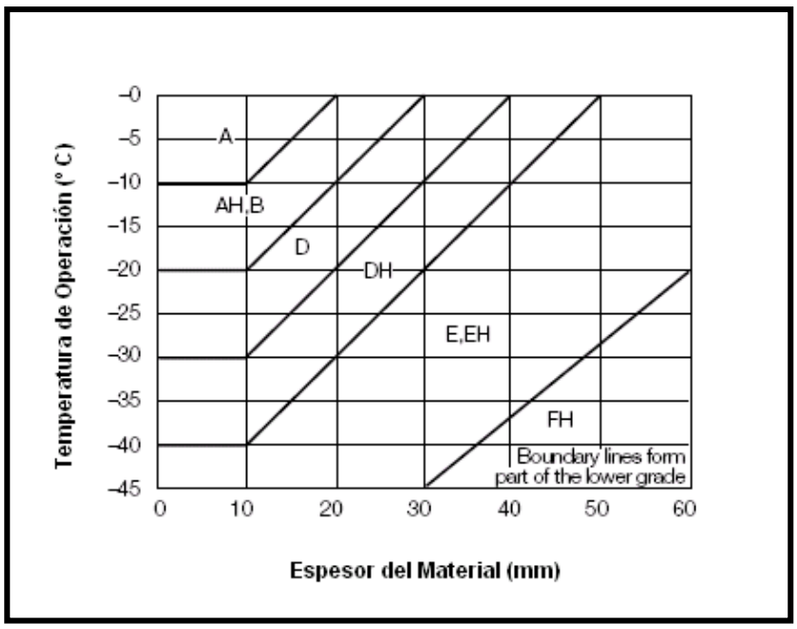



Figura 4.8: Esquema para la selección del tipo de acero en el resto de las estructuras, según la temperatura en la que operará el rompehielos y el espesor del material.
Fuente: Rules and Regulations for the Classification of Ships, Lloyd's Register.

4.1.4. Requerimientos de Clasificación.

Los requerimientos de integridad estructural de los barcos reforzados para navegar en hielos están especificados en las reglas de varias sociedades clasificadoras, por ejemplo: Russian Maritime Register, Lloyd's Register, Det Norske Veritas, American Bureau of Shipping, Germanister Lloyd y diversas autoridades reguladoras nacionales de países como: Canadá, Finlandia, Suecia y Rusia, que exigen ciertos estándares para navegar en sus aguas. Estas últimas están divididas en dos clases generales, las reglas Bálticas y las reglas Árticas, éstas últimas están subdivididas dependiendo del espesor de hielo capaz de fracturar, esto es sobre o bajo los 1,2 m de espesor. La mayoría de las sociedades de clasificación han adoptado las reglas Bálticas, desarrolladas por Finlandia y Suecia.

Si bien existen diferencias, el enfoque esencial de las revisiones a la reglas es especificar la carga máxima de diseño, basados en la interacción casco-hielo. Las cargas de diseño dependen del desplazamiento, potencia propulsiva y la aplicación de diferentes elementos estructurales de acuerdo a la relación presión-área. Los modelos son determinados usando un criterio de diseño elasto-plástico que permite el exceso de rendimiento de modo que algunas deformaciones permanentes son aceptables.

Cada Sociedad de Clasificación o administración gubernamental ha catalogado de manera diferente la capacidad de algunos rompehielos, una correspondencia entre las diferentes clases de rompehielos es mostrada en la siguiente tabla. Sin embargo por que cada reglamentación es diferente, cualquier intento de dibujar estas equivalencias es subjetivo y puede presentar serias restricciones para barcos que podrían operar en regiones gobernadas por diferentes regulaciones nacionales.

Tabla 4.2: Perfil de misión de cada una de las clases polares, basados en la WMO (World Meteorological Organization).
Fuente: Review of American Bureau of Shipping's Guide for Wessel operating in low temperature environments.

| **Clase** | **Descripción** |
|---|---|
| PC 1 | Buques que pueden operar todo el año en todo tipo de aguas polares. |
| PC 2 | Buques que pueden operar todo el año en condiciones de hielo de más de un año. |
| PC 3 | Buques que pueden operar todo el año en condiciones de hielo de hasta dos años. |
| PC 4 | Buques que pueden operar todo el año en condiciones de hielo denso de un año. |
| PC 5 | Buques que pueden operar todo el año en condiciones de hielo medio de un año. |
| PC 6 | Buques que pueden operar en verano y primavera en condiciones de hielo medio de un año. |
| PC 7 | Buques que pueden operar en verano y primavera en condiciones de hielo delgado de un año. |

Tabla 4.3: Equivalencias aproximadas entre clases de rompehielos, según distintas Sociedades Clasificadoras y Administraciones Gubernamentales.
Fuente: Review of American Bureau of Shipping's Guide for Wessel operating in low temperature environments.

| **Sociedad de Clasificación Administración Nacional** | **Clases Equivalentes Aproximadas** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Finnish Swedish Ice Class Rules | IA Super | IA | IB | IC | Category II |
| Russian Maritime Register of Shipping (Rules 1995) | UL | L 1 | L 2 | L 3 | L 4 |
| Russian Maritime Register of Shipping (Rules 1999) | LU 5 | LU 4 | LU 3 | LU 2 | LU 1 |
| American Bureau of Shipping | IAA | IA | IB | IC | D 0 |
| Bureau Veritas | IA Super | IA | IB | IC | ID |
| Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations | A | A (B) | C | D | E |
| China Classification Society | B1* | B1 | B2 | B3 | B |
| Det Norske Veritas | ICE-1 A* | ICE-1 A | ICE-1 B | ICE-1 C | ICE-C |
| Germanischer Lloyd | E 4 | E 3 | E 2 | E 1 | E |
| Korean Register of Shipping | ISS | IS 1 | IS 2 | IS 3 | IS 4 |
| Lloyd's Register of Shipping | 1 AS | 1:00 AM | 1 B | 1 C | 1 D |
| Nippon Kaiji Kyokai | IA Super | IA | IB | IC | ID |
| Registro Italiano Navale | IAS | IA | IB | IC | ID |

4.1.5. Maquinaria propulsora.

La potencia propulsiva se ve seriamente afectada por la gran resistencia producida por la fricción entre el casco y el hielo, y por la presencia de hielo en la hélice propulsora. Alrededor de un 15% de la potencia generada por la planta propulsora está destinada sólo a vencer la fuerza de roce causada por ésta fricción.

En contraste con el diseño de las formas del casco y los arreglos generales, el diseño del sistema de propulsión consiste más bien en la selección de componentes ya disponibles y adaptarlos a los sistemas de los rompehielos. Tal como en otros buques, la elección de la maquinaria propulsiva está basada en el capital, costos operacionales, confiabilidad, potencia y eficiencia. Los buques reforzados para navegar entre hielo, especialmente los rompehielos, necesitan sistemas propulsivos que tengan gran maniobrabilidad y quizás más importante que cualquier característica, que puedan operar efectivamente cuando se somete a altas exigencias, repetidas e intermitentes, en la maniobra de embestida.

4.1.5.1. Maquinaria principal.

La determinación de la potencia requerida se basa en la resistencia a la fricción y la propulsión en el hielo. Una vez seleccionada la potencia, las principales decisiones son el tipo de maquinaria principal a usar, el sistema de transmisión y la cantidad de sistemas propulsivos a usar.

Existen varios tipos de propulsión que han sido adaptadas favorablemente en los rompehielos, entre ellos la propulsión nuclear, las turbinas de gas y el motor diesel.

- Propulsión nuclear.

Un ejemplo son los rompehielos nucleares rusos, pues constituyen una clase en sí mismos: usan el vapor que viene de una planta nuclear para manejar las turbinas de vapor generando así electricidad para los motores propulsores. Este tipo de rompehielos no pueden operar en el área Antártica por la prohibición del Tratado Antártico de eliminar desechos nucleares en ésta zona, pero son muy populares en las campañas Árticas. El mayor rompehielos construido hasta el momento corresponde a este tipo de propulsión, este es el ruso *Lenin*, con 44.000 hp.

- Turbinas de gas.

Son muy usadas en la clase Polar y en algunas ocasiones son empleadas como parte del motor principal. Este sistema no tiene muchos seguidores, pues tienen 10% a 20% más de consumo específico de combustible y altos requerimientos de mantención por lo que se usan mayormente en flotas militares; en contraste ofrecen buen poder para grandes evoluciones, son pequeñas y livianas.

- Motor diesel.

Es la maquinaria principal más comúnmente usada en los buques reforzados para navegar entre hielos. Tiene relativamente buen poder para grandes evoluciones, usa un combustible relativamente económico, son compactos y confiables. Un problema con las maquinarias diesel es la pobre capacidad extra de torque que entrega.

Para evitar el daño en la maquinaria principal debido a los altos y momentáneos torques por cargas de hielo, los sistemas diesel usan un gran volante en el eje entre el motor principal y la caja de reducción. La inercia extra del volante asegura que el eje continuará girando en una repentina baja de velocidad cuando se forme hielo en la hélice, lo que puede ser un problema para la maquinaria diesel.

Existe un gran debate sobre las ventajas comparativas de los sistemas diesel y los diesel-eléctricos. Los sistemas diesel-eléctricos enfrentan mejor los torques por carga de hielo cuando baja la velocidad en el eje y presentan menor nivel de vibraciones y ruido. Los sistemas diesel tienen mayor eficiencia que los sistemas eléctricos, pues las pérdidas en el sistema diesel son menores que en la transmisión eléctrica. También son más livianos, más compactos, menos costosos y simples, aunque tienen algunas complicaciones para adaptarse al hielo, como el daño provocado a los mecanismos producidos por la alteración en las revoluciones al atascarse hielo en el propulsor.

Los sistemas modernos diesel-eléctricos usan generadores diesel y de corriente alterna con un sistema de control de conversión de ciclos. El resultado de los sistemas de corriente alterna es que mejoran la eficiencia de los anteriores diesel-eléctricos y mantienen las excelentes características de velocidad y torque extra, ambos en términos de la potencia entregada.

La flexibilidad en la disposición de la maquinaria es otra ventaja que ofrece el sistema diesel-eléctrico. La reciente evolución de los propulsores azimutales ha ampliado esta ventaja al extremo de mover los motores propulsores fuera del casco, dentro de los pods donde el propulsor puede estar completamente equipado.

Cuando la maquinaria principal son motores diesel, el aire para la combustión es tomado directamente desde los espacios de máquinas. En climas muy helados este sistema causaría que la temperatura de la sala de máquinas sea muy baja, afectando a

los equipos y al personal. Por lo tanto el aire para la combustión debe ser directamente suministrado a los motores a través de un conducto de trabajo, para controlar mejor la temperatura del aire de la combustión.

Para resguardar los circuitos y sus componentes se usa vapor de agua o aceite térmico y así protegerlos de fatiga por fragilidad, la que es provocada por las bajas temperaturas. Además se debe escoger los lubricantes y aceites hidráulicos adecuados para operar en ambientes fríos, como los lubricantes sintéticos, que tienen mayor estabilidad térmica frente a los lubricantes minerales.

4.1.5.2. Disposición.

Una hélice en la línea central en un eje horizontal es la disposición más común en los buques de carga reforzados para hielo. En contraste, la mayoría de los rompehielos tienen dos o tres propulsores. Los grandes barcos con gran potencia y suficiente espacio puede disponer de un propulsor triple: dos iguales en ambas bandas y uno en la línea central. Contar con dos o tres propulsores ofrece seguridad en caso de daño, flexibilidad en el uso de la potencia y mayor maniobrabilidad que una hélice simple.

La reciente introducción de propulsores azimutales para rompehielos, en ductos o pods se ha hecho muy popular entre los diseñadores. Estos eliminan la necesidad de timones pues estos propulsores pueden rotar sobre sí mismos en un eje vertical que provee de una alta capacidad de maniobra. Este sistema propulsivo es muy popular entre los buques que son rompehielos por popa.

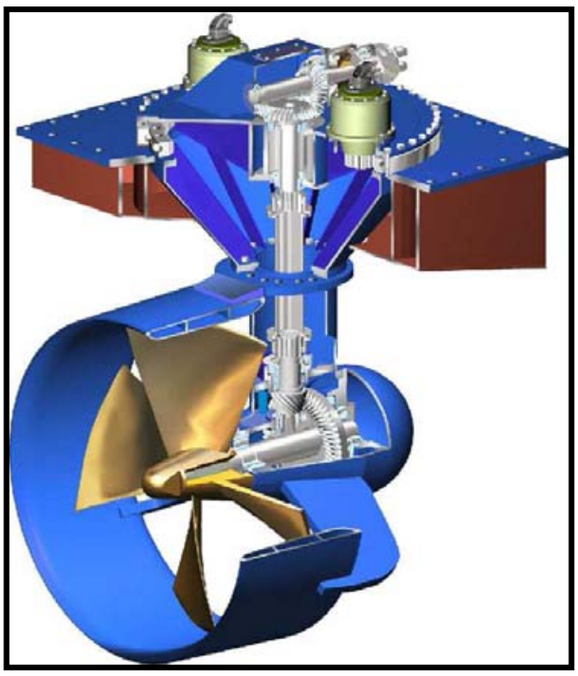


Figura 4.9: Propulsor azimutal en tobera, se observa que todo el mecanismo de giro queda dentro del casco para así no ser dañado por la acción de los hielos.
Fuente: Sitio web “Thrustmastertexas”.

En comparación con los propulsores diseñados para operar en aguas abiertas, los propulsores que operan entre hielos tienen requerimientos adicionales, como potencia extra y altas cargas de empuje, que deben ser acompañadas por otras características de diseño como materiales de alta resistencia (acero inoxidable, níquel-aluminio-bronce); densas secciones en las palas, aunque esta medida reduce la eficiencia hidrodinámica; gran área de palas; grandes núcleos, especialmente en los propulsores de paso controlable y pequeño o nulo ángulo de rake. Algunas hélices de paso fijo son diseñadas con cada pala individualmente conectada al núcleo, siendo una ventaja poder reemplazar cada una de éstas cuando se dañan.

Muchas ventajas y desventajas de las hélices están relacionadas con la maquinaria más comúnmente usada en cada sistema propulsivo: diesel-eléctrico para hélices de paso fijo y diesel para hélices de paso controlable. Para asegurarse que el mecanismo de control de paso es adecuadamente fuerte y seguro, el núcleo es grande en las hélices de paso controlable (35% a 40% del diámetro de la hélice), aunque esto signifique pérdida en la eficiencia. Las hélices de paso controlable son relativamente más costosas. Sin embargo la característica de las hélices de paso controlable es una ventaja para algunos buques, como los rompehielos, que operan sobre un amplio rango de condiciones de carga. Una hélice de paso controlable puede eliminar la necesidad

de un eje en reversa, así evitar la baja velocidad y la detención de la hélice bajo condiciones donde es particularmente vulnerable a los daños provocados por los hielos. La desventaja es que la eficiencia de la hélice de paso fijo en reversa es superior a la eficiencia de la hélice de paso controlable en ésta condición.

Los propulsores en ducto o en pod ofrecen excelentes propiedades de empuje a poca velocidad de avance, durante el remolque y ademas reducen el tamaño de los hielos que toman contacto con el propulsor, limitando así el impacto con las palas. En el extremo de conexión al casco el ducto o pod debe ser reforzado pues está sujeto a altas cargas, vibraciones y fatiga; los ductos pueden atascase en el hielo y para liberarlos se requiere dar marcha atrás para despejarlos, lo que resta rendimiento operacional, somete a las palas a grandes cargas, vibraciones por la obstrucción y los impactos del hielo. En altas velocidades los propulsores en ductos son menos eficientes.

Varios medios pueden ser empleados para proteger el propulsor del daño por hielo como usar un ducto, situar el propulsor tan profundo como sea posible, sobre todo los que estén situados en las aletas ya que el área mas protegida es en la línea central; reducir el diámetro del propulsor con el fin de limitar la carga por torque; usar dispositivos para desviar el hielo o usar hélices en toberas. Para operaciones en reversa los sistemas conocidos como “los sopladores de hielo” o reamers y los timones pueden dar alguna protección. Para operaciones marcha avante el dispositivo de protección más común es el skeg.

4.1.5.3. Interacción entre el hielo y el propulsor.

La interacción hielo-propulsor puede ocurrir en varios modos de navegación como en la marcha atrás, marcha avante, maniobras diversas o embestidas; y en una variedad de condiciones de hielo, incluyendo hielo de un año o más antiguo, témpanos a la deriva o navegación en canales donde el buque tiene que hacerse paso entre el hielo. La interacción propulsor-hielo puede resultar en altísimas fuerzas en las palas del propulsor, eje porta hélice, sellos, descansos y otras maquinarias propulsivas.

Las fuerzas en el propulsor durante esta interacción con el hielo tiene dos fuentes: el contacto con el hielo y la fuerza hidrodinámica. Las fuerzas de contacto se originan debido a la penetración de pedazos de hielo en las palas del propulsor y la consecuente fisura o corte del hielo por la pala. El contacto es concentrado usualmente

cerca del borde de entrada o de ataque y se extiende sobre ambas caras, de presión y succión, de la pala. El proceso de corte es inestable, pues involucra distintas áreas de contacto e intensidad en cada caso particular. El área de contacto, la dirección y la magnitud de la carga resultante es influenciada por la relativa geometría del hielo y del propulsor. Dependiendo de las condiciones operacionales del propulsor y de las condiciones ambientales, la fuerza de contacto se considera como una carga instantánea. Los principales efectos de esta carga en las palas del propulsor son los altos momento flector y momento torsor sobre el propulsor.

La contribución de la fuerza hidrodinámica es hecha por la operación regular en aguas abiertas de las palas de la hélice. Esta operación es perturbada por el bloqueo del hielo y los efectos son turbulencias, discontinuidad del fluido alrededor del propulsor, debido a la proximidad con el hielo, y el contacto entre el hielo y la pala. El contacto resultante y la fuerza hidrodinámica son significativamente más altas que la fuerza hidrodinámica regular normalmente medida en los propulsores convencionales. Esto sumado a las elevadas e irregulares cargas de hielo y a su naturaleza oscilatoria, originan vibraciones y cavitación.

4.1.5.4. Diseño de propulsores y sus limitaciones.

Existen sugerencias de diferentes métodos de diseño en las reglas de varias Sociedades de Clasificación y de algunas autoridades nacionales para las diferentes clases de propulsores para hielo. Antes de 1997, el diseño de propulsores que operan entre hielos estaba basado en la Teoría de torque por hielo y su nivel de variación según el tipo de buque o de hielo. En la actualidad el diseño del propulsor está basado en esa misma Teoría de torque, combinándola la Teoría de la viga en voladizo y flexión en las palas.

Para un propulsor convencional, o no apto para el hielo, la principal limitación de diseño es la elasticidad y la fatiga. En el diseño elástico los esfuerzos derivados de las operaciones extremas, por la interacción entre el hielo y el propulsor, deben ser considerados además del esfuerzo en las palas. Idealmente, el esfuerzo sobre toda la pala debe ser evaluado en estas condiciones extremas de operación para encontrar el nivel máximo de esfuerzo equivalente (usando el criterio de Von Misses o el Método de la Energía de Distorsión) y la posición en que esto ocurre. Esta posición sería entonces el caso límite para el diseño. Este último enfoque es particularmente importante para los propulsores con palas asimétricas donde los altos esfuerzos usualmente se encuentran

en el borde de salida de las palas; lamentablemente el contacto hielo-propulsor es un fenómeno aleatorio difícil de predecir, por lo tanto difícil de calcular.

El esfuerzo más importante es el estado límite de fatiga en la arrancada del buque. Para los propulsores que operan en hielo se debe considerar un resguardo para el límite de fatiga: incrementar la carga límite de hielo normal para una carga de hielo excepcional que pueda surgir. Esto último podría ser originado por el impacto entre el propulsor y el hielo o cuando el buque se está moviendo y el propulsor está detenido. Hasta la fecha no ha sido posible diseñar esta condición.

El estado límite por carga de hielo en una operación normal debe contar con las cargas extremas para las palas del propulsor durante la interacción hielo-propulsor, estas son: el momento flector de la pala, la fuerza cortante, el empuje y el torque; estos valores se pueden obtener de la medición de las escalas, modelos experimentales y simulaciones. Se debe considerar que las cargas de hielo son de naturaleza oscilatoria y son consideradas como cargas repetidas con sus implicaciones de fatiga.

4.1.5.6. Ecuaciones de diseño e implementación.

Goodman y Soderberg sugieren una ecuación para analizar la fatiga en propulsores contemporáneos, donde por un lado tenemos la carga límite y por otro se combinan distintas características del material:

$$L = \gamma_{ice} \frac{\sigma_{ice}}{\sigma_{aice}} + \left( \gamma_{wake} \frac{\sigma_{wake}}{\sigma_a} \right)^b + \gamma_{mean} \frac{\left( \sigma_{mean} + \sigma_{res} \right)}{\sigma_p}$$

Donde:

L = Carga límite en la pala del propulsor.

$\gamma_{ice}$ = Coeficiente de seguridad de la pala con una carga inestable de hielo.

$\gamma_{wake}$ = Coeficiente de seguridad de la pala durante la arrancada.

$\gamma_{mean}$ = Coeficiente de seguridad de la pala con una carga constante de hielo.

$\sigma_{ice}$ = Esfuerzo en la pala del propulsor con una carga inestable de hielo.

$\sigma_{aice}$ = Esfuerzo, de la curva de resistencia a la fatiga para el material de las palas, durante un número determinado de ciclos, relacionado con la exposición del propulsor

$\sigma_{wake}$ = Esfuerzo en la pala durante la arrancada.

$\sigma_a$ = Esfuerzo, de la curva de resistencia a la fatiga para el material de las palas, durante un número determinado de ciclos en la operación del propulsor durante su vida útil.

$\sigma_{mean}$ = Esfuerzo en la pala del propulsor con una carga constante de hielo.

$\sigma_{res}$ = Esfuerzo residual en el propulsor.

$\sigma_p$ = Valor límite del esfuerzo del material de las palas. Este debe ser el 0,15% del esfuerzo probado, el valor último de la resistencia a la tracción es una referencia para este valor.

En general los valores de los denominadores del lado derecho de la ecuación representan valores característicos de las resistencias, mientras que los valores de los numeradores muestran características de las cargas.

La complejidad de las cargas resultantes de la interacción hielo-propulsor significa que para obtener un cuadro preciso de la distribución de esfuerzo en la pala, es necesario hacer un detallado análisis de esfuerzo usando métodos como los de elementos finitos, recomendado para los propulsores que funcionan en hielo.

La teoría de la viga en voladizo que se aplica en gran parte a los propulsores, especialmente en el diseño inicial, da resultados aceptables donde las desviaciones de las palas son relativamente bajas.

El módulo de la sección, en la sección considerada de la pala (Z) está relacionado con el momento flector (M) y el correspondiente nivel de esfuerzo ($\sigma$) por la siguiente ecuación, que corresponde a la ecuación de esfuerzo normal:

$$Z = \frac{M}{\sigma}$$

El momento flector máximo normalmente se origina donde las desviaciones son relativamente bajas, mientras que el esfuerzo máximo ocurre en las fibras extremas de la pala en la sección de máximo espesor. Para propulsores con baja desviación, las cargas hidrodinámicas son relativamente bajas en el plano del momento flector y del momento torsor. Durante la interacción hielo-propulsor el torque es muy grande y no puede ser ignorado.

El torque origina una compleja distribución de esfuerzo cerca del núcleo del propulsor donde la deflexión es restringida por el material del que está compuesto. Algunos cálculos muestran que para secciones elípticas la máxima deflexión (y por la tanto las zonas de máximo esfuerzo) se produciría en alrededor de 0.7 veces la cuerda. Para secciones elípticas de similares proporciones en la raíz que en el borde de la hélice, bajo condiciones de carga por la interacción hielo-propulsor, el valor del esfuerzo normal puede exceder el valor del esfuerzo de corte, pero normalmente son menores que el valor del esfuerzo de corte durante la flexión de las palas. En suma, la sección del núcleo de una pala no es plano, sino curvado alrededor de la unión con el eje y es esta forma la que tiene gran influencia en la restricción de los esfuerzos por deflexión.

La geometría descrita complica el cuadro de esfuerzos y la única manera de conseguirlo en forma más exacta es a través de un detallado análisis. Esto sería posible si el esfuerzo en torsión pudiera igualar o exceder el máximo esfuerzo en flexión, si la cuerda de la pala fuera mayor que la envergadura, y por lo tanto, el torque de la carga concentrada fuera mayor que el momento flector de la pala.

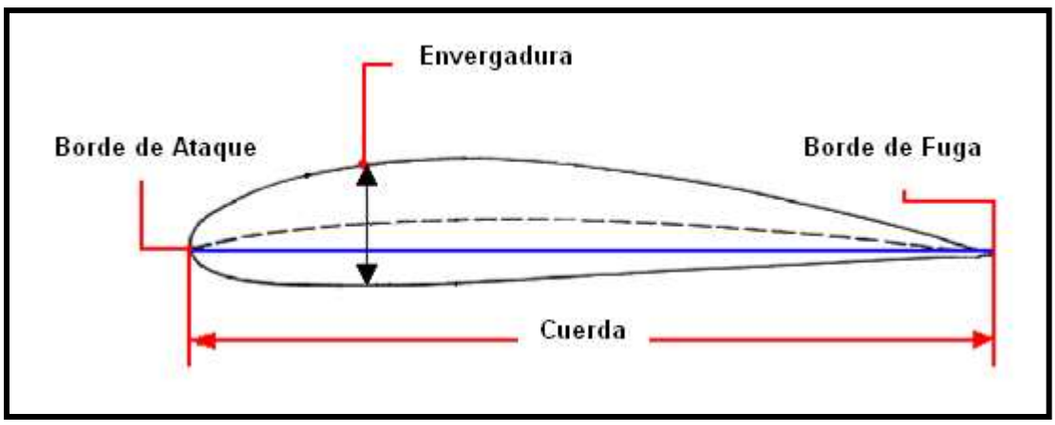



Figura 4.10: Esquema de un perfil alar, se observa el concepto de cuerda y envergadura.

4.1.6. Maquinaria auxiliar.

Una variedad de sistemas auxiliares son usados para ayudar en el proceso de romper el hielo, para reducir la resistencia o para mejorar el rendimiento propulsivo.

4.1.6.1. Sistemas que facilitan la fractura del hielo.

El método más simple para reducir el roce es utilizar para el recubrimiento del casco una pintura de baja fricción que resista la abrasión del hielo y reduzca la fricción entre el casco y el hielo.

Otra forma de hacer menos abrasiva la embestida es el Sistema de Burbujas, que consiste en una bomba dentro de unas pequeñas toberas en el casco ubicadas por debajo de la línea de agua. Las burbujas de aire y agua crean una corriente ascendente de lubricación en las áreas de contacto del casco con el hielo, reduciendo así la resistencia por fricción; aunque la efectividad de este sistema se reduce en altas velocidades, hay que considerar que la navegación entre hielos se hace a una velocidad relativamente baja.

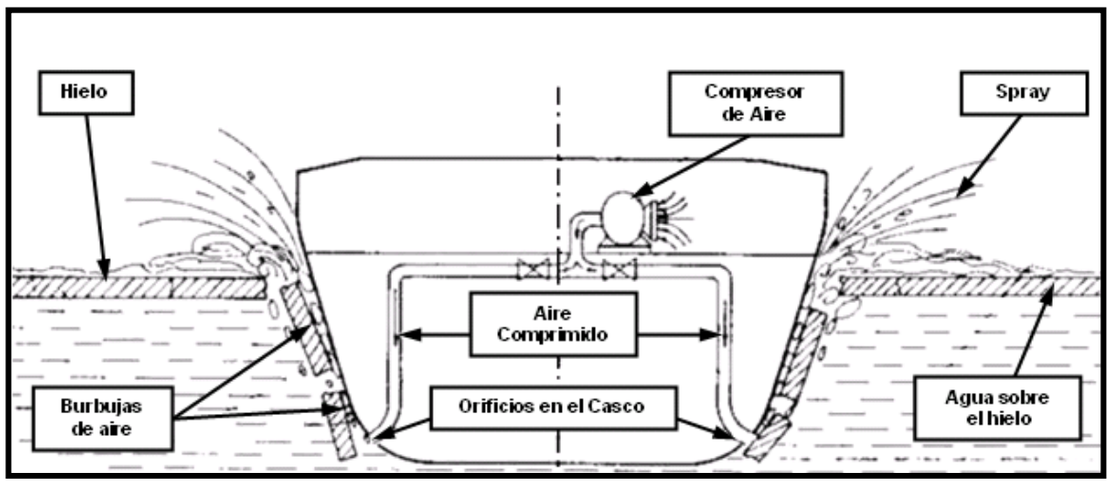



Figura 4.11: Esquema básico del Sistema de Burbujas.
Fuente: Sitio Web del A.R.A. Comandante Irizar.

El Sistema de Agua de lavado es otro método para reducir la fricción. Grandes volúmenes de agua a baja presión son rociados en el hielo por encima de la línea de agua. El agua de lavado reduce la fricción, la sobrecarga de hielos y ayuda a sumergir los pedazos de hielo fracturados. Ambos sistemas descritos necesitan de potencia adicional, que es incorporada alternativamente a la maquinaria propulsora.

Los tanques de lastre son usados comúnmente en los rompehielos para ayudar a quebrar los hielos y aumentar la maniobrabilidad, combinados con formas en la proa quizás poco convencionales. Cada par de tanques son dispuestos simétricamente en los lugares adecuados del barco, conectados por un túnel equipado con una bomba que sea capaz de transferir rápidamente el lastre entre los tanques, para inducir a la escora.

Este sistema es un análogo del primitivo procedimiento, conocido como Rolido Artificial, que usaron algunos exploradores para quebrar el hielo que aprisionaba a los frágiles buques: situaban a toda la tripulación en una banda y a una orden corrían rápidamente a la otra, induciendo así la escora. Se debe tener en cuenta el posible congelamiento del agua de lastre dentro de los tanques o cañerías por efecto de las bajas temperaturas, por lo que muchos rompehielos cuentan con diversos sistemas de calefacción especial para este uso. También se usan sistemas para inducir turbulencias en el flujo como la continua circulación del agua de lastre entre los tanques.

Por último el sistema antifricción llamado Reamers consiste simplemente en una forma en proa más ancha y reforzada para soportar los golpes del hielo.

4.1.6.2. Sistemas que ayudan a mantener la estabilidad.

Aunque los rompehielos son buques muy estables por las formas que tienen, existe un agente externo que no debe olvidarse al momento de estudiar la estabilidad y la resistencia de las estructuras de cubierta. Este agente es la formación de hielo a bordo, propio del ambiente frío en que estos buques operan y que puede afectar a la estabilidad si no se combate de alguna forma.

Figura 4.12: Hielo formado sobre la cubierta de un buque tanque.
Fuente: Review of American Bureau of Shipping’s Guide for Wessel operating in low temperature environments.

La forma mas eficiente de controlar las cargas extras por formación de hielo es construir las cubierta despejadas con pronunciados ángulos de inclinación desde la

crujía a cada banda y reforzar la resistencia en los materiales en que se construirán. También algunas cubiertas son equipadas con calentadores debajo de la superficie, para así evitar la formación del hielo.

Una solución practica para los casos en que es inevitable que el hielo se forme sobre cubierta es montar obstáculos externos sobre las superficies inclinadas, por ejemplo algunas barras planas para evitar el desprendimiento de alguna capa de hielo; al desprenderse una capa de hielo se puede producir un gran impacto que interfiere con la resistencia del material de la cubierta.

Debe tenerse en cuenta que la tripulación debe tener acceso a estas superficies inclinadas, ya que en algún momento podría ser necesario eliminar alguna de estas capas de hielo.

4.1.6.3. Sistemas de seguridad.

Las vías de incendio también se pueden congelar, por lo que deben ser protegidas con los respectivos calentadores o recubrimientos, al igual que las puertas, escotillas y toda vía de escape que pueda trabarse.

Los botes salvavidas deben ser completamente cerrados, contener ropa adecuada para las condiciones climáticas, tener una maquinaria que sea capaz de arrancar en frío, además de todas las exigencias para buques convencionales y en ningún caso deben ser de caída libre, pues si esta se efectúa sobre una plataforma de hielo derivaría en consecuencias aún peores que el abandono de la nave. Además, para poder tener disponible en cualquier caso los botes salvavidas, se deben mantener protegidos los huinches, bisagras, roldanas, poleas y equipos de levante del frío,

4.1.6.4. Sistemas de navegación.

Además de los sistemas comunes de navegación exigidos por las autoridades respectivas y según el área de operación del buque, a los rompehielos se les exigen los siguientes equipos y sistemas:

- Telefax de recepción de información climática.

- Radar que sea capaz de identificar icebergs.

- Comunicaciones y señalizaciones adecuadas para al frío.

- Alta potencia en las luces de navegación.

- Sistemas de recepción de ruidos en el puente de gobierno para percibir señales o ruidos externos.

4.1.7. Maniobrabilidad.

4.1.7.1. Maniobrabilidad en el hielo.

La maniobrabilidad en un requisito básico para todo tipo de buques, más aún para un buque moviéndose en un medio difícil como lo es el hielo. Una buena maniobrabilidad es una medida importante de la eficiencia del rompehielos y ésta ha sido clave desde que se empezaron a usar en la asistencia de buques mercantes, en su aproximación y navegación en aguas difíciles, para lo cual estos últimos no están especialmente preparados. Un ejemplo de maniobrabilidad es el caso del giro del buque entre los pedazos de hielo fracturado. La fuerza resultante del contacto con el hielo debe ser añadida a las fuerzas actuando sobre el buque durante la maniobra. Otra condición surge cuando el buque navega entre plataformas de hielo. En este caso, la fuerza tiene directa relación con el desplazamiento del hielo. En ambos casos, las fuerzas que actúan en el barco durante las maniobras son aleatorias, por el carácter aleatorio también de los trozos de hielo que el buque puede encontrarse durante su navegación.

Dos maniobras actualmente usadas para estimar la maniobrabilidad en el hielo son el círculo evolutivo y otra llamada maniobra del capitán. El radio del círculo evolutivo, obtenido de la primera maniobra, da una medida directa de la maniobrabilidad del buque. La segunda maniobra entrega el tiempo requerido por el buque en girar 180º dentro del canal abierto entre los hielos por el propio rompehielos.

Como en los buques convencionales, en los rompehielos, los sistemas de propulsión y de timones son un elemento clave en la alteración del curso del barco. A diferencia de los buques convencionales el sistema del timón debe ser altamente efectivo a muy baja velocidad de avance. Esto significa que el timón debe ser ubicado lo más cerca posible del propulsor a fin de reorientar el flujo de agua para una máxima efectividad. Existe una creciente tendencia a usar propulsores azimutales en

rompehielos, que proveen máxima maniobrabilidad aunque a veces se sacrifica algo de eficiencia propulsiva. Otros parámetros que influyen en la maniobrabilidad es el casco en sí, pues como los rompehielos intentan girar sobre el propio canal que han abierto entre los hielos, la eslora es muy importante. Buques con la misión de romper el hielo típicamente tienen relación eslora-manga entre 4 y 5, y generalmente no es deseable un gran porcentaje de cuerpo paralelo. Los reamers de proa mejoran la maniobrabilidad por que crean un canal más ancho que en la popa al girar.

4.1.7.2. Modelos experimentales.

Dos enfoques pueden ser usados para obtener la medida de la maniobrabilidad de un buque usando modelos a escala. En el primer enfoque, se puede obtener los coeficientes de la ecuación lineal de los modos de sway y yaw acoplados y usando esos términos se obtiene el radio de giro del modelo, o bien, obtenerlo directamente de las mediciones del tanque de pruebas. El radio de giro del modelo se puede escalar para obtener el radio de giro del buque.

Edwards expone en su trabajo “Influence of Major Characteristics of Icebreaker Hull on their Powering Requirements and Maneuverability in Ice”, los resultados de un programa experimental para estudiar la maniobrabilidad de los modelos de rompehielos en un nivel determinado de hielo. Este estudio apunta hacia dos métodos distintos; el primero es una correlación entre el radio del círculo evolutivo del modelo y el buque; el segundo, el estudio del efecto del coeficiente de block y la eslora en el radio del círculo evolutivo y en la estabilidad direccional. Los resultados del buque usados en este estudio fueron obtenidos en el invierno de 1973 usando el *CCGS Labrador*, un rompehielos ligero de la guardia costera de Canadá.

Para estimar el radio del círculo evolutivo del barco fue usada una escala de 1/36 en el modelo, y así obtener las derivadas hidrodinámicas en los modos sway-yaw acoplados. Estas derivadas luego son sustituidas en la expresión para el radio del círculo evolutivo obtenido de la teoría lineal de evolución en aguas abiertas:

$$\frac{R}{L} = \frac{Y_v\left(N_r - m \times X_G\right) - N_v\left(Y_r - m\right)}{\left(Y_v \times N - N_v \times Y\right)}$$

Donde:
R = Radio del círculo evolutivo del modelo.

L =Eslora del modelo.
m = Masa del modelo.
$X_G$ = Coordenada longitudinal del centro de gravedad del modelo.
Y = Fuerza en sway.
N = Momento en yaw.
v = Velocidad en sway.
r = Ritmo de oscilación en yaw.

Los subíndices indican una derivada en la variable del subíndice. El radio del círculo evolutivo del modelo debe ser escalado para obtener el radio del círculo del buque.

Dos pruebas diferentes se han usado para determinar los momentos derivados de las pruebas en el modelo. La primera prueba es en una línea recta y la otra es una prueba con un brazo rotatorio. En la prueba de la línea recta el modelo es remolcado a una velocidad constante a lo largo de una línea recta paralela a la línea central del tanque de pruebas con un ángulo de drift aproximado entre -3º y 12º. El remolque del modelo por la línea recta con un ángulo de drift genera una componente de velocidad transversal. La velocidad derivada en sway puede ser obtenida de la relación entre la medida de la fuerza transversal y momento. En la prueba del brazo rotatorio, el modelo es remolcado a lo largo de un segmento de arco de círculo en movimiento puro de yaw. La velocidad derivada en yaw puede ser obtenida de las medidas de fuerza y momento.

Un estudio paramétrico intentó proporcionar una relación entre el radio del circulo evolutivo y los parámetros del barco, para lo que se usaron tres modelos con coeficiente de block distintos. Aunque el número de modelos era limitado, fueron obtenidas algunas tendencias generales, por ejemplo se encontró que un incremento en el coeficiente de block resulta en un incremento en el radio, esto es causado por que para un casco con un alto coeficiente de block la pendiente del casco cerca de la sección media es casi vertical comparado con un casco de menor coeficiente de block. También fue encontrado que un incremento en la eslora del modelo resulta en un incremento del radio. Esto es porque cuando un buque largo participa en una maniobra giratoria existe más superficie de contacto con el hielo que uno más pequeño. También se concluye que el radio de giro aumenta con el espesor del hielo.

Los criterios de estabilidad direccional obtenidos usando una teoría lineal también fueron usados para estudiar la estabilidad direccional del modelo. Usando las

derivadas hidrodinámicas obtenidas de los experimentos, fue calculado el siguiente índice:

$$C = Y_v\left(N_r - m \times X_G\right) - N_v\left(Y_r - m\right)$$

Donde:
C = Índice indicador de la estabilidad direccional.
m = Masa del buque.
$X_G$ = Coordenada longitudinal del centro de gravedad del buque.
Y = Fuerza en sway.
N = Momento en yaw.
v = Velocidad en sway.
r = Ritmo de oscilación en yaw.

El modelo es considerado direccionalmente estable si el índice C es mayor que cero. Por medio de este índice se encontró que los buques con mayor coeficiente de block son más estables direccionalmente que los buques con menor coeficiente de block, y a su vez, los buques largos son más estables que los cortos.

4.1.7.3. Maniobras de prueba.

Las maniobras de prueba en los buques son usadas para medir el radio de giro del buque en el hielo, así como la llamada Maniobra del Capitán es un criterio de la maniobrabilidad de los rompehielos que debe ser conocida por toda la tripulación dedicada a la navegación.

Algunos datos de la maniobrabilidad de los rompehielos hacen alusión a una gran cantidad de datos obtenidos a bordo, los cuales al procesarlos y analizarlos en conjunto pueden resultar en algunas conclusiones generales.

Algunos autores se muestran partidarios por la división de la resistencia al giro en dos componentes: el quiebre del hielo propiamente tal y el desplazamiento del hielo ya fracturado. Se estima que la primera componente contribuye un 75% de la resistencia al giro. Los rompehielos que tienen timones muy poderosos, con alta fuerza de lift, tienen mejores características de evolución que otros, si a esto se suma la forma redondeada de la proa, se obtiene excelente maniobrabilidad. Todas las características puras de

diseño pueden ser mejoradas aún más la maniobrabilidad si se contribuye con escorar en algunos grados la embarcación.

La maniobra del Capitán mide la capacidad del buque de girar en 180º sobre sí mismo, generalmente en un canal abierto entre los hielos. En esta maniobra el barco ejecuta una sucesión de marchas avante y atrás, mientras se altera el avance cambiando continuamente de un rumbo al siguiente. La escora tiene un profundo efecto en el radio de giro de los rompehielos, con una escora inducida el radio de giro se reduce hasta en un 50%.

A través de la investigación de Menon “Investigation of Ship Maneuverability in Ice” en 1991, se introduce el concepto de Índice de Estabilidad. Las pruebas fueron conducidas usando sólo timón, timón y escora inicial, o bien, usando timón y empuje diferencial. El Índice de estabilidad de giro (STPI o $\psi_L$) es una medida de la habilidad para girar el buque, definido como sigue:

$$\psi_L = \frac{360 \times L}{2\pi \times R}$$

Donde:

$\psi_L$ = Índice de Estabilidad de Giro

L = Eslora del buque.

R = Radio de giro del buque.

Un buque que tiene un gran valor del índice $\psi_L$ tiene mejor maniobrabilidad que un buque en que el índice es menor.

4.1.7.4. Modelos matemáticos.

Los modelos disponibles para estimar el radio de giro en forma teórica están basados en una continuación de la maniobrabilidad del buque en aguas abiertas, aunque para romper o fracturar el hielo se hacen presentes fuerzas adicionales que no son consideradas en condiciones operativas normales. Las fuerzas hidrodinámicas son obtenidas de pruebas en agua abiertas, o se asume que son pequeñas comparadas con las fuerzas del hielo, en ese caso se desprecian.

Un modelo empírico fue desarrollado para predecir el radio del círculo evolutivo en un nivel determinado de hielo, donde la fuerza de lift del timón, la fuerza lateral de

deriva, la fuerza centrífuga y la fuerza transversal de la proa fueron estimadas y usadas para predecir el radio del círculo usando métodos iterativos. Se asume como un sistema estable, de este modo, para estimar el radio de giro se considera que las fuerzas que actúan sobre el buque están en equilibrio.

El problema de formular un modelo matemático seguro que describa la maniobrabilidad de un buque basado en las fases mencionadas tiene tres obstáculos: lo aleatorio de las fuerzas que se generan al contacto con el hielo, la dificultad para determinar las fuerzas hidrodinámicas, y la falta de un algoritmo exacto que describa la fractura de los hielos durante la maniobra.

Si el buque está avanzando sobre una plataforma de hielo, las fuerzas del hielo que actúan sobre el barco durante la maniobra de giro son aleatorias. En el primer instante, las fuerzas aleatorias son causadas por el cambio de las propiedades del hielo y el cambio del área de contacto con el casco. En un segundo instante, la fuerza que desplaza al hielo depende del número de piezas y su tamaño, impactando el casco mientras el buque gira. Finalmente, el cambio de área y perfil de la parte del casco en contacto con el hielo durante el giro hace que el mecanismo de quiebre de hielo sea diferente del usado para estimar la fuerza que ejerce el hielo en un buque avanzando sólo en una línea recta entre hielo.

Debido a los problemas mencionados anteriormente con relación al estado de las pruebas de modelos matemáticos y físicos, ha surgido un enfoque diferente: usar la identificación paramétrica. Este método es desarrollado para estimar las fuerzas hidrodinámicas del buque durante la maniobra conocida como Maniobra Zig Zag, usando mediciones obtenidas a bordo del buque durante la maniobra.

## 4.2. PRECAUCIONES DURANTE LA NAVEGACIÓN.

Los buques que operan en las regiones polares están expuestos a circunstancias muy particulares, entre ellas, las malas condiciones climáticas, las condiciones de hielo que varían de una temporada a otra, la dificultad de seguir la ruta establecida y la poca confiabilidad de las cartas náuticas pues los hielos deforman la configuración de la costa. Por estas dificultades es importante tener ciertas precauciones antes y durante la navegación en aguas Antárticas.

### 4.2.1. Precauciones respecto de las máquinas y equipos.

Se prefiere el uso de hélices con palas independientes del núcleo, de manera que sean fácilmente intercambiables si alguna de éstas sufre algún tipo de daño. Si esto no es posible se debe contar a bordo con los planos de varada. La práctica ha demostrado que las hélices de bronce o de fierro no son adecuadas para un buque que navega en la Antártica, ya que al choque con el hielo las palas de bronce se deforman y las de hierro se quiebran, por lo tanto las más adecuadas son las de acero forjado. El timón es igualmente susceptible a las embestidas del hielo, por lo que es muy común entre los buques que no están especialmente reforzados para navegar entre hielos colocar cañas de alambre de acero desde la popa a la parte posterior de la pala del timón, para permitir el gobierno si el mecanismo se daña y evitar la perdida del timón si éste se suelta.

Otra medida muy importante al estibar la carga a bordo es hacerlo de manera que el buque quede ligeramente sentado para asegurar que él o los propulsores y timón queden completamente sumergidos, evitando el contacto con los hielos; si esta condición de carga no es posible se puede usar lastre hasta conseguirla.

Se debe contar siempre con equipo completo de buceo, pues existe la posibilidad de hacer reparaciones externas bajo el agua. Asimismo tener reservas de materiales para estos daños cerca de las zonas vulnerables, a fin de que sean usados rápidamente en caso de avería.

Anteriormente se mencionaba la dificultad por carga extra de hielo que se forma sobre cubierta, producido por las bajas temperaturas del aire y el congelamiento del agua de mar durante ventiscas, nevazones o salpicaduras de olas; para estos casos se debe contar con machos de madera o con cabezas de plástico para quitar el hielo,

operación que debe ser hecha con sumo cuidado pues al raspar el hielo se puede quitar una capa de pintura con el consiguiente peligro de corrosión, sobretodo en las cercanías de los cables y conexiones eléctricas. En lo posible también mantener despejado de nieve los accesos al puente, pasillos y alerones con el fin de evitar resbalamientos, caídas y accidentes.

4.2.2. Precauciones respecto del personal a bordo.

Trabajar en un medio ambiente con bajas condiciones climáticas tiene directas implicaciones en las capacidades físicas, cognitivas y de raciocinio; por este motivo es de vital importancia contar con sistemas de protección para todo el personal, como los siguientes:

- Estaciones de trabajo: Diversos espacios cerrados con calefacción y elementos de seguridad cercanos a los posibles trabajos que se deban realizar. Por ejemplo, estaciones de vigía en proa, popa, alerones y en el púlpito.

- Alimentación: El requerimiento calórico diario para el personal que trabaja en la Antártida oscila entre 5000 a 6000 calorías al aire libre y 4000 calorías en espacios cerrados. La dieta debe contener grasas, vegetales y ciertas vitaminas esenciales para el organismo.

- Protección ocular: La nieve refleja entre un 70% y un 90% de la luz solar especialmente cuando se encuentra a poca altura provocando la llamada ceguera de la nieve, por lo que se debe usar anteojos oscuros.

- Vestimenta adecuada: Debe estar especialmente destinada a conservar el calor orgánico. Se recomienda ropa interior apegada al cuerpo para evitar la pérdida de calor por conducción y la ropa de abrigo amplia para evitar la pérdida de calor por convección, no olvidar que es preferible usar varias prendas delgadas que una sola gruesa. Los buzos de trabajo en cubierta deben ser de color para percibir el calor solar, con una franja blanca en la parte inferior para disminuir el derretimiento de nieve si existe la posibilidad de caminar sobre ella. En general toda la ropa que se use debe ser bien ajustada en puños y tobillos para impedir la entrada de aire frío y no debe dejar piel a la intemperie, no olvidar que en algunas condiciones de viento sumado a las bajas temperaturas bastan menos

de cinco minutos para congelarla y producir diversas lesiones, por último debe proteger de una posible inmersión.

Tabla 4.4. Relación entre la temperatura ambiental y la sensación térmica a diferentes velocidades de viento. Las temperaturas en verde claro representan congelación de la piel después de una hora de exposición, en gris claro la congelación se presenta después de un minuto de exposición y en gris oscuro después de treinta segundos de exposición.
Fuente: Review of American Bureau of Shipping's Guide for Wessel operating in low temperature environments.

| | | **Temperatura del Ambiente (ºC)** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vel. del Viento** | | **4** | **-1** | **-7** | **-12** | **-18** | **-23** | **-29** | **-34** | **-40** |
| **Km/hr** | **Nudos** | **Sensación Térmica Equivalente (ºC)** | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 4 | -1 | -7 | -12 | -18 | -23 | -29 | -34 | -40 |
| 8 | 5 | 3 | -3 | -9 | -14 | -21 | -26 | -32 | -38 | -44 |
| 15 | 10 | -2 | -9 | -16 | -23 | -30 | -35 | -43 | -50 | -57 |
| 24 | 15 | -6 | -13 | -20 | -28 | -36 | -43 | -50 | -58 | -65 |
| 32 | 20 | -8 | -16 | -23 | -32 | -39 | -47 | -55 | -63 | -71 |
| 40 | 25 | -9 | -18 | -26 | -34 | -42 | -51 | -59 | -67 | -76 |
| 48 | 30 | -16 | -19 | -22 | -36 | -44 | -53 | -62 | -70 | -78 |
| 56 | 35 | -11 | -20 | -29 | -37 | -46 | -55 | -63 | -72 | -81 |
| 64 | 40 | -12 | -21 | -29 | -38 | -47 | -56 | -65 | -73 | -82 |

Siempre se debe tener presente la posibilidad de invernar en el hielo, pues los campos de hielo se cierran dejando aprisionado el buque hasta el siguiente verano cuando éste comience nuevamente a derretirse. Por ese motivo se recomienda tener reserva de provisiones a lo menos para 15 meses, además de aparatos de pesca, reserva de vitaminas y sierras para hielo.

### 4.2.3. Precauciones en navegación.

Debido a las condiciones de luz y oscuridad y a las condiciones climáticas es que se opta por la navegación en los meses de primavera y verano, o sea, entre septiembre y marzo. En estos meses la temperatura es menos rigurosa, gran parte de los hielos consolidados durante el último invierno se han desmembrado dejando más espacio a la navegación, y existen más horas de luz. Es una recomendación conocida entre los capitanes de experiencia en la zona el navegar sólo en condiciones de luz, por lo que

en verano se podría navegar casi las 24 horas, mientras que en invierno esto sería prácticamente imposible. Al navegar en las horas de penumbra se debe contar con vigías en las estaciones adecuadas para ello y tener siempre preparados los buscaboyas para así identificar los hielos a la deriva.

La navegación costera en las regiones Antárticas es insegura, dadas las pocas ayudas establecidas para la navegación y las casi nulas características especiales ya que las áreas mostradas en las cartas no dependen solamente de la ubicación y características, sino también de las nieves eternas que cubren muchas de éstas, lo que da por resultado una igualdad de paisaje visible en grandes áreas.

Al operar entre bandejones de hielo hay tener permanentemente las máquinas principales del buque listas para su uso, no olvidar que la maniobra de embestida necesita de todo el poder de las máquinas propulsoras para lograr su fin.

Cuando se navega en aguas peligrosas se sondeará constantemente y el gobierno del buque se hará desde la parte más alta de éste, pues desde aquí los obstáculos pueden ser avistados de mejor manera, y en lo posible con una embarcación menor a proa del buque encargada del sondaje del lugar si este no es muy claro en las cartas náuticas, o el ecosonda no da la suficiente confiabilidad, recordar que este no distingue entre fondo o hielo.

### 4.2.4. Gobierno en presencia de témpanos y campos de hielo.

En general se encuentran aguas abiertas en los meses de verano a lo largo de las costas, donde los vientos prevalecientes son hacia el mar, pues en otras circunstancias es común encontrar señales de bajos y obstrucciones. Por ejemplo una acumulación de témpanos cerca de la costa indica la presencia de un bajo y por lo general el agua cerca de la costa estará obstruida, por el contrario una bahía a cuyos lados se encuentran témpanos, se considera segura para la navegación.

#### 4.2.4.1. Avistamientos.

Cuando se navega en aguas abiertas donde se puede encontrar témpanos se deben extremar las medidas de seguridad. En un día claro los témpanos se pueden avistar a gran distancia, mientras que en un día brumoso esta distancia se acortará a medio cable aproximadamente. Cuando existe densa neblina los témpanos aparecen

como una sombra oscura con una línea negra en la línea de agua, si el sol alumbra entre la neblina se observan como un cuerpo blanco luminoso.

Existe también el concepto de “resplandor de hielo” que es un reflejo de color amarillo blanquizco en el lado inferior de las nubes grandes y bajas y se origina por la luz que se refleja en las superficies cubiertas por hielo, este resplandor se puede observar y sirve para determinar la presencia de hielo más allá del horizonte o en su cercanía. En general la luz reflejada por los hielos aparece como un parche blanco sobre las nubes o como fajas brillantes y titilantes sobre el horizonte, sobre todo en los días despejados.

En noches claras los témpanos pueden ser vistos a una distancia de 2 millas. Cuando se tiene la luna por proa, esta encandila y no deja ver los témpanos; por el contario si se presenta por popa, el reflejo levanta los témpanos y los hace visibles desde grandes distancias. En noches nubladas el avistamiento se hace difícil, en presencia de nubes cirrus y cúmulos-nimbus los témpanos aparecen destellando en el horizonte y en las noches de calma se pueden identificar por el ruido que hacen al romperse o por los trozos que caen al mar, aunque hay que estar bastante cerca para escucharlos.

Por el contrario si se navega en un campo de hielo y se avistan manchas obscuras sobre nubes bajas es por que bajo ellas hay extensiones de aguas abiertas, fenómeno conocido como “cielo de agua” y depende de la mayor absorción de la luz solar por el agua que por el hielo o nieve. De la misma forma se pueden observar estas manchas obscuras sobre la neblina, pero no son visibles desde grandes distancias como sobre las nubes. Si al aproximarse al hielo hay obscuridad en el horizonte más lejano que el cielo claro, es por que existen aguas abiertas; si sólo se observan rayas obscuras y delgadas es por que existen vías de agua o canales.

4.2.4.2. Condiciones climáticas.

Las mejores condiciones para navegar en el hielo son los días con horizonte y atmósfera claros, pero con el cielo cubierto por una capa pareja de nubes. Con un cielo sin nubes puede haber una refracción anormal, la que eleva el horizonte y hace ver el campo de hielos a mayor distancia de lo que normalmente está.

El tiempo y las condiciones de mar sobre los campos de hielos son variables. Buen tiempo en el campo de hielo pronostica bajas temperaturas, masas de hielo compactas y poco abiertas; en cambio los días húmedos y brumosos indican la presencia de aguas abiertas y buenas condiciones de navegación, en sacrificio de la visibilidad. Cuando se obscurece demasiado mientras el buque se esta abriendo camino a través de masas compactas de hielo se debe virar o fondear un ancla de hielo, de lo contrario se puede penetrar en hielos gruesos de los cuales será difícil salir cuando aumente la visibilidad. La maniobra de fondeo de un ancla de hielo es válida ante cualquier situación de duda o riesgo.

4.2.4.3. Ingreso y evolución en el hielo.

Cuando un buque encuentre hielos en su ruta puede optar entre penetrar en el hielo o navegar alrededor de él, considerando la dirección y fuerza del viento y de la corriente. Si se divisa los límites de este campo de hielo lo mejor es rodearlo por barlovento, es más conveniente ocupar la ruta más larga alrededor de los hielos en cuanto a economía de combustible, de tiempo y por supuesto respecto de la seguridad de la nave.

La forma en que se intente pasar a través de un campo de hielo depende de diversos factores como el tipo de buque y su capacidad evolutiva, la composición del campo de hielo, el clima, la proximidad y ubicación de la costa respecto de la posición del buque.

Al embestir un campo de hielo se debe seleccionar cuidadosamente el punto de entrada, haciendo un reconocimiento del área en lo posible con naves aéreas y usando el radar, colocar un oficial con experiencia en este tipo de navegación en la proa, y ubicar el punto por donde se quiera salir a aguas libres. Otras consideraciones importantes son:

- Observar la consistencia, espesor y consolidación del hielo a lo largo del rumbo propuesto.

- No se debe entrar en un campo de hielos cuando este tenga montículos o promontorios, pues se trata de hielo presión, que podría ejercer fuerzas peligrosas sobre el casco del buque.

- En lo posible entrar al campo de hielo a favor del viento, pues el borde de barlovento es más uniforme que el de sotavento, además se evita el choque con los trozos que se desprenden.

- Tomar en cuenta la hora del reflujo de la marea pues el hielo se hace compacto en la hora de flujo, pero empieza romperse con el reflujo.

- Cuando el campo de hielo tenga ensenadas, entrar por éstas ya que ahí el oleaje será menor que en las lenguas de hielo.

- Entrar con la menor velocidad posible para reducir a fuerza del impacto inicial en la roda, pero sin perder la capacidad de gobierno. Una vez que la proa ya está en el hielo debe aumentarse paulatinamente el poder para no perder la viada y así avanzar en el hielo.

- Entrar en el campo de hielo con la proa perpendicular al borde de éste, se evitan posibles daños del timón y del propulsor por un posible giro de la popa hacia los hielos.

Una vez que el buque ya se encuentra en el campo de hielo es importante siempre mantenerse en movimiento para evitar el aprisionamiento, vigilar el propulsor y el timón, y preferir los canales o pasos. No olvidar que al navegar entre hielos las condiciones de maniobrabilidad se ven afectadas por la reducción de velocidad. Otra ventaja de navegar a cierta velocidad es que se evita que los trozos de hielo lleguen a la hélice, ya que ellos siguen la onda que deja el buque al avanzar. Una buena opción es establecer vigías al propulsor con comunicación al puente en los pasos más críticos.

La velocidad que debe llevar la nave depende de dos factores: el área de aguas libres, y la posible fuerza de impacto con el hielo sin dañar el buque. En cualquier caso conviene mantenerla entre 2 a 5 nudos, que es la velocidad suficiente para maniobrar, pero siempre atento a las ordenes de detención.

La marcha atrás en los rompehielos y en general en los buques que pueden navegar entre hielos es muy complicada ya que en este caso es muy vulnerable el sistema propulsor y timón. Se debe poner el timón al medio y mantener vigilancia, dejar que los hielos se alejen de la hélice y en ese momento dar marcha atrás hasta entrar en contacto con el hielo y detener la máquina, el buque chocará sólo son la viada y al salir

los hielos a flote dar marcha avante y parar. De esta forma se protege la popa del contacto directo. Los rompehielos están capacitados para invertir la marcha directamente sin peligro de fuerzas torsionales excesivas en el eje. Hay que tener en cuenta que en el campo de hielo el buque responde muy poco al timón, siendo mayor el poder de las máquinas.

4.2.4.4. Fondeo.

Si se hace necesario fondear en alguna bahía o tenedero donde existan hielos a la deriva, se deben tener siempre las máquinas y cabrestantes listos para cambiar de fondeadero, escogiendo uno abrigado del mar, con la calidad de fondo apropiada y espacio suficiente para el borneo. Generalmente los vientos desde tierra generan un canal entre la costa y los campos de hielos, canal que frecuentemente es usado para fondear y también navegar a través de él, pero se debe tener cuidado con el cambio repentino en la dirección del viento, pudiendo éste arrastrar los hielos hacia la costa. En tal caso se debe buscar abrigo detrás de una isla o detrás de un bandejón y navegar con él. En general no se deben esquivar los témpanos maniobrando sobre cadena al estar fondeado, pues en la Antártica los tenederos no son de buena calidad, y se corre el riesgo de perder el ancla. Igualmente se elegirá el sitio menos profundo, así los grandes témpanos vararán antes de aproximarse demasiado al buque.

Un buen sitio para fondear es por ejemplo en un canal con la profundidad adecuada que se genere entre una bahía y una isla y que no cuente con ventisqueros, en este lugar los témpanos arrastrados por los vientos precedentes del mar quedarán por la orilla exterior de la isla.

4.2.4.5. Estiba.

En cuanto a las condiciones de trimado, un buque encabuzado es muy difícil de gobernar, mientras que uno sentado ofrece protección al propulsor y timones, pero disminuye sus capacidades evolutivas.

4.2.5. Cuidado y uso de los instrumentos de navegación.

Los buques que operen en aguas polares deben usar cartas Mercator trazadas para altas latitudes, pues estas toman precauciones ante la deformación en los polos. Al

navegar entre hielos es necesario tomar situaciones astronómicas o terrestres lo más frecuentemente posible, a fin de verificar el rumbo.

Durante el verano en las regiones polares las horas de luz solar son mucho mayores que la oscuridad, por lo que el número de situaciones astronómicas es limitada, entonces tomarlas por el sol suele ser el mejor medio para determinar la posición del buque. Por la constante presencia de neblina esto se hace muy difícil y no debe perderse ninguna ocasión de hacerlo cuando las condiciones lo hagan posible.

La presencia de grandes extensiones de campos de hielo dificulta la identificación del horizonte para las observaciones. De igual forma se puede usar un horizonte cubierto de hielo, sólo se le debe restar la altura del hielo sobre el agua a la altura verdadera del ojo.

En general se deben evitar las observaciones de astros con altura menor de 15º, debido a las variaciones en refracción, aunque en las regiones polares el único astro aprovechable puede no exceder los 10º de altura durante varias semanas.

4.2.5.1. Compás magnético.

Debe ser compensado para altas latitudes, en lo posible justo antes de entrar en la zona de hielos. Este puede ser muy impreciso a medida que el buque se acerque a los polos magnéticos de la tierra, pues la fuerza directriz del compás magnético está derivada de la componente horizontal del campo magnético terrestre, componente que disminuye en las cercanías del polo magnético. Por esta razón en las altas latitudes el compás magnético se vuelve lento y puede presentar grandes errores con la escora del buque.

4.2.5.2. Girocompás.

Los errores del girocompás aumentan y son variables más allá de los 70º de latitud, aunque su funcionamiento es confiable hasta los 78,5º. Los desvíos igualmente se estudiarán en la tabla de desvíos particular para cada buque y se debe poner atención al compás magnético en caso que el girocompás falle.

4.2.5.3. Radar.

El hielo no tiene las propiedades reflectantes de microondas que tienen los metales, por lo tanto es un mal reflector de ondas de radar. Una buena detención del hielo con el radar depende de los siguientes factores:

- Las condiciones del equipo: Además de las condiciones de la consola se debe cuidar del estado de la antena; no olvidar que se puede acumular nieve o hielo en ella e impedir su libre funcionamiento.

- El estado del mar: A medida que el estado empeora también disminuye el tamaño de los témpanos detectables y sólo con el mar en calma el radar puede identificar témpanos pequeños.

- Condiciones del tiempo: En los radares de banda S y X el eco de lluvia suele obscurecer el retorno de los hielos.

- Habilidad del operador: La operación del radar difiere hasta en un 33% según la habilidad del operador. La mezcla del retorno de mar y eco de los trozos de hielo es uno de los mayores problemas en la detección, en condiciones de mar moderado los hielos aparecen aproximadamente en la misma posición cada vez, mientras que el retorno de mar no aparece en la misma posición relativa y no son tan fuertes como los reflejados por el hielo. Sin embargo los hielos de menos de un pie de altura sobre la superficie del mar no son detectados por el radar.

Bajo ninguna circunstancia se tomará la información del radar como la única información segura, pues en algunos casos éste no acusa la presencia de témpanos de dimensiones suficientemente grandes como para hacer peligrar al buque. Deben tomarse las medidas de seguridad reglamentarias para la buena navegación, ya que el radar es sólo una ayuda, que usada adecuadamente puede ser de gran utilidad.

4.2.5.4. Ecosonda.

El uso del ecosonda es de gran importancia para la navegación en aguas Antárticas, éste debe estar perfectamente calibrado y con repuestos necesarios en caso de falla. Es ideal contar también con equipos portátiles para manejar en las embarcaciones de exploración.

## 4.3. EQUIPOS DE COMUNICACIÓN.

Dos años después del hundimiento del Titanic, ocurrido el 14 de abril de 1912, se establecería el primer Convenio Sobre la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, SOLAS. Para evitar que tragedias como estas se repitan, el convenio estableció, entre muchas otras medidas de seguridad, ciertas disposiciones relacionadas con las comunicaciones radiotelegráficas. Dichas disposiciones eran completamente inútiles si la llamada de auxilio era realizada a más de 50 millas de una estación costera o de otro buque, pues estaban limitadas sólo al alcance de las antenas del propio buque. A través de los años, el SOLAS a sufrido distintas enmiendas, hasta que en el año 1988 da origen al Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSSM).

### 4.3.1. Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.

El SMSSM es un conjunto de equipos, procedimientos y protocolos de comunicación diseñados para aumentar la seguridad y facilitar la navegación y el auxilio a las naves siniestradas. El concepto básico del SMSSM es asegurar la alerta de socorro desde al barco a una estación costera, aunque también es posible la transmisión de radio avisos náuticos, información meteorológica, información de seguridad marítima y de búsqueda y salvamento. Es aplicable a todos los buques desde 300 TRG en viaje internacional y a los buques de pasaje, no importando su tamaño y en viaje internacional. A continuación se describen los equipos que forman parte del SMSSM.

#### 4.3.1.1. Radiobaliza de localización de siniestros (Emergency Position Indicating Radio Beacon, EPIRB).

Es una baliza diseñada para transmitir a un centro de coordinación de rescate la identificación y posición exacta de un buque en cualquier lugar del mundo. Pueden ser activadas manualmente o al entrar en contacto con el agua, las frecuencias usadas son 121,5 MHz y 406 MHz, siendo las radiobalizas que operan en esta última frecuencia más sofisticadas pues incluyen códigos de identificación de la nave.

Las balizas son rastreadas por medio del sistema INMARSAT, o también por medio del sistema COSPAS-SARSAT. Este último sistema está formado por una red de satélites de onda polar baja, entre 800 y 1.000 km de altitud y nace de la unión de SARSAT (Search and Rescue Satellite Aided Tracking) y la red homóloga rusa

COSPAS (Cosmicheskaya Systyema Poiska Avariybych Sudov). Actualmente el sistema INMARSAT está formado por Estados Unidos, Canadá, Francia y Rusia, además de 8 países usuarios y 2 organizaciones participantes, entre ellas la IMO.

4.3.1.2. Respondedor de radar (Search and Rescue Transponder, SART).

Se utilizan para localizar botes de recate o balsas salvavidas. Se debe contar con dos, uno en cada banda, para buques de más de 500 TRG. Para buques entre 300 y 500 TRG sólo es obligación contar con uno.

4.3.1.3. NAVTEX.

Es un servicio internacional de telegrafía de impresión directa para la difusión de avisos náuticos, boletines meteorológicos y de información urgente de seguridad marítima. Este sistema usa la frecuencia 518 KHz en todo el mundo para la transmisión de mensajes en inglés, la frecuencia 490 KHz en idioma local y en frecuencia 4.209,5 KHz para países de las zonas tropicales. El equipo receptor debe ser previamente programado para el área, llamada NAVAREA, de la cual se quiere recibir los mensajes, por ejemplo la costa de Chile corresponde a la NAVAREA XV.

Los mensajes recibidos por NAVTEX tienen un código técnico B1, B2, B3 o B4 que aparece al inicio de cada uno y que indica la naturaleza de éste.

- El carácter B1 es una letra que identifica la estación trasmisora.

- El carácter B2 identifica el tipo de información del mensaje.

- Los caracteres B3 y B4 permiten enumerar los tipos de mensajes desde el 1 al 99 de acuerdo al asunto o carácter B2.

Tabla 4.5: Identificación del carácter B2 NAVTEX.
Fuente: Manual del Operador General del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.

| Carácter Mensaje | Asunto del Mensaje |
|---|---|
| A | Radioavisos Náuticos |
| B | Avisos Meteorológicos Urgentes |
| C | Reportes de Hielos |
| D | Información sobre Búsqueda y Salvamento |
| E | Pronósticos Meteorológicos |
| F | Mensajes sobre Pilotaje |
| G | Mensajes DECCA |
| H | Mensajes LORAN |
| I | Mensajes OMEGA |
| J | Mensajes SATNAV, o navegador diferencial |
| K | Mensajes sobre otras ayudas radioeléctricas a la navegación |
| L | Radioavisos náuticos , complementario del carácter A |
| V, W, X, Y | No atribuidos, pueden ser asignados en el Panel NAVTEX |
| Z | Ningún mensaje que transmitir |

4.3.1.4. INMARSAT (International Maritime Satellite Organization).

Es una red de satélites operados bajo la supervisión de la OMI y proporciona comunicación de voz o fax entre buques o entre buques y tierra, avisos de alerta, noticias y transferencia de datos a los centros de coordinación de rescate.

Esta red de consta de dos tipos de satélites: los Geoestacionarios y los de órbita polar.

- Satélites Geoestacionarios: giran a la misma velocidad de la Tierra, a una altura de 34.000 km y cubren distintas áreas hasta los 70º de latitud en ambos hemisferios. Estos son AOR-E sobre el Atlántico E, POR sobre el Pacífico, IOR sobre el Indico y AOR-W sobre el Atlántico W.

- Satélites de órbita polar: cubren desde los 70º hasta los 90º de latitud, más la cobertura de INMARSAT.

4.3.1.5. VHF Radiotelefónico y Controlador de LSD.

Este aparato permite la comunicación con otro homólogo hasta unas 30 millas, pero en LSD tiene un alcance de hasta 60 millas. Debe tener ciertas características como la rapidez en el cambio de canales, indicación del canal en que se opera, control manual de volumen y ruidos externos, no debe efectuar transmisiones mientras se cambia de canal, etc. Todas estas medidas están orientadas a conducir al orden y clara recepción de las transmisiones.

Tabla 4.6: Canales obligatorios mínimos del equipo de ondas métricas (VHF).
Fuente: Manual del Operador General del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.

| Canal | Frecuencia | Uso |
|---|---|---|
| 70 | 156,525 MHz | LSD con dedicación para la continua escucha |
| 06 | 156,300 MHz | Enlace radiotelefónico radio-avión en operaciones de búsqueda y salvamento |
| 13 | 156,650 MHz | Enlace radiotelefónico para comunicaciones de seguridad entre puente y puente. |
| 16 | 156,800 MHz | Socorro y seguridad en radiotelefonía. |

4.3.1.6. Equipo Portátil Bidireccional de ondas métricas para dispositivos de salvamento.

De uso obligatorio para balsas y dispositivos de salvamento. Estos equipos deben tener como mínimo 2 canales de comunicación entre barcos, el canal 6 y el 16. Debe tener 2 baterías, una convencional y una recargable que deben proporcional 8 hr de operación cada una. Como es un instrumento orientado a cubrir emergencias debe tener claras explicaciones para ser operado por personas sin instrucción, debe ser de pequeñas dimensiones y soportar caídas e inmersiones.

4.3.2. Equipos mínimos exigidos según la nave.

El capitulo IV del SOLAS enumera los distintos equipos con que debe contar cada embarcación según la zona marítima en que opere. Estas zonas se diferencian por el alcance de ondas de radio y la cobertura de los satélites INMARSAT.

4.3.2.1. Zona o Área 1.

Zona comprendida en el ámbito de cobertura radiotelefónica de una estación costera de ondas métricas (VHF), esto es, alrededor de 30 a 40 millas de la costa. Los equipos con que debe contar una embarcación que opera en esta zona son los siguientes:

- Equipo VHF para transmisión y recepción de telefonía con escucha permanente de llamadas de socorro en canal 16 (156,8 MHz).

- Receptor de LSD en VHF, con escucha permanente de avisos de socorro en canal 70 (156.525 MHz).

- Equipo de recepción de emergencia en frecuencia 2.182 KHz.

- NAVTEX, recepción en frecuencia 518 KHz.

- Radiobalizas de localización de siniestros.

- Equipo VHF portátil para embarcaciones salvavidas. Para naves entre 300 y 500 TRG se exigen 2, para naves de más de 500 TRG se exigen 3.

- Respondedor de Radar. Para naves entre 300 y 500 TRG se exige 1, para naves de más de 500 TRG se exigen 2.

4.3.2.2. Zona o Área 2.

Zona de la que se excluye la zona A1, comprendida en el ámbito de cobertura radiotelefónica de una estación costera de ondas hectométricas (MF), esto es, aproximadamente hasta 150 millas de la costa. Una nave que opera en esta zona debe contar con los equipos exigidos para la zona A1, más los siguientes:

- Equipo MF para transmisión y recepción de telefonía con escucha permanente de llamados de socorro en frecuencia 2.182 KHz.

- Receptor de LSD en MF, con escucha permanente de avisos de socorro en frecuencia 2.187,5 KHz.

4.3.2.3. Zona o Área A3.

Zona de la que se excluye las zonas A1 y A2, comprendida en el ámbito de cobertura de un satélite geoestacionario de INMARSAT. Una nave que opera en esta zona debe contar con los equipos exigidos para las zonas A1 y A2, más los siguientes:

- Inmarsat A o C, para alertas telefónicas o fax.

- Equipos de Llamada intensificada de grupo.

4.3.2.4. Zona o Área A4.

Cualquiera de las demás zonas que queden fuera de las zonas A1, A2 y A3. Una nave que opera en esta zona debe contar con los equipos exigidos para las zonas A1, A2 y A3, más los siguientes:

- Equipo MF/HF para transmisión y recepción de telefonía y telex.

- Receptor de LSD en MF/HF.

- Radiobaliza COSPAS SARSAT

4.3.3. Apoyo de la Armada de Chile en siniestros en la Antártica.

Gracias a la efectiva operación de las patrullas Antárticas es que la Armada de Chile ha participado en diversos rescates durante su presencia en este territorio. Con la entrada en vigencia del SMSSM estos rescates han podido desarrollarse en forma mucho más óptima y expedita. A continuación se exponen cronológicamente los casos emblemáticos en que esta institución ha participado.

- Rescate de los sobrevivientes del *HMS Endurance*, desde la Isla Elefante el 30 de agosto de 1916 a bordo de la Escampavía *Yelcho* al mando del Comandante Luis Pardo Villalón.

- Rescate de pasajeros y acciones de prevención de contaminación en las varadas del *Lindblad Explorer*, el 11 de febrero de 1972 en Bahía Almirantazgo y el 24 de diciembre de 1979 en la costa N de la Isla Wiencke.

- Rescate de la tripulación en el hundimiento del *ARA Bahía Paraíso*, el 28 de enero 1989, en Puerto Arturo.

- Rescate del buque científico peruano *BIC Humboldt*, varado en Caleta Marian el 26 febrero de 1989.

- Varada de la M/N *Capitán Luis Alcázar*, frente a Fort Williams el 21de enero de 1992.

- Rescate de pasajeros en la varada del *Patriarche* en el Estrecho Inglés el 25 de enero del 2001.

- Varada de la M/N *Boye* en Caleta Ardley el 15 de diciembre del 2001.

- Rescate de pasajeros en la varada del *Clipper Adventure* en Isla Decepción el 22 de noviembre del 2002.

- Rescate de pasajeros en la varada del Yate *Darwin Passage* en Bahía Chile el 22 de febrero del 2005.

- Rescate de pasajeros en la varada del *Chinook* en Caleta Potter el 28 de abril del 2006.

- Rescate de pasajeros en la varada del *Lyubov Orlova* en Isla Decepción el 15 de noviembre del 2006.

- Rescate de pasajeros en la varada del *Nordkapp* en Isla Decepción el 31 de enero del 2007.

- Rescate de pasajeros en el hundimiento del *Explorer* en el Estrecho de Bransfield el 23 de noviembre del 2007.

- Asistencia en el rescate de pasajeros en la varada del *Ocean Nova* en la entrada de Bahía Wilhelmina en diciembre del 2008.

- Rescate de la tripulación del yate *Thais Morgane Vm Materiaux* que volcó el 5 de enero del 2009 a 240 millas al SW de Punta Arenas mientras participaba en la regata internacional Vendée Globe.

## 4.4. EL CASO EXPLORER.

Sin duda el naufragio de esta embarcación puso entre los temas de contingencia los peligros durante la navegación entre hielos. El *Explorer* se hundió el 23 de noviembre del 2007 producto de una avería provocada por el choque con un témpano de hielo no avistado.

### 4.4.1. Características de la nave.

El *Explorer* es un Ferry Crucero de bandera Liberiana. Fue botado el 14 de diciembre de 1969 en Finlandia y fue el primer crucero diseñado expresamente para navegar en este tipo de aguas. Hasta 1985 la nave era conocida como *Society Explorer*, luego pasó a llamarse *Lindblad Explorer* hasta 1989 donde se bautizó con el nombre que llevaba hasta el momento de su naufragio; tras cambiar varias veces de dueño, el 2004 fue adquirida por la empresa de viajes G.A.P. Adventures.

Tabla 4.7: Características principales del Explorer.
Fuente: Sitio Web Directemar.

| | | |
|---|---|---|
| Eslora Total | 72,9 | m |
| Eslora pp. | 64,9 | m |
| Manga | 14,0 | m |
| Calado | 4,2 | m |
| Desplazamiento | 2400 | ton |
| Peso Muerto | 559 | ton |
| Señal de Llamada | ELJD8 | - |
| Nº IMO | 6924959 | - |

### 4.4.2. Cronología del hundimiento.

- 00:34. El Centro de Telecomunicaciones Marítimas de Valparaíso recibe una señal de emergencia desde el *Explorer*. Esta señal informaba inundación producto de una colisión con un iceberg a 44 millas al SE de la Isla Rey Jorge. En ese momento se activa el Servicio de Búsqueda y Salvamento de la Armada de Chile (Maritime Rescue Coordination Centre, MRCC) para ir en ayuda de la nave y su tripulación.

- 01:10. La nave siniestrada informa a la MRCC Chile que sufre riesgo de hundimiento y que requiere asistencia inmediata, por lo que éste servicio avisa a las naves en las cercanías dirigirse al área para prestar ayuda en el salvamento, estas naves eran el *Nordnorge* de bandera noruega, el *Ary Rongel* de la Armada de Brasil, el *National Geographic Endeavour*, bandera de Bahamas y el Rompehielos *Viel Toro* de la Armada de Chile.

- 03:15. La MRCC Chile toma contacto telefónico con la nave *Nordnorge*, pues era la mas próxima al área y se designa a su Capitán como Coordinador en el Lugar del Siniestro. Luego de reiteradas comunicaciones el Capitán del *Nordnorge* indica que los 154 pasajeros del *Explorer* habían hecho abandono de la nave en 8 botes y 6 balsas salvavidas.

- 06:25. El *Nordnorge* inicia el rescate de los pasajeros, finalizando a las 08:45.

- 18:25. Desembarco de los pasajeros en las Base Chilena Presidente Frei y en la Uruguaya Artigas, ambas ubicadas en Bahía Fildes, donde posteriormente fueron derivados a Punta Arenas mediante aviones de la Fuerza Aérea.

- 21:30: Hundimiento del *Explorer* en 1.300 m de profundidad, en latitud 62º 24’ S y longitud 057º 15’ W con cerca de 183 $m^3$ de diesel y 24 $m^3$ de lubricante. El Rompehielos *Viel Toro* trabajó hasta el día 29 de noviembre del mismo año en la tarea de dispersión mecánica de contaminación producida por hidrocarburos, pues la profundidad del hundimiento y las constantes marejadas no permitieron la contención por medio de barreras; en esta fecha fue relevado por el *ARA Suboficial Castillo*, de la Armada Argentina, de acuerdo a los términos establecidos por la Patrulla Antártica Naval Combinada (Chile y el vecino país).

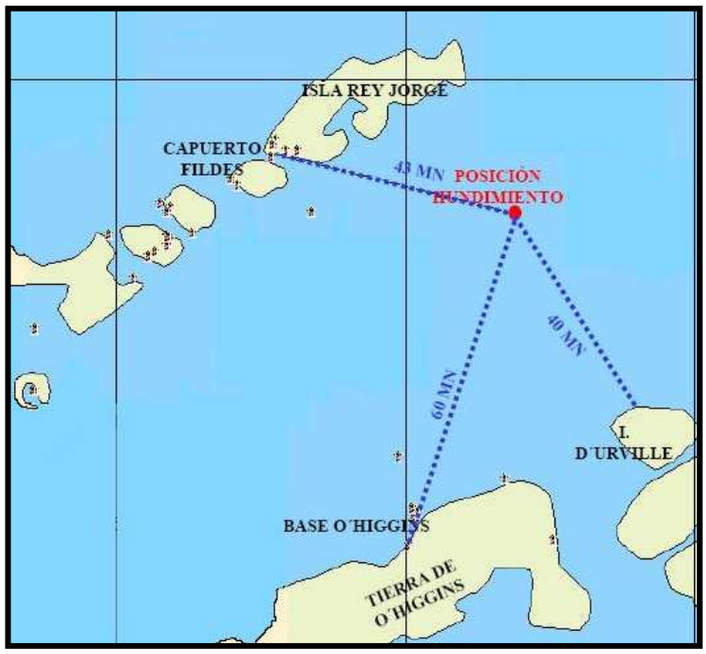



Figura nº 4.13: Esquema del lugar del Hundimiento del *Explorer*.

Cabe destacar que durante este accidente no se tuvo que lamentar la pérdida de ninguna vida, gracias al pronto actuar de la Armada Nacional y a la organización eficiente del Servicio de Búsqueda y Rescate Marítimo. Otro antecedente importante es que el accidente ocurrió a menos de 150 millas de la costa, por lo que la nave, al momento del accidente se encontraba en escucha radiotelefónica VHF con las bases Antárticas Presidente Frei y O'Higgins, además de encontrarse en alcance radiotelegráfico de INMARSAT, hechos que contribuyeron al pronto rescate de los náufragos.

Accidentes como el descrito ratifican la importancia de la creación de la Patrulla Antártica Naval (PAN Chile), el 25 de Septiembre de 1992, y de la Patrulla Antártica Naval Combinada (PANC) con la República Argentina a principios de 1998, ambas reconocidas internacionalmente por la eficacia en las tareas de búsqueda, salvamento y control de la contaminación.

**CAPITULO V:**
**PLAN DE VIAJE Y NAVEGACIÓN EN AGUAS ANTÁRTICAS**.

En este último capítulo se simulará una navegación a bordo de un rompehielos por las principales rutas y pasos de la Península Antártica. Estas rutas son frecuentadas por buques de turismo, de investigación científica, o de la Armada para el transporte de personal o suministros a las bases Antárticas.

El recorrido empieza en Punta Arenas, puerto base para cualquier empresa Antártica y finaliza en Bahía Neny, uno de los puntos más australes cartografiados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de Chile. Se presenta una guía con precauciones e instrucciones para la navegación, tanto para canales como para la navegación de altura, junto con la carta náutica correspondiente donde se indica la derrota a seguir. Se entrega también una planificaron del viaje con las horas de zarpe y recalada a cada punto con sus respectivos cálculos de sonda al fondeo, cálculos astronómicos de posición en alta mar, y los correspondientes diagramas de luz y oscuridad.

## 5.1. ANTES DE ZARPAR.

Antes del zarpe se debe hacer una exhaustiva preparación de la travesía, desde el conocimiento adecuado de la nave por parte de todo el personal hasta el estudio de la zona a navegar. Una adecuada preparación incluye los siguientes puntos:

- Seleccionar las cartas y publicaciones náuticas necesarias.

- Chequear que todas las cartas y publicaciones, como Derroteros y Listas de Faros, hayan sido actualizadas a la fecha de zarpe.

- Chequear que todos los avisos a los navegantes transmitidos por radio sean recibidos.

- Conocer el calado del buque, en cada condición de carga.

- Consultar las Tablas de Mareas para obtener sus alturas, direcciones y velocidades.

- Estudiar la información climatológica para conocer de la mejor manera las características del área a navegar.

- Estudiar las ayudas a la navegación puestas en las cartas y las características de la costa para posteriormente verificar la posición del buque

- Tener en cuenta las distintas Listas de Chequeo necesarias para cada situación que pueda presentarse durante la travesía, en el Anexo III se presentan algunas de ellas.

### 5.1.1. Conocimiento de la nave.

La navegación proyectada se hará a bordo de un buque rompehielos, tomándose como ejemplo un buque con experiencia en la navegación Antártica: el rompehielos de la Armada de Chile *Contraalmirante Oscar Viel Toro*.

Figura 5.1: Rompehielos *Contraalmirante Oscar Viel Toro* navegando entre hielos.
Fuente: Sitio Web de la Armada de Chile.

El rompehielos *Contraalmirante Oscar Viel Toro* fue construido en 1969 en Montreal, Canadá, para la marina de ese país bajo el nombre de *Norman McLeod Rogers*. En 1994 fue incorporado a la Armada de Chile y anualmente realiza las campañas Antárticas para el abastecimiento de las bases nacionales, el traslado de personal y patrullaje de seguridad en la zona, pues cuenta con hangar para dos helicópteros y tres tipos de embarcaciones de rescate. A continuación se presentan sus características principales.

Tabla 5.1: Características principales del rompehielos *Contraalmirante Oscar Viel Toro.*
Fuente: Sitio Web de la Armada de Chile.

| | | |
|---|---|---|
| Eslora | 89,91 | m |
| Manga | 19,05 | m |
| Calado | 6,06 | m |
| Puntal | 7,92 | m |
| Desplazamiento | 6.500 | ton |
| Propulsión. | 15.525 | hp |
| Velocidad máx. | 15,4 | nudos |
| Altura Puente | | m |

### 5.1.2. Plan de viaje.

El plan de viaje es una herramienta importante dentro de la navegación pues permite predecir la posición aproximada del buque a cierto intervalo de tiempo. La información que entrega el plan de viaje puede variar a cada minuto dependiendo de múltiples factores como la velocidad de la nave, la velocidad de las mareas, o alguna emergencia que no nos permita cumplir con el horario estimado.

El cálculo de esta herramienta es muy sencillo pues basta con tener la distancia a recorrer, obtenida de las cartas náuticas, y la velocidad promedio que se espera en el tramo. Luego con una fórmula básica se calcula al tiempo estimado en recorrer ese tramo para obtener las horas de zarpe y recalada. A continuación se expone el plan de viaje para ésta travesía, las distancias fueron calculadas en cartas de libre uso descargadas de Internet.

Las velocidades estimadas para cada tramo son las recomendadas, por la literatura, según las condiciones de hielo predominantes en cada zona y según la capacidad del rompehielos.

Tabla 5.2: Plan de viaje de la travesía Antártica, partiendo desde Punta Arenas a Bahía Neny y regreso. Se señalan los ETD (Estimation Time of Departure) y los ETA (Estimation Time of Arrival) correspondiente a cada punto.

| Tramo | | Dist. | Vel. | Tiempo | ETD | | ETA | | Horas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Desde | Hasta | M.N. | Nudos | Hrs. nav. | Día | Hora | Día | Hora | Puerto |
| Punta Arenas | Seno Magdalena | 44,00 | 15 | 2,93 | 13.01.07 | 09:51 | 13.01.07 | 12:46 | 00:00 |
| Seno Magdalena | Canal O'Brien | 143,50 | 15 | 9,57 | 13.01.07 | 12:46 | 13.01.07 | 22:19 | 00:00 |
| Canal O'Brien | Canal Beagle | 54,50 | 15 | 3,63 | 13.01.07 | 22:19 | 14.01.07 | 01:57 | 00:00 |
| Canal Beagle | Isla Lennox | 118,20 | 15 | 7,88 | 14.01.07 | 01:57 | 14.01.07 | 09:38 | 00:00 |
| Isla Lennox | Islas Piloto Pardo | 476,00 | 15 | 31,73 | 14.01.07 | 09:38 | 15.01.07 | 17:21 | 00:00 |
| Islas Piloto Pardo | Bahía Fildes | 81,30 | 10 | 8,13 | 15.01.07 | 17:21 | 16.01.07 | 01:28 | 19:30 |
| Bahía Fildes | Bahía Chile | 43,20 | 10 | 4,32 | 16.01.07 | 21:00 | 17.01.07 | 01:19 | 17:40 |
| Bahía Chile | Estrecho Gerlache | 106,80 | 10 | 10,68 | 17.01.07 | 19:00 | 18.01.07 | 05:40 | 00:00 |
| Estrecho Gerlache | Puerto Lockroy | 119,30 | 10 | 11,93 | 18.01.07 | 05:40 | 18.01.07 | 17:35 | 18:24 |
| Puerto Lockroy | Estrecho Bismarck | 22,10 | 10 | 2,21 | 19.01.07 | 12:00 | 19.01.07 | 14:12 | 00:00 |
| Estrecho Bismarck | Estrecho Matha | 156,00 | 8 | 19,50 | 19.01.07 | 14:12 | 20.01.07 | 09:42 | 00:00 |
| Estrecho Matha | Bahía Neny | 173,35 | 5 | 34,67 | 20.01.07 | 09:42 | 21.01.07 | 20:22 | 04:00 |
| Bahía Neny | Estrecho Matha | 173,10 | 5 | 34,62 | 22.01.07 | 00:22 | 23.01.07 | 10:59 | 00:00 |
| Estrecho Matha | Estrecho Bismarck | 156,00 | 8 | 19,50 | 23.01.07 | 10:59 | 24.01.07 | 06:29 | 00:00 |
| Estrecho Bismarck | Bahía Paraíso | 33,50 | 10 | 3,35 | 24.01.07 | 06:29 | 24.01.07 | 09:50 | 10:10 |
| Bahía Paraíso | Estrecho Gerlache | 104,50 | 10 | 10,45 | 24.01.07 | 20:00 | 25.01.07 | 06:27 | 00:00 |
| Estrecho Gerlache | Islas Piloto Pardo | 186,00 | 10 | 18,60 | 25.01.07 | 06:27 | 26.01.07 | 01:03 | 00:00 |
| Islas Piloto Pardo | Islas Lennox | 476,00 | 15 | 31,73 | 26.01.07 | 01:03 | 27.01.07 | 08:47 | 00:00 |
| Isla Lennox | Canal Beagle | 118,20 | 15 | 7,88 | 27.01.07 | 08:47 | 27.01.07 | 16:39 | 00:00 |
| Canal Beagle | Canal O'Brien | 54,50 | 15 | 3,63 | 27.01.07 | 16:39 | 27.01.07 | 20:17 | 00:00 |
| Canal O'Brien | Seno Magdalena | 143,50 | 15 | 9,57 | 27.01.07 | 20:17 | 28.01.07 | 05:51 | 00:00 |
| Seno Magdalena | Punta Arenas | 44,00 | 15 | 2,93 | 28.01.07 | 05:51 | 28.01.07 | 08:47 | 00:00 |

## 5.2. PUNTA ARENAS A ISLA LENNOX.

En la primera parte se navegará al S por el Estrecho de Magallanes el que conecta por el Mar de Drake por medio de los Canales Magdalena, Cockburn, Brecknock, Ballenero y con el brazo NW del Canal Beagle para llegar, por el Canal Murray, hasta Bahía Nassau, para aproximadamente al S de la Isla Lennox comenzar la travesía a la Antártica, siguiendo el plan de viaje antes mostrado.

La navegación por canales puede ser muy difícil para un navegante inexperto, por lo que a continuación se entregan un conjunto de medidas preventivas y recomendaciones para hacer que la derrota sea lo más segura posible.

- En la navegación por canales se debe situar la nave a intervalos de 15 minutos o menos, sobre marcas naturales (islas, rocas, cerros), o sobre marcas artificiales (faros, torres, antenas, etc.). Mientras más situaciones tenga la nave, menos probable será navegar fuera del track, lo que constituye un gran peligro por la zona en que se navega.

- Las nieblas, lluvias y nevazones pueden ocultar los contornos de la costa y las marcaciones para situarse, por lo constantemente el oficial de guardia se debe estar situando en la carta antes que esto ocurra. Si algunos de los fenómenos descritos es muy denso, se debe reducir la velocidad sobre el rumbo previsto, o simplemente detenerse, pues en la mayoría de los casos son fenómenos de corta duración. Si se continuara con la navegación en alguno de estos casos se debe tener guardia de vigías, la maniobra lista para el fondeo, y dar estricto cumplimiento el Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes.

- No olvidar que, según el Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes, en el Estrecho de Magallanes, Canales Beagle, O’Brien, Ballenero y Brecknock las boyas y balizas se deben dejar por el costado que corresponde, es decir, las balizas de babor por el costado de babor y las de estribor por al costado de estribor, navegando de E a W.

- En general se debe navegar por el eje de cada canal, excepto en los casos que se señale lo contrario, y con especial atención al ecosonda.

- Se debe dar suficiente resguardo a los sargazales, en algunos casos pueden ser muy largos y arrastrados por las corrientes. Jamás se debe pasar por sobre ellos pues ocultan peligros desconocidos, bajos fondos y también por el consecuente peligro de acorbatar al sistema propulsor.

- Las naves que no estén reforzadas para navegar entre hielos deben tener cuidados con los témpanos desprendidos por los ventisqueros. Si la navegación se realiza sobre un rompehielos no se debiera tener mayor cuidado con los témpanos a la deriva, pero si con las grandes plataformas o pack-ice.

- En el caso que por alguna emergencia se deba fondear, hacerlo en lo posible con 2 anclas para soportar mejor los fuertes vientos de la zona, escogiendo siempre los fondos de arena o conchuela, y esperar con las máquinas listas en caso de mal tiempo. Es conveniente mantener los cabrestantes y winches calientes para evitar congelaciones en las cañerías y posibles accidentes.

5.2.1. Punta Arenas a Seno Magdalena, carta náutica 1.114.

Punta Arenas es una amplia rada que puede ofrecer protección a varias embarcaciones en un mismo instante y tiene múltiples marcas de referencia y enfilaciones, tanto para aproximarse como para zarpar de dicho puerto.

Los vientos predominantes son del cuarto cuadrante, pero no levantan marejada dentro de la bahía. En primavera y verano se puede presentar el viento local llamado panteonero, de especial violencia que puede alcanzar hasta fuerza 12 en la escala Beaufort y su dirección es WNW. Ocasionalmente pueden presentarse vientos del tercer cuadrante, siendo los más temidos pues la rada no cuenta con protección en esa dirección. La corriente de flujo tira del NE al SW y en sentido opuesto la de reflujo.

El zarpe desde esta ciudad está fijado a las 09.50 hrs del día 13 de enero del año 2007, época en que se consigue alcanzar con mayor éxito una navegación segura en la Antártica, pues por las condiciones de luz se puede navegar casi las 24 horas y la mayoría de los pack-ice ya se han desintegrado.

Durante la travesía del Estrecho de Magallanes de deberá dar estricto cumplimiento al Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes, especialmente lo

que se relaciona con las señales sonoras que allí se establecen, además de las siguientes:

- Mantener atención permanentemente en las frecuencias internacionales de seguridad VHF, canal 16 y canal 70 (Llamada Selectiva Digital)

- Informar a las Estaciones de Control de Tráfico Marítimo en los faros Islotes Evangelistas, Bahía Félix y Punta Dúngenes o Capitanía de Puerto de Punta Delgada el ingreso o salida del Estrecho de Magallanes, cuando se encuentre a la cuadra de ellas.

- Informar la situación geográfica de la nave a la Autoridad Marítima, según procedimiento CHILREP, a las 08.00 y 20.00 hora local. Las naves que naveguen sin práctico de canales, deben hacerlo cada 4 horas.

- La Autoridad Marítima informará cuando naves de más de 200 metros de eslora transiten por el Estrecho de Magallanes, con el objeto de darles preferencia de paso en su navegación.

La navegación hacia el SW por el Estrecho de Magallanes no exige muchos cuidados especiales, excepto con los cambios de mareas. La corriente de flujo entra por la boca occidental del Estrecho, lo que sumado a las corrientes oceánicas puede afectar considerable la navegación, ésta debe ser calculada para evitar la deriva.

Siguiendo la derrota establecida se continúa por el Estrecho de Magallanes hasta el Seno Magdalena, que comunica con el Canal Magdalena, y por medio del Canal Cockburn, con el Pacifico Sur. En el Seno mencionado se encuentra un bajo fondo de sargazos que debe ser evitado por los peligros de varada y en el sistema de propulsión, en cualquier caso éste queda fuera de la derrota prevista.

5.2.2. Seno Magdalena a la Boca Occidental del Canal O’Brien, carta náutica 1.201.

El Canal Magdalena corre por aproximadamente 20 millas en dirección general S con grandes profundidades en contraste con las tierras de uno y otro lado de la costa que forman altos y barrancosos cerros, especialmente en su costa oriental donde desembocan enormes ventisqueros como el Monte Sarmiento y Ventisquero Concepción. El ancho del canal es de aproximadamente 1,5 millas en su boca N y

aumenta paulatinamente hasta 6 millas frente al Cabo Peña. Entre el Islote Cenaria y la Punta Ernesto existe una sonda de 6 m la cual debe dejarse por la banda de Babor navegando de N a S, de igual manera se dejará por la banda de estribor la sonda de 10 m existente a la cuadra del Cabo Peña.

Al girar en dirección NW entramos al Canal Cockburn, que corre en dirección general W por unas 40 millas entre las costas de la Península Brecknock y de algunas islas como la Capitán Aracena, Diego Seebrock, Clarece, Vidal Gomez y finalmente el Grupo Magil para desembocar al Pacífico.

El Canal Cockburn es amplio y de gran profundidad y su navegación no ofrece dificultades, excepto en la desembocadura al océano, ya que por la presencia de múltiples grupos de islotes y rocas se debe extremar la vigilancia durante la navegación. La salida del Canal Cockburn al océano se encuentra azotada por continuos malos tiempos y cerrazones ocasionales por lo que se recomienda navegarlo con luz diurna.

En general se mantendrá la navegación a medio canal, dejando la Isla Fitz Roy a media milla al S, y las Islas Kirke a 1 milla al S, para cuidar la nave de la proximidad de bajos fondos. A la cuadra de los Islotes Magil se pondrá proa al S para ingresar al Canal Brecknock.

El Canal Brecknock se extiende desde el extremo oriental de la Isla Aguirre hasta la entrada W de la Bahía Desolada. Tiene un largo de unas 48 millas y su ancho varía entre 2 cables y 2 millas. El canal tiene forma irregular pues se compone de diversas islas, penínsulas, senos y canales. En la parte oriental del canal el viento es menos intenso que en la boca occidental, excepto en las puntas donde el canal cambia de dirección. A la altura de los Islotes Nelson se debe extremar los cuidados pues los rodean varias rocas, las cuales sólo son visibles por los sargazos que las rodean. Luego de pasar estos islotes, navegará por el N de la Isla Georgiana y así aproximarse al Paso Aguirre, ubicado entre la Isla Basquet por el S y la Isla Brecknock por el N, frente al Cabo Atracadero. En este paso se encuentra el Bajo Bevan en la mitad del canal, señalado por sargazos con la marea vaciante, pero en pleamar no hay marca que lo señale. En el extremo N del bajo existe una boya luminosa con reflector de radar; se ha sondado una profundidad de 3,5 m en bajamar y deja un paso navegable de sólo 160 m de ancho, sin embargo pueden pasar por aquí naves mayores con precaución, pues la visibilidad se ve reducida por chubascos de agua y nieve. Luego de navegar a través del Paso Aguirre se gobernará para dejar el Islote Entrada por estribor, al estar a la

cuadra de éste se puede avistar la Bahía Desolada, que es la entrada occidental al Canal Ballenero.

El Canal Ballenero es un canal de 32 millas de largo en dirección SSE y conduce al Canal Beagle, está formado por estuarios y senos de la costa S de la Isla Tierra del Fuego y la Isla Stewart en su parte más austral.

La navegación en la Bahía Desolada debe efectuarse con cautela y vigilancia de los sargazos y rocas sumergidas, en cualquier caso los bajos fondos se encuentran con sus respectivas balizas y las rocas se pueden reconocer por la rompiente de las olas, ya que en ésta zona azotan constantemente vientos del SW. Por el E de la Bahía Desolada se encuentran las Islas Burnt y Bruce, por entre las cuales se recomienda la navegación a media distancia en un canal de 6 cables de ancho, limpio y seguro.

El resto de la navegación por el Ballenero se encuentra sólo interrumpida por el grupo de Islas del Medio, éstas se encuentran lo suficientemente alejadas de la derrota para no constituir un peligro. El grupo de islas están separadas entre ellas por canalizos angostos, cargados de rocas y sargazos, por lo que debe evitarse su aproximación; la mayor y primera en avistarse es la Isla Grande, de forma alargada y gran altura. Luego de dejar este grupo de Islas hay que tener precaución con el Bajo Jiménez, ubicado al SE de las islas mencionadas, aunque éste queda fuera de la derrota.

Con el mismo rumbo se seguirá hasta dejar por estribor la Punta Isabel, de la Isla Londonderry para aproximarse así al Canal O’Brien; aquí aparece la Isla Redonda, que es reconocida desde varias millas por su forma.

5.2.3. Boca Occidental del Canal O'Brien a Canal Beagle, carta náutica 1.206.

La entrada al Canal O’Brien está marcada por la Isla del mismo nombre, que a la vez separa a éste canal del Canal Pomar, por el cual no se recomienda la navegación para naves mayores por tener múltiples rocas e islotes que lo estrechan hasta 1 cable en algunas angosturas.

El Canal O’Brien mide aproximadamente 10 millas de largo desde la Isla Redonda hasta la Punta Americana, frente al grupo de Islotes Timbales. La entrada occidental tiene aproximadamente 4 cables por la presencia de rocas e islotes costeros, para luego ensancharse y tener una salida de 1 milla de ancho aproximadamente.

Durante la travesía del Canal O’Brien se deberá dar estricto cumplimiento al Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes, especialmente lo que se relaciona con las señales sonoras que allí se establecen; además de otras medidas preventivas.

- Como norma permanente de seguridad, se establecen como puntos límites el meridiano 70º 40’ W y el Islote Fuentes por el E, de forma que ninguna nave debe sobrepasar, ni pasar de vuelta encontrada con otra nave entre dichos puntos.

- La nave que viniendo de W a E quiera cruzar el Canal O’Brien, escuche los pitazos o compruebe la presencia de otra nave navegando en el sentido opuesto deberá esperar al SW y a 1,3 millas de la Isla Redonda que pase la nave que viene del E.

- Las naves deberán además mantener atención radiotelegráfica en 500 KHz desde una hora antes de la calculada para pasar el Canal O’Brien, comunicando cada 10 minutos en la misma frecuencia.

- Deberán además las naves establecer comunicación en VHF en la frecuencia internacional de seguridad de 156,8 MHz; en caso de no disponer de esta última banda, deberán prestar atención en la frecuencia internacional 2.182 KHz.

La entrada al canal debe hacerse por entre la Isla Redonda y la Isla Guillermo, la cual sólo se distingue en la cercanía de la Isla Londonderry. Al igual que la mayoría de los canales mencionados, la derrota debe mantenerse a medio canal. El canal no presenta cambios de curso muy marcados por lo que tampoco las corrientes de marea lo afectan muy fuertemente. Como a 1 milla antes de llegar a los Islotes Timbales se reconocerán los Islotes Golondrina, Cóndor y Término, y las Islas Chair y Timbal Grande, que señalan las dos rutas que pueden seguirse: el Paso Occidental y el Paso del Medio, también conocido como Paso Timbal, prefiriéndose éste último por ser más directo. Pasados los Islotes Timbales aparecerá la entrada al brazo Noroeste del Canal Beagle y la Isla Chair, la cual despide una serie de islotes y rocas en una distancia de 7 cables, los que deben ser dejados por la banda de estribor, manteniéndose al N del eje del canal.

El brazo Noroeste del Canal Beagle mide aproximadamente 38 millas en dirección general E y ESE, su ancho varía entre 7 cables en la entrada W y 5 cables en

la boca oriental. Está formado por las costas de la Isla de Tierra del Fuego y de la Isla Gordon, isla que separa el brazo Noroeste del Suroeste y que confluyen en la Punta Dividide, siendo la ruta recomendada el brazo Noroeste. Las aguas de éste brazo son profundas y limpias y las corrientes bastantes sensibles, pues confluyen las de ambos brazos en su salida oriental. Las quebradas y valles que ocupan la costa N del canal están ocupadas por inmensos ventisqueros: Ventisquero España, Romanche, Alemania, Francia, Italia y Holanda, donde descargan bloques de hielo de distintas dimensiones que son arrastrados por las corrientes. La salida oriental de este brazo se caracteriza por la Isla del Diablo, situada 1 cable al N de la Punta Dividide, se gobernará a medio canal entre ambos cuidando mantener el curso por la intensidad de las corrientes que confluyen en este punto, hasta tomar el eje del Canal Beagle.

5.2.4. Canal Beagle a Isla Lennox por Canal Murray, cartas náuticas 1.301 y 1.302.

El Canal Beagle, entre la Isla del Diablo y la entrada al Canal Murray, está formado en su Costa N por la Isla Tierra del Fuego y en su Costa S por la Península Dumas; en este tramo es limpio y profundo con un ancho medio de 2 millas y pocos peligros. La navegación se lleva a medio canal, aproximándose a la costa de Tierra del Fuego frente a las Rocas Contramaestre Perón, las que deben dejarse al S a una distancia prudente por la cantidad de sargazos que lo rodean.

Un punto notable que indica la entrada occidental a este canal es el Faro Punta Yamana, ubicado en la punta del mismo nombre y que cuenta con personal, además de una caleta y fondeadero en las inmediaciones.

Siguiendo la navegación en la costa N del Canal Beagle se encuentra la Bahía Yendegaia, la cual es muy amplia y bien defendida de los vientos predominantes en la región en caso de necesitar abrigo. En esta bahía se encuentran las Caletas Ferrari y Dos de Mayo, en la última existe una tenencia de carabineros y comunicación por radio en HF con Punta Arenas, Puerto Toro y Puerto Navarino. A un par de millas de la salida de ésta bahía se encuentra el límite entre Chile y Argentina que corre de N a S por el meridiano 68º 36’ 30’ W hasta la línea equidistante entra la costa N y S del Canal Beagle, según el Tratado de Paz y Amistad de 1984.

Por la costa S del Canal Beagle, frente a la Punta Yamana se encuentra la Caleta Awaiakirrh, que es bastante estrecha y ofrece fondeadero sólo para naves

menores; por la costa S y frente a la Bahía Yendegaia se encuentran los Islotes Contramaestre Peron, referidos anteriormente, que deben dejarse al S de la derrota.

Aproximadamente a 3 millas de los Islotes Peron se encuentra el acceso N al Canal Murray, el cual se usará en preferencia a la continuación del Canal Beagle para salir al Paso Drake, pues la región oriental del Canal Beagle está poblado de islas y rocas en todo su ancho que hacen peligrosa la navegación, especialmente en el Paso Maclinlay donde la Isla Gable desprende un banco arenoso que presenta paso únicamente para naves menores.

El Canal Murray (Carta náutica 1.302) separa la Península Dumas por el W del la Isla Navarino por el E y une las aguas del Canal Beagle con las del Seno Ponsonby. Inicia su curso entre los Cabos Hahn y Mitchell y corre en dirección SSE por unas 8 millas. El Canal Murray es un paso estrecho con un ancho medio de 7 cables, reduciéndose a 2 cables en la Angostura Murray, donde se deben efectuar caídas muy pronunciadas para no acercarse a la costa. La navegación se mantendrá a medio canal, el cual se presenta limpio y, aunque el fondo se presenta irregular, hay suficiente agua hasta muy cerca de la costa. Existen dos bajos fondos de piedra sobre el track de navegación: uno de 8 m al 123º y 3 ½ cables y el otro de 9 m al 142º y a 7 cables de la Punta Surweste, respectivamente. Luego de pasar los bajos fondos se avista la Isla Strate por la banda de babor, que se deben dejar a una prudente distancia pues despide islotes y rocas, algunas de las cuales se avistan sólo en bajamar. Siempre por la banda de babor y al fondo de la Isla Strate se ubica la Isla Button que señala el término del Canal Murray, por el S esta isla despide también islotes y rocas hasta una distancia de 1,8 millas.

Como en ambos lados del canal las costas son muy altas, se encuentran calmas relativas respecto de los vientos imperantes en el Canal Beagle. Las corrientes de marea son de poca intensidad y no es necesario esperar la estoa para cruzar la Angostura.

Luego de pasar a la cuadra de la Isla Button se entra en aguas del Seno Ponsonby que se prolonga por 32 millas y comunica al Canal Murray con la Bahía Nassau entre las Islas Navarino y Milne Edwards. Este paso es profundo y limpio manteniéndose la navegación a medio canal, exceptuando en el extremo SW de la Isla Navarino, a 1 y ½ millas de la desembocadura del Río Douglas donde existen numerosos islotes y rocas sumergidas que deben dejarse a una distancia prudente. Una

vez pasados estos islotes por el E y el Cabo Webley por el W nos encontraremos finalizando la travesía por el Seno Ponsonby, delimitado por la enfilación entre el Cabo Webley y la punta SW de la Isla Navarino, para entrar en la Bahía Nassau.

En este tramo se navegará orillando la costa N de la Bahía Nassau, para salir a mar abierto lo más al E posible, pues en la navegación hasta la Península Antártica nos encontraremos con la corriente Circumpolar Antártica, mencionada anteriormente, ésta al traer mucha masa de agua desde el W que es obligada a pasar por el Mar de Drake adquiere gran velocidad, lo que se traduce en una gran deriva si no se le pone atención.

Esta bahía está formada por las Islas Navarino y Lennox por el N, las Islas Terhalten, Sesambre y Evout por el E, las Islas Wollaston por el S y la Isla Hoste por el W; comunica sus aguas con el océano Pacífico por ambos lados de las Islas Wollaston.

El efecto de las corrientes es mucho menor que en la vecindad del Cabo de Hornos pues los diversos grupos de islas que aquí se encuentran ofrecen cierta protección. Por motivos que se desconocen, en esta zona el compás magnético tiene movimientos muy lentos, situación que debe ser observada cuidadosamente para evitar posibles errores o accidentes.

Por la costa S de la Isla Navarino encontraremos la Isla Bertrand, que cierra la entrada al Seno Grandi. La Isla Bertrand es alta, montañosa y despide numerosos islotes por el lado E y S, impidiendo aproximarse a ella. Luego de pasar la Isla Bertrand por el N, por el S se avista la Isla Vauverlandt, que divide en dos la Bahía Nassau y es un punto de referencia para la derrota a seguir.

Pegada a la costa S de la Isla Navarino y a un par de millas de la isla Bertrand se encuentra la Isla Scott, que está unida a tierra por un banco que aflora en bajamar; al E de esta isla siguen los bajos pegados a la costa y en general el fondo cubierto de sargazos hasta la Punta Courrejoles, punta que marca la entrada a la Bahía Windhond. La Bahía Windhond es una gran bahía de fondo parejo y limpio excepto en la costa N, sirve como fondeadero de emergencia, ya que sólo protege contra los vientos E. La punta Harvey se ubica enfrente de la Punta Courrejoles y es también parte de la Bahía Windhond.

Desde la Punta Harvey hasta la Punta Guanaco la costa despide algunos fondos y aguas someras como hasta una milla de tierra, por lo que se recomienda dar suficiente resguardo. En torno a la Punta Guanaco, que es el extremo S de la Isla Navarino, existe un extenso sargazal de 2 millas de ancho aproximadamente y marca la entrada S del Paso Goree, que separa la Isla Navarino de la Isla Lennox. En general, la navegación al S de esta isla se debe tener cuidado con la presencia de sargazos a lo largo de toda su costa.

Desde la Isla Lennox se pondrá proa hacia las islas más septentrionales del Territorio Antártico Chileno.

## 5.3. ISLA LENNOX A ISLA REY JORGE, carta náutica 580.

El Paso Drake o Mar de Drake solamente es frecuentada por barcos, que en ruta de E a W o viceversa, no pueden navegar en el Estrecho de Magallanes o buques que navegan hacia la Península Antártica, como en este caso. Este es unos de los lugares con peores condiciones climáticas en todo el mundo, pues forma parte de un cinturón sin masas continentales que pueda proteger de los vientos. Se debe tener especial atención a las condiciones climáticas, si éstas no son favorables puede esperar alguna mejora fondeado en Bahía Nassau.

Para este caso se navegará por estima al rumbo 145º por el Mar de Drake hasta un par de millas del grupo de Islas Piloto Pardo. En la navegación en altamar la nave debe ser situada aproximadamente cada 2 horas, por sistemas de posicionamiento global (GPS), además de realizar diariamente rectas de posición con astros o con el sol. Para este caso se efectuará el cálculo de posición con astros, Alessio, que consiste en conocer la situación real del buque mediante rectas casi simultáneas de astros, para corregirla en caso de no estar en la posición supuesta. Para realizar este cálculo se debe tomar alturas de astros en las horas de penumbra, esto es al crepúsculo o al amanecer, por lo que con anterioridad debe realizarse un diagrama de luz y oscuridad.

Cálculo del Diagrama de Luz y Oscuridad.

Navegando de Isla Lennox a Islas Piloto Pardo

Para la noche del 14 a 15 de Enero del 2007

| Ocaso | | | Orto | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Le | 58º 00’ | S | Le | 59º 19',86 | S |
| Ge | 062º 50' | W | Ge | 061º 2',5 | W |
| Hz | 21:00:00 | hrs | Hz | 03:30:00 | hrs |
| z | 3 | (+) | z | 3 | (+) |

| | Ocaso Sol | Fin Crepúsculo | Comienzo Aurora | Orto Sol |
|---|---|---|---|---|
| Fecha | 14 Enero | 14 Enero | 15 Enero | 15 Enero |
| HmL | 20.52.00 | - | - | 03.25.00 |
| C x Lat | - | - | - | (-) 00.11.00 |
| HmL corregida | 20.52.00 | - | - | 03.14.00 |
| Ge (hrs) | (+) 04.11.20 | - | - | (+) 04.04.10 |
| Hm Gr | 25.03.20 | - | - | 07.18.10 |
| z | (+) 3 | - | - | (+) 3 |
| Hz L | 22.03.20 | - | - | 04.18.10 |

| | Orto Luna | Ocaso Luna |
|---|---|---|
| Fecha | 14 Enero | 15 Enero |
| HmL | 23.04.00 | 18.47.00 |
| C x Lat | - | (+) 00.20.00 |
| HmL corregida | 23.04.00 | 19.07.00 |
| C x G | (+) 00.04.00 | (+) 00.12.00 |
| HmL corregida | 23.08.00 | 19.19.00 |
| Ge (hrs) | 04.11.20 | 04.04.10 |
| Hm Gr | 27.19.20 | 23.23.10 |
| z | (+) 3 | (+) 3 |
| HzL | 24.19.20 | 20.23.10 |

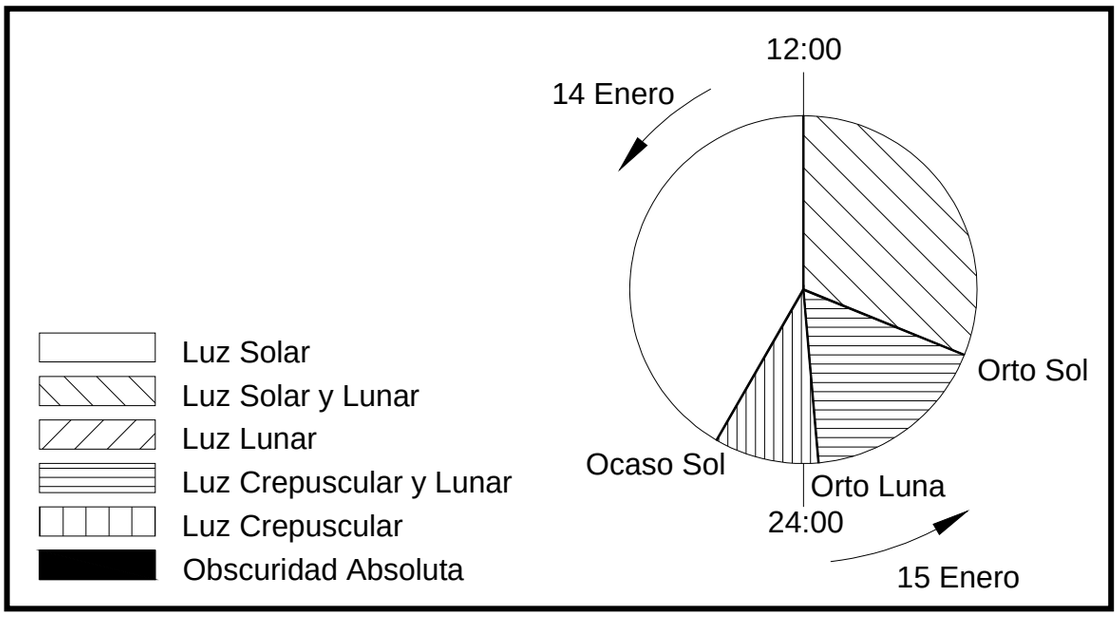



Figura 5.2: Esquema del Diagrama de luz y oscuridad para la noche del 14 a 15 de Enero del 2007.

Del diagrama de luz y oscuridad calculado se puede deducir que no existe ningún momento de oscuridad absoluta, pues la fecha de la navegación está muy cercana al solsticio de diciembre. Las horas indicadas para tomar alturas de astros sería entre las 22:03 del día 14 de enero hasta las 04:18 del 15 de enero, esto es, entre las horas de ocaso y orto del sol pues aquí se encuentra la suficiente luz crepuscular como para identificar el horizonte, pero también la suficiente oscuridad para visualizar las estrellas a usar en el cálculo del Alessio.

Para el cálculo de Alessio se requieren diversos datos, algunos son propios del buque y sus equipos, otros del ambiente en que se navega, y por supuesto los datos de cada astro, cada uno de los cuales es descrito a continuación.

- Alturas instrumental de astros (Ai): Fueron tomadas desde el software de libre difusión “Cartas du Ciel” Versión 2.76 del 24 de noviembre del 2004, para cada momento y posición indicada.

- Presión Atmosférica: es la medida de la presión del aire en cualquier punto de la atmósfera. Para los cálculos se asume una presión atmosférica de 1010 mb.

- Temperatura: Puede variar a cada minuto, pero en la época en que se pronostica la navegación es común encontrar temperaturas alrededor de los 0º C. Con este

dato, junto a la presión atmosférica, se obtiene la corrección de la Tabla $A_4$ del Almanaque Náutico, y corresponde a una corrección por la refracción producida en condiciones atmosféricas anormales.

- Elevación del ojo (Eo): Es distancia vertical entre el horizonte y el lugar desde donde se toman las alturas, generalmente desde los alerones del puente de gobierno. Para este caso se considera la Eo en 18 m, pues es una altura regular en el caso de los rompehielos. Con este dato se obtiene la corrección por depresión que se aplica a la altura observada del astro.

- Estado absoluto del cronómetro (Ea): Es la diferencia en un momento determinado entre la hora media de Greenwich (hora en el meridiano cero, respecto a esta hora vienen tabulados todos los datos del Almanaque Náutico), y la hora de un cronómetro cualquiera en ese mismo instante. Esta diferencia siempre es positiva y menor que 12 horas por la graduación del cronómetro. Para este caso se fijó el Ea en 1 seg.

- Error de índice del sextante: Es un error propio del sextante pues los espejos de éste nunca se encuentran perfectamente paralelos. Este error es un dato incluido en las características del fabricante. Para este caso se seleccionó un Sextante con las siguientes características.

Tabla 5.3: Características del Sextante seleccionado para realizar los cálculos de navegación.

| | |
|---|---|
| Marca | Cho-T |
| Modelo | 831318 |
| Año Fabricación | 1984 |
| País Fabricación | Rusia |
| Altura | 24 cm |
| Longitud | 32 cm |
| Ancho | 14 cm |
| Peso | 1,5 kg |
| Diámetro espejo horizonte | 5 cm |
| Filtros espejo horizonte | 3 |
| Altura espejo índice | 5 cm |
| Longitud espejo índice | 4 cm |
| Filtros espejo índice | 4 |
| Error de índice | -1’,5 |

Figura 5.3: Sextante seleccionado para realizar los cálculos de navegación.
Fuente: Sitio web Navegación.

Cálculo de posicionamiento con 3 rectas de astros simultáneas (Alessio).

Navegando de Isla Lennox a Islas Piloto Pardo

Para el día 15 de Enero del 2007 en:

Le: 59º 19’,86 S

Ge: 061º 2’,5 W

| | **Gacrux** | | **Achernar** | | **Rigel** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HzL | 4:04:00 | | 4:08:00 | | 4:14:00 | |
| HCr | 01:04:00 | | 01:08:00 | | 01:14:00 | |
| Ea | (+) 00:00:01 | | (+) 00:00:01 | | (+) 00:00:01 | |
| HmGr | 01:04:01 | | 01:08:01 | | 01:14:01 | |
| AHGr Aries | 129º 06',6 | | 129º 6',6 | | 129º 6',6 | |
| C x m | (+) 01º 0',4 | | (+) 02º 0',6 | | (+) 03º 30',8 | |
| AHGr Aries c | 130º 7',0 | | 131º 7',2 | | 132º 37',4 | |
| AHS | 172º 6',6 | | 335º 30',1 | | 281º 16',5 | |
| Σ | 302º 13',6 | | 466º 37',3 | | 413º 53',9 | |
| (- 360º) | - | | (-) 360º | | (-) 360º | |
| AHGr c | 302º 13',6 | | 106º 37',3 | | 053º 53',9 | |
| Ge | 061º 2',5 | W | 061º 2',5 | W | 061º 2',5 | W |
| P (Diagrama 1) | 118º 48',9 | E | 45º 34',8 | W | 07º 8',6 | E |
| AHL | 241º 11',1 | | 45º 34',8 | | 352º 51',4 | |
| Dec | 57º 8',9 | S | 57º 12',3 | S | 08º 11',6 | S |
| Le | 59 19',86 | S | 59 19',86 | S | 59 19',86 | S |
| **Ac** | **36º 6',1** | | **66º 24',4** | | **38º 34',5** | |
| **z** (Diagrama 2) | **36º 2',0** | | **75º 8',2** | | **09º 3',5** | |
| Ai | 36º 8',0 | | 66º 25',0 | | 38º 36',0 | |
| Ei | (-) 00º 1',5 | | (-) 00º 1',5 | | (-) 00º 1',5 | |
| Ao | 36º 6',5 | | 66º 23',5 | | 38º 34',5 | |
| Dip | (-) 00º 7',5 | | (-) 00º 7',5 | | (-) 00º 7',5 | |
| Aap | 35º 59',0 | | 66º 16',0 | | 38º 27',0 | |
| $CtA_2$ | (-) 00º 1',3 | | (-) 00º 0',4 | | (-) 00º 1',2 | |
| $CtA_3$ | - | | - | | - | |
| $CtA_4$ | (-) 00º 0',1 | | 00º 00',0 | | 00º 00',0 | |
| C total | (-) 00º 1',4 | | (-) 00º 0',4 | | (-) 00º 1',2 | |
| **Av** | **35º 57', 6** | | **66º 15',6** | | **38º 25',8** | |
| **I** | **(-) 00º 8',5** | | **(-) 00º 8',8** | | **(-) 00º 8',7** | |
| **Azv** ( Diagrama 3) | **143º 58',0** | | **255º 8',2** | | **009º 3',5** | |

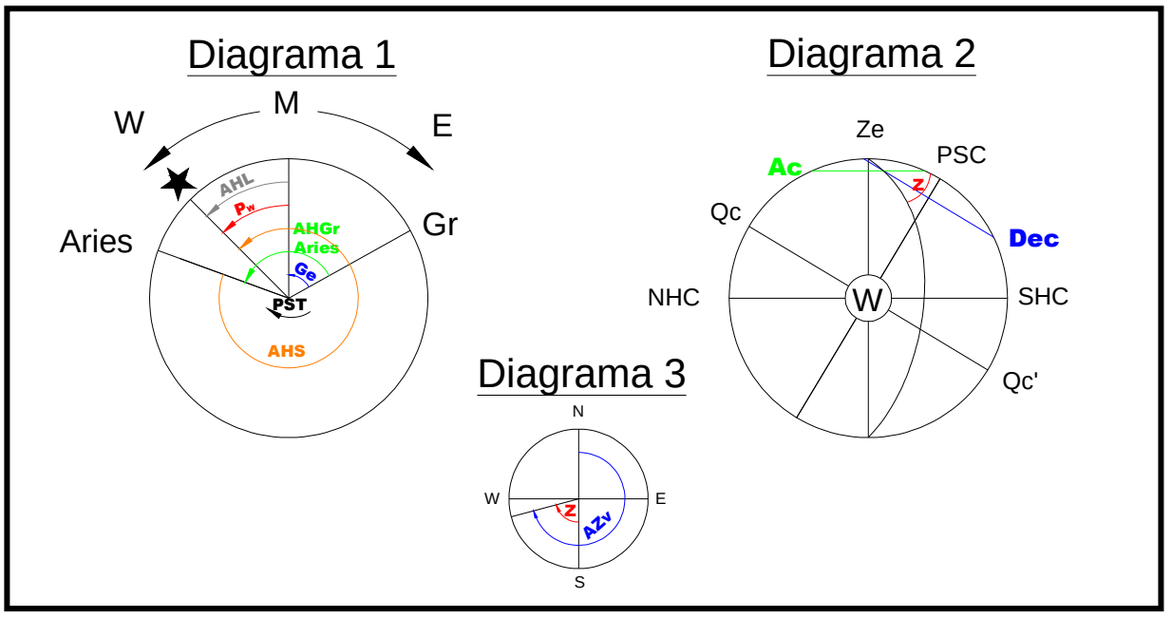



Figura 5.4: Diagramas para estrella Achernar. El diagrama 1 entrega el valor y sentido del ángulo del polo (P), el diagrama 2 entrega el sentido del ángulo del zenit (z) y el diagrama 3 se utiliza para trasformar correctamente el ángulo del zenit en azimut verdadero (Azv).

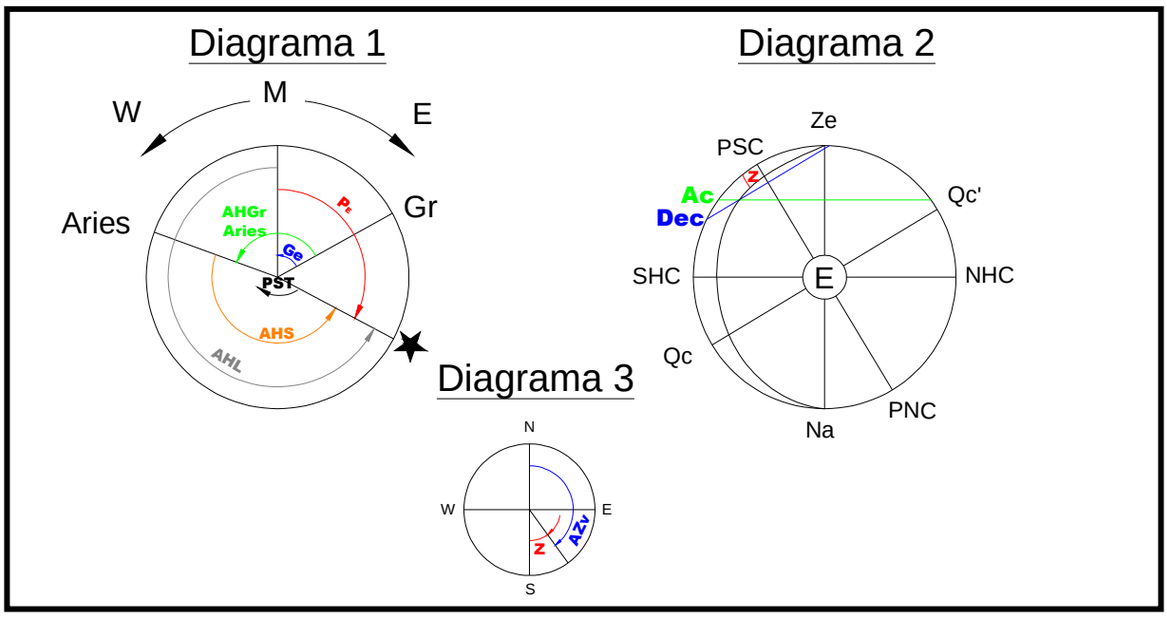



Figura 5.5: Diagramas para estrella Gacrux.

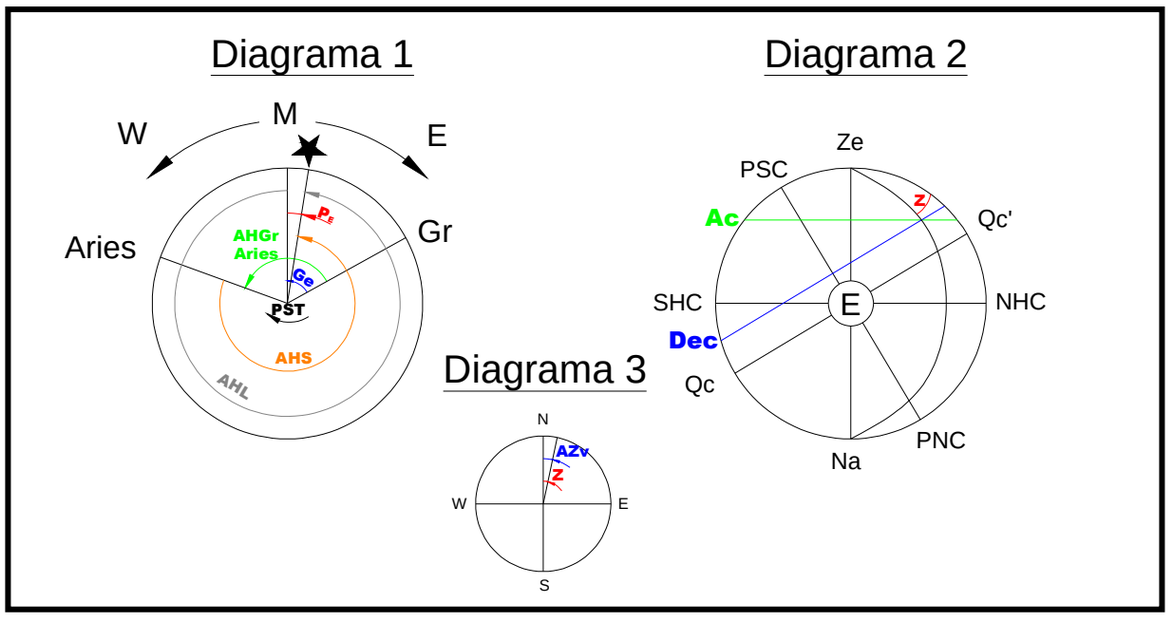



Figura 5.6: Diagramas para estrella Rigel.

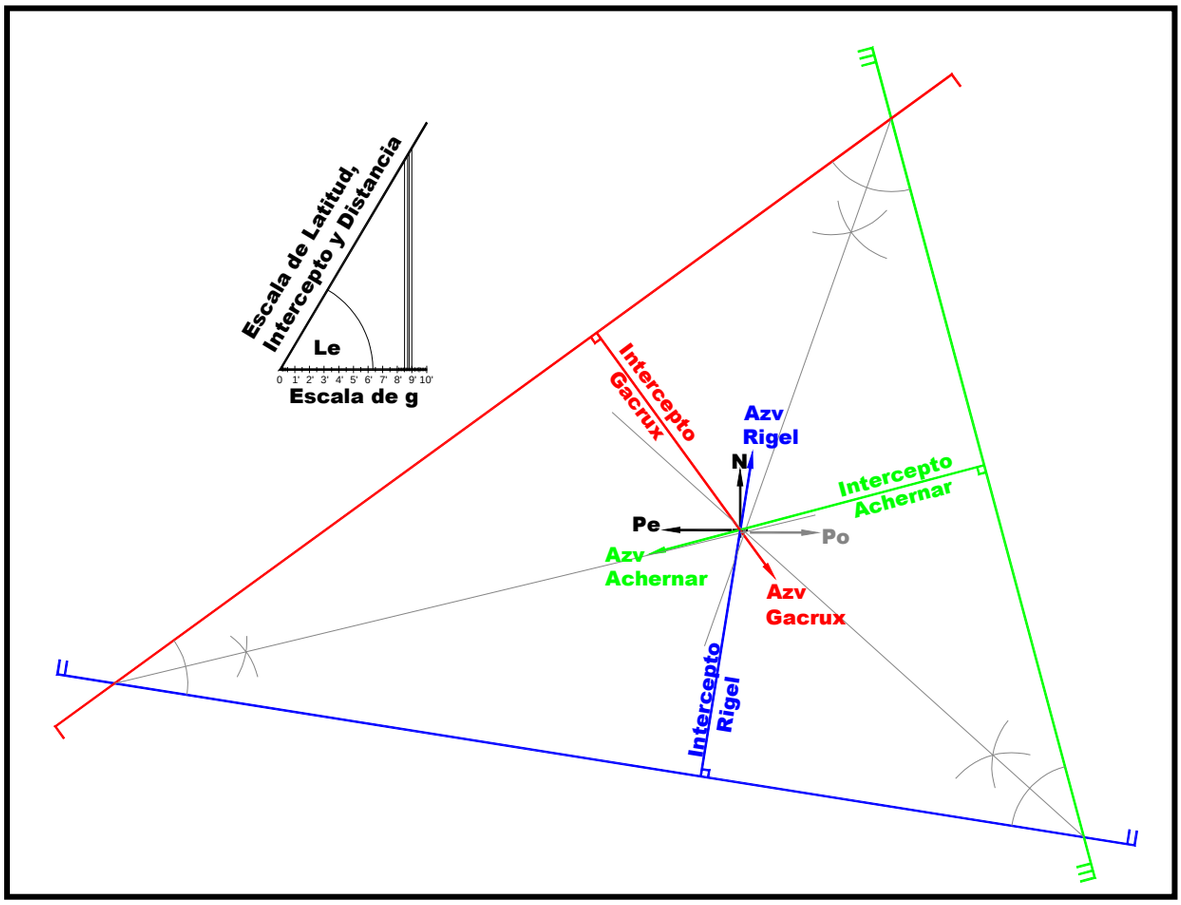



Figura 5.7: Esquema de las 3 rectas simultáneas de los astros, intercepto y azimut

El resultado de éste cálculo arroja una diferencia de 370 m de distancia entre la posición real del buque (Po) y la supuesta según la navegación por estima (Pe). Una diferencia de esta magnitud es un indicador de un buen gobierno del buque y de un buen cálculo de marea. Una vez avistadas las Islas Piloto Pardo se puede situar la nave por enfilaciones físicas y así comprobar que la posición del buque está dentro del track de navegación.

La Isla Elefante constituye una de las islas del grupo llamado Piloto Pardo y se encuentra en las cercanías de la Isla Rey Jorge; a pesar del gran atractivo histórico que ésta tiene no se visitará pues la costa cae abruptamente al mar, presenta mucha dificultad para desembarcar y no ofrece abrigo a los vientos y marejadas.

En esta isla Sir Ernest Shackleton dejó a sus hombres luego del naufragio del su barco, el *Endurance*, mientras conseguía ayuda para el rescate descrito en el capítulo I, apartado referido a los descubrimientos y exploraciones. En la actualidad existen en el Cabo Wild, Isla Elefante (61º 3’ S, 054º 50’ W) un monolito y placas conmemorativas con réplicas en las Bases Arturo Prat y Teniente Rodolfo Marsh, celebrando el salvamento de los sobrevivientes del buque británico *Endurance* por la escampavía de la Armada Chilena *Yelcho*, exhibiendo las siguientes palabras:

“Aquí, el 30 de agosto de 1916, la escampavía de la Armada Chilena *Yelcho*, comandada por el Piloto Luis Pardo Villalón, rescató a los 22 hombres de la Expedición Shackleton que sobrevivieron al naufragio del *Endurance*, viviendo durante cuatro meses y medio en esta isla”.

## 5.4. ISLA REY JORGE A ENTRADA N DEL ESTRECHO DE GERLACHE.

En la travesía por las Aguas Antárticas navegaremos por la costa W de la Tierra de O'Higgins, por los Estrechos de Bransfield, Gerlache, Matha y por la costa E del Mar de Bellingshausen, visitando algunos sitios de interés turístico, natural o histórico.

El Estrecho de Bransfield se extiende de ENE a WSW por el S de las Islas Shetland del Sur, separando a éstas de la Península Antártica. Mide 240 millas de largo por 60 de ancho. Estas aguas son de gran profundidad, más de 2.000 m en su eje, en general es limpio y puede ser navegado por buques de cualquier tamaño. El único peligro significativo en la derrota proyectada dentro del Estrecho de Bransfield son las Rocas Austin, que se mencionaran más adelante.

El Estrecho de Bransfield se hiela completamente en invierno, sus aguas comienzan a congelarse lentamente en abril, ya en junio se presenta totalmente cubierto por un pack-ice y permanece así hasta agosto. A principio de septiembre se inicia la descongelación rápidamente, aunque estas condiciones varían de un año a otro según el avance que tengan los hielos del Mar de Weddell, o los hielos que avanzan desde el Estrecho de Gerlache con la corriente predominante que corre desde el SW al NE.

### 5.4.1. Costa N de la Isla Rey Jorge a Bahía Fildes, cartas náuticas 14.000 y 14.212.

La Isla Rey Jorge es la más extensa del Archipiélago Shetland del Sur y está cubierta por una gruesa capa de hielo. Presenta su costa N, al igual que todas las islas de este archipiélago, completamente erosionada por el choque las mareas oceánicas. En cambio la costa S, bañada por las aguas del Estrecho de Bransfield es mucho más limpia y presenta mayor abrigo a los malos tiempos.

Al rodear la isla por su lado E existen numerosos peligros de rocas e islotes hasta a 2 millas de su costa, los que se deben dejar con una distancia mínima de 3 millas, pues hay rocas que sólo se avistan en bajamar. Luego de una corta navegación en rumbo S, se seguirá orillando la Isla Rey Jorge pasando por la entrada de la Bahía Rey Jorge y Bahía Almirantazgo, ambas con fondeaderos y navegables en su interior, para dirigirnos hacia Bahía Fildes.

Bahía Fildes está formada por la costa SW de la Isla Rey Jorge y la costa NE de la Isla Nelson, y comunica por el NW con el Mar de Drake por el estrecho del mismo nombre, apto sólo para embarcaciones menores. Está bien protegida de los vientos reinantes en la zona y la temperatura es un poco más elevada que el resto del archipiélago, aunque en invierno se congelan sus aguas igual que cualquier punto de la Península Antártica. En verano se avistan témpanos de hielo procedentes del NE dentro de la bahía, pero de pequeñas dimensiones.

Al entrar por el Estrecho de Bransfield se debe tener cuidado con la Punta Duthoit ya que despide las Rocas Pig hasta a 1 milla de distancia, y en la costa S de las Isla Rey Jorge con los bajos fondos que avanzan hasta 1 y ½ millas, por lo que se recomienda navegar a una distancia de 2 millas de ambos lados.

Caleta Ardley está formada, dentro de Bahía Fildes, por la península del mismo nombre en el S y la Punta Durán al N, mide 1 milla de ancho por 1 milla de saco y tiene fondo limpio, excepto en el centro por la presencia del Islote Becerra y otro cercano a 100 m, los que se encuentran debidamente señalizados. La punta NE de la Península Ardley es sucia en todo su contorno y despide bajos fondos hasta 200 m de su costa, mientras que las costas de la caleta son bajas, con playa de piedra a la cual se pueden acercar embarcaciones menores.

Se aproximará la nave a uno de los sitios de fondeo experimentados en la Caleta Ardley, al 099º y a 8 cables de la base chilena Presidente Eduardo Frei Montalva, con fondo de fango y donde se han experimentado vientos de hasta 30 y 40 nudos sin mayores problemas. Aquí se podrá desembarcar para recorrer los atractivos que la zona ofrece, siendo la Península Fildes uno de los Sitios de Especial Interés Científico designado por el Tratado Antártico. Aunque esta bahía es una de las más visitadas del Territorio Antártico, estas visitas son realizadas principalmente por buques logísticos debido a la gran concentración de bases científicas de diversos países.

Previo a la maniobra de fondeo se debe calcular la profundidad al momento de realizarse, para así asegurar la integridad de la nave en caso de haber una sonda muy baja.

Cálculo de sonda al fondeo.

Para el día 16 de enero del 2007, a las 01:28:00.

En Caleta Ardley, Bahía Fildes

Le: 62º 12’,2 S

Ge: 058º 55’,9 W

Puerto Patrón: Puerto Soberanía.

| | **Hora Baja** | **Altura Baja** | **Hora Plea** | **Altura Plea** |
|---|---|---|---|---|
| Fecha | 15 enero | | 16 enero | |
| Puerto Patrón | 23:11 | 1.84 | 2:40 | 1.91 |
| Corrección | (+) 00:24 | (+) 0.01 | (+) 00:13 | (+) 0.07 |
| Puerto Considerado | 23:35 | 1.85 | 02: 53 | 1.98 |

| | | |
|---|---|---|
| Hr Plea | 02:53 | hrs |
| Hr Baja | 23:35 | hrs |
| Duración Flujo | 03:18 | hrs |

| | | |
|---|---|---|
| Hr Plea | 02:53 | Hrs |
| Hr Fondeo | 01:28 | Hrs |
| Diferencia hr | 01:25 | Hrs |

| | | |
|---|---|---|
| Altura Plea | 1,98 | m |
| Altura Baja | 1,85 | m |
| Altura Marea | 0,13 | m |

| | | |
|---|---|---|
| Altura Plea | 1,98 | M |
| Corrección T III | (-) 0,16 | M |
| Altura Fondeo | 1,82 | M |

| | | |
|---|---|---|
| Sonda Carta | 67,00 | m |
| Altura Fondeo | 1,82 | m |
| **Profundidad fondeo** | **68,82** | **m** |

El cálculo arroja una profundidad de 68,82 m al momento del fondeo, lo que es bastante mayor que el calado del buque y por tanto se considera una maniobra segura.

La base Presidente Eduardo Frei Montalva depende la Fuerza Aérea de Chile y está formada por el Centro Metereológico Antártico Presidente Eduardo Frei Montalva, la base aérea Teniente Rodolfo Marsh Martin, y Villa las Estrellas.

- Centro Meteorológico Antártico Presidente Eduardo Frei Montalva.

Fue inaugurado el 07 de marzo de 1969 y tiene por misión recepcionar, analizar y entregar las observaciones meteorológicas de todas las estaciones o bases que se encuentran comprendidas entre los meridianos 20°y 90°W, desde el paralelo 60°a 90° S o a quien la requiera.

Este centro meteorológico, junto a la base Mac Murdo de Estados Unidos y Molodezhnaya de Rusia, se emiten los pronósticos de sus respectivas áreas con tecnología satelital. Toda la información recopilada se envía a la sede de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en Washington, donde se hace el pronóstico general de la Antártica. Esta información es muy valiosa si se considera que todos los frentes que afectan a America Austral nacen en el continente helado.

- Base Aérea Teniente Rodolfo Marsh Martin.

Fue inaugurada el 21 de marzo de 1980 y en la actualidad cuenta con una pista de aterrizaje compactada de 1.300 m de largo por 45 m de ancho a 44 m sobre el nivel medio del mar.

El aeródromo cuenta con una moderna Torre de Control altamente calificado con personal bilingüe que asesora y controla durante las 24 horas del día a todas las aeronaves que operan en el área, además tiene un sistema de luces que permite operar sin restricciones en las largas noches de invierno y sistemas de ayuda a la navegación que permiten aterrizajes en condiciones meteorológicas extremas.

- Villa las Estrellas.

El 9 de abril de 1984 fue inaugurado este poblado, que fue el primero en la Antártica chilena. Villa las Estrellas, junto con la base argentina Esperanza, son las únicas poblaciones estables de civiles en el continente blanco. Opera con 80 personas en invierno y hasta 150 en verano. Adyacente a ella está la Base chilena Escudero, a 200 m la base rusa Bellingshausen, a mayor distancia la base china Great Wall y la uruguaya Teniente Artigas.

Está compuesta por 18 módulos, 14 de ellos son viviendas para las familias y los funcionarios de la Fuerza Aérea, de la Dirección de Aeronáutica Civil, científicos y profesores que permanecen por 2 años en este territorio, y cuenta con los siguientes servicios públicos:

a. Escuela: Depende del ministerio de Educación y cuenta con 2 profesores estables.

b. Hospital: Esta dotado de instrumental de diagnostico, dental y quirófano además de un médico y un enfermero.

c. Oficina del Servicio de Registro Civil e Identificación: El comandante de la base ejerce como oficial del registro civil con todas las atribuciones y deberes que el cargo tiene.

d. Oficina de Correos de Chile: En verano está a cargo de un funcionario de la empresa, mientras que en invierno queda a cargo del comandante de la Base Frei y es el único servicio postal regular en el continente.

e. Banco: Existe una sucursal del Banco de Crédito e Inversiones que opera todo el año y pueden realizar todo tipo de transacciones.

f. Biblioteca: Cuenta con un gran número de libros, revistas y publicaciones de libre uso.

g. Hostería: Está ubicada en las cercanías del aeropuerto y tiene una capacidad para ochenta personas. Es utilizada normalmente por científicos nacionales y extranjeros que efectúan trabajos de investigación.

h. Supermercado: Está abastecido sólo para el uso del personal de Villa las Estrellas.

i. Bazar de recuerdos: Es administrado por las familias del personal de la base y las ganancias son donadas al Consejo Nacional de Protección a la Ancianidad (CONAPRAN).

j. Andarivel: Cuenta con un andarivel de arrastre de 100 m de largo que permite desarrollar actividades de ski en las cercanías de la Base.

k. Comunicaciones: Radio Soberanía, organizada por el mismo personal y familiares para transmitir 24 horas de música y programas diversos. Televisión en directo desde Santiago gracias a una antena parabólica y TV cable interno. Teléfono satelital y teléfono público. Hace unos pocos meses la empresa Entel PCS fue la primera en instalar una antena de telefonía celular.

I. Capilla Católica.

- Bases Profesor Julio Escudero y Julio Ripamonti.

Si bien la Base Profesor Julio Escudero no forma parte de la Base Frei, se ubica a 1 km al SW de ella por lo que constituye también un atractivo para la visita por la importante labor que allí se realiza. Fue inaugurada en 1994, tiene una dotación de 25 personas en verano y 2 en invierno y realiza investigaciones sobre rayos cósmicos, monitoreo ambiental, geodesia, cartografía, ionósfera y auroras, meteorología y sismología.

La Base Julio Ripamonti es una pequeña base científica de verano, se encuentra también próxima a la Base Frei alrededor de 1 km y tiene capacidad para 4 personas que pueden habitarla desde octubre hasta marzo. En el lugar se han desarrollado actividades científicas concernientes a geodesia y cartografía, biología terrestre y estudios sobre pingüinos papúa, adelia y antárticos. Junto a ésta base se encuentra un refugio donado por el Alfred Wegener Institute de Alemania al INACH.

- Capitanía de Puerto Bahía Fildes.

La Capitanía de Puerto de Bahía Fildes fue construida en 1987 y ampliada en 2005. Depende de la Gobernación Marítima Antártica, ubicada en la Base Naval Arturo Prat y cuenta con una dotación permanente desde el año 2006 de 9 personas. Las actuales instalaciones poseen 2 camarotes individuales y 1 entrepuente para ocho personas, más un comedor para 10 personas.

.

Luego de visitar estos lugares y siguiendo con la travesía Antártica se efectuará la maniobra de zarpe a las 21:00 del día 16 de enero del 2007 para salir de Bahía Fildes por el track trazado en la carta 14.212.

5.4.2. Bahía Fildes a Bahía Chile, cartas náuticas 14.000 y 14.230.

Desde la boca de Bahía Fildes se toma rumbo SW atravesando la entrada S del Estrecho Nelson, que separa a la Isla Nelson de la Isla Robert y comunica el Estrecho Bransfield con el Mar de Drake. Se debe tener especial cuidado con la corriente proveniente del NW por el Estrecho Nelson, pues puede alcanzar hasta los 5 nudos,

dejándose sentir con intensidad en la entrada S. Luego se avanzará rodeando la costa S de la Isla Robert hasta llegar a la entrada del Estrecho Inglés.

El Estrecho Inglés separa la Islas Robert de la Isla Greenwich y comunica el Estrecho Bransfield con el Mar de Drake, al igual que el Estrecho Nelson. El Estrecho Inglés es ancho, recto, tiene un largo de 12 millas y puede ser usado por naves de cualquier tamaño. En su entrada NW está obstruido por numerosas islas y bajos fondos, en cambio su acceso SE es mucho más amplio y limpio, sin mayores dificultades para la navegación. Sus aguas se congelan completamente a partir de abril y se descongelan desde octubre quedando libre de témpanos el acceso S antes que el acceso N, lo que sucede a mediados de enero. La navegación de S a N no es difícil, sólo se debe poner atención a las condiciones de neblina que a veces cierran el paso, por lo que se debe hacer una buena observación del radar.

Sobre la navegación por el Estrecho Inglés se avistarán las Puntas Fort William y Bascopé, las que señalan la entrada a Bahía Chile. Bahía Chile es una gran bahía de 2 millas de ancho por 3 millas de saco que está ubicada sobre la costa NE de la Isla Greenwich, presenta abrigo para todos los vientos con un buen tenedero que puede soportar rachas de hasta 75 nudos y es considerada como uno de los mejores sitios para fondear en la Antártica. La costa de la bahía está formada mayoritariamente por glaciares, los que desprenden témpanos durante el verano.

Existen algunas rocas y bajos fondos con los que se debe tener el suficiente resguardo:

- Bajo Toro: Bajo fondo de piedra que aflora en bajamar, ubicado a 6 cables al SW de la Punta Bascopé y avanza unas distancia de 600 m hacia el WSW.

- Roca Joliette: Roca negra de 2 m de altura ubicada a 150 m al NW de la Isla González, avanza 180 m hacia el NW.

- Bajo Maipo: Se encuentra a 3,2 cables al SW de la Isla Gómez, con una sonda minima de 9,4 m en donde los témpanos quedan varados.

- Rocas Skarmeta: Ubicados a 300 m al W del Islote de la Fuente.

- Bajo Maldifassi: Situado a 220 m al W de las Rocas Skarmeta y presenta una sonda mínima de 2,3 m.

- Bajos Punta Ferrer: Esta punta despide hacia el N hasta 2 cables de distancia una serie de islotes, rocas y arrecifes peligrosos.

- Islote Tenorio: situado a 2,2 millas al W de la Punta Bascopé despide islotes en una distancia de 1 cable hacia el E.

A principios de la temporada de verano, cuando aún no se ha desintegrado completamente el pack ice formado durante el invierno, es un poco complicado reconocer la bahía, sobretodo si se presentan malas condiciones de visibilidad. A medida que avanza el verano es fácil reconocerla por las puntas que marcan la entrada, por el Islote de la Fuente y por las antenas y construcciones de la Base Naval Arturo Prat. Tomando como referencia la Punta Fort William nos aproximaremos al sitio de fondeo sugerido por el derrotero de la zona, este punto es al 331º y 5,8 cables de la baliza del Islote de la Fuente sobre una profundidad de 38 m y con fondo de fango, se han experimentado vientos de hasta 45 nudos sin problemas. Aquí se hará desembarco para visitar algunos puntos de interés ya que fue designada Sitio de Especial Interés Científico.

Cálculo de sonda al fondeo.

Para el día 17 de enero del 2007, a las 01:19:00.

En Puerto Soberanía, Bahía Chile

Le: 62º 29’,4 S

Ge: 059º 39’,7 W

Puerto Patrón: Puerto Soberanía.

| | Hora Baja | Altura Baja | Hora Plea | Altura Plea |
|---|---|---|---|---|
| Fecha | 17 enero | | 17 enero | |
| Puerto Patrón | 00:12 | 1,82 | 04:00 | 1,96 |
| Corrección | - | - | - | - |
| Puerto Considerado | 00:12 | 1,82 | 04:00 | 1,96 |

| | | |
|---|---|---|
| Hr Plea | 04:00 | Hrs |
| Hr Baja | 00:12 | Hrs |
| Duración Flujo | 03:48 | Hrs |

| | | |
|---|---|---|
| Hr Baja | 00:12 | Hrs |
| Hr Fondeo | 01:19 | Hrs |
| Diferencia hr | 01:17 | Hrs |

| | | |
|---|---|---|
| Altura Plea | 1,96 | M |
| Altura Baja | 1,82 | M |
| Altura Marea | 0,14 | M |

| | | |
|---|---|---|
| Altura Baja | 1,82 | M |
| Corrección T III | (+) 0,08 | M |
| Altura Fondeo | 1,90 | M |

| | | |
|---|---|---|
| Sonda Carta | 38,0 | M |
| Altura Fondeo | 1,9 | M |
| **Profundidad Fondeo** | **39,9** | **M** |

El cálculo arroja una profundidad de 39,9 m, considerándose una maniobra segura.

El Puerto Soberanía está ubicado sobre la costa oriental de Bahía Chile entre la Península Guesalaga y el Islote de la Fuente. Este puerto es bien protegido de los vientos E que son los vientos predominantes en la zona y de los témpanos a la deriva, pues son detenidos por los bajos fondos descritos anteriormente. Adentrándose en el puerto se ubica la Ensenada Iquique, apropiada sólo para embarcaciones menores por la poca profundidad que presenta. Al fondo se puede avistar las instalaciones de la Base Antártica Capitán Arturo Prat y un muelle para desembarco de pasajeros.

La Base Naval Capitán Arturo Prat es la base chilena más antigua y fue inaugurada el 6 de febrero de 1947, durante el gobierno de Gabriel González Videla. En un principio la base estaba a cargo de la Armada de Chile, pero en el año 2004 pasó a

estar a cargo del gobierno regional y a ser sólo una base de verano. Entre sus principales tareas está prestar comunicaciones, investigaciones relacionadas con la ionósfera y meteorológicas en conjunto con el Centro de Estudios Científicos de Valdivia y la mantención del Laboratorio de Ciencias Marinas del INACH, en conjunto con la Universidad Católica del Norte y Armada de Chile. Aquí también funciona en la temporada estival la Capitanía de Puerto Soberanía.

En la época en que esta base permanece funcionando se pueden ver numerosos buques de la Armada que transportan carga y pasajeros hacia el continente. Existe en Puerto Soberanía estación radiotelegráfica y oficina de Correos

Luego se procederá al zarpe a las 19:00 del día 17 de enero del 2007 tomando como referencia la Punta Bascopé, se mantendrá la derrota a la derecha del eje del canal teniendo los mismos cuidados que a la entrada, hasta salir a las aguas del Estrecho de Bransfield.

5.4.3. Bahía Chile a Isla Decepción, cartas náuticas 14.000 y 14.330.

Nuevamente se pondrá rumbo SW para dirigirse hasta la Isla Decepción navegando por las aguas del Estrecho Bransfield. Este trayecto de la navegación no ofrece ningún cuidado especial, excepto los malos tiempos que puedan presentarse y témpanos a la deriva.

Isla Decepción es un enorme cráter volcánico que mide cerca de 8 millas de diámetro y encierra en su interior una enorme bahía conocida como Puerto Foster, a la cual se tiene acceso por medio del angosto Canal Fuelles de Neptuno. Es el punto más conocido de la Antártica pues durante largos años sus costas interiores permanecieron habitadas por balleneros chilenos y holandeses que se establecían en sus playas durante los veranos para dedicarse a la captura hasta la década del 30 y se estima que un 97% de los buques que recalan a la Antártica, recalan también en Isla Decepción.

Se cree que fue bautizada con el nombre de Isla Decepción por la errónea creencia que en su interior existían tesoros de piratas y bucaneros, que nunca fueron encontrados. Entre 1944 y 1955 Reino Unido, Argentina y Chile establecieron bases permanentes en la isla, las que fueron destruidas en 1967 por una violenta explosión del cráter submarino, por lo cual fue declarada Zona de Especial Interés Científico.

La costa exterior de la Isla Decepción, en su parte E, es alta y acantilada, de alturas sobre los 50 m e inaccesible desde el mar, destacando las Rocas Mohai. La costa N y W también son acantiladas pero se puede fondear en este lugar por tener menos sondaje que el sector E. En la costa S de la isla se encuentran la Roca Nueva y el Islote Lautaro, los cuales sirven como puntos de referencia para hacer la entrada por los Fuelles de Neptuno, y un bajo fondo que se extiende hasta a 5 cables de la costa.

En la costa interior de la isla se ubica el Puerto Foster que, según los navegantes de experiencia, es el mejor lugar en todo el Territorio Antártico para fondear, pues es un lugar protegido de todos los vientos y por que las temperaturas aquí son un poco superior a las del resto del continente, tratándose la Isla Decepción de un cráter que aún presenta actividad volcánica, así el calor irradiado desde el suelo derrite las nieves y el pack-ice que se forma cada invierno; éstas condiciones se pueden ver severamente alteradas por la presencia repentina e inesperadas de fuertes vientos catabáticos.

Las aguas del Puerto Foster se congelan totalmente durante el invierno a partir del mes de junio, formándose un pack-ice que puede llegar hasta los 2 m de espesor y permite caminar de un extremo a otro de la bahía. El deshielo se inicia a fines de septiembre quedando libre en primer lugar las costas producto del calor emitido de la actividad volcánica, ya durante diciembre la bahía queda completamente libre de témpanos. La bahía interior mide 4 millas de largo por 3 de ancho y una sonda máxima de 180 m, en general la navegación en esta zona no está limitada por la sonda que aquí se presenta, sino por la sonda en el canalizo de entrada.

El Canalizo Fuelles de Neptuno se abre sobre la costa SE de la Isla Decepción, entre las Puntas Fildes y Caupolican. Mide solamente 3 cables de ancho, además de estar obstruido por bajos fondos que se desprenden de la Punta Caupolican y por la Roca Ravn, situada en el eje del canal, terminan por dejar una canal de sólo 220 m de ancho, por lo que no es aconsejable tomar este paso de noche. Debido a sus pequeñas dimensiones la entrada es difícil de reconocer a la distancia, siendo de gran utilidad los islotes en su cercanía. Se debe situar la nave 1 y ½ cables al S de la Punta Sureste y poner la proa al 261º en dirección de la baliza de Punta Collins, manteniendo la proa sobre esta baliza se pasará a medio canal entre la Roca Ravn y la Punta Fildes sin peligro alguno.

Luego de pasar los Fuelles de Neptuno se tomará rumbo hacia la Caleta Balleneros con el objetivo de avistar las ruinas que aún se conservan desde principio

del siglo pasado y algunos de los Monumentos Históricos incluidos en el Tratado Antártico por iniciativa chilena, mencionados a continuación:

- La Estación ballenera en Whalers Bay establecida en 1906 por el Capitán Adolfo Andresen, de importancia histórica como ejemplo de una estación ballenera en la Antártica.

- Placa conmemorativa que indica la ubicación de un cementerio en la Isla Decepción donde unos 40 balleneros noruegos fueron sepultados en la primera mitad del siglo XX. El cementerio fue arrasado por una erupción volcánica en febrero de 1969.

- Montón de piedras con placa conmemorativa erigido en las cercanías del cementerio de los balleneros en honor del Capitán Adolfus Amandus Andresen, pionero en establecer en 1906 un centro de operaciones para la caza de ballenas en la isla Decepción.

Esta pequeña caleta se forma inmediatamente al W de la Punta Fildes con profundidades de hasta 90 m con fondo de fango. Mide 6 cables de ancho por 9 cables de saco, sus aguas en bajamar toman elevadas temperaturas desprendiendo vapor de agua. Sus costas son planas y de arena volcánica, donde pueden varar embarcaciones menores.

Al salir de esta caleta se dará un rodeo por toda la costa interior de la Isla Decepción hacia Puerto Foster y el Fondeadero Iquique, dando la oportunidad de observar esta isla que constituye una de las mayores atracciones Antárticas debido a su origen geológico y por la población de un tipo de pingüinos que habitan en la zona. Ya que esta bahía presenta grandes profundidades y está debidamente señalizada con balizas luminosas, no existe peligro alguno para la navegación nocturna.

Luego de pasar por el Fondeadero Iquique se navegará nuevamente por el canalizo de salida y ahora, al contrario de en la entrada, se dejará la baliza de Punta Collins por popa y navegando al 081º se avanzará hasta la posición al S de la Punta Sureste antes indicada para proseguir con la travesía.

5.4.4. Isla Decepción a entrada N del Estrecho de Gerlache, carta náutica 14.000.

Este tramo de la navegación puede presentar complicaciones por los fuertes vientos del NE que llegan desde el océano y que pueden hacer abatir considerablemente la embarcación, además de la presencia de las Rocas Austin. Estas rocas se encuentran en las cercanías del eje del Estrecho de Bransfield al ESE de la Isla Low, forman un grupo de gran tamaño y con alturas de hasta 35 m; en las cercanías de estas rocas se encuentran varados gran cantidad de témpanos, los que deben dejarse con el debido resguardo. No olvidar que la mayor parte del volumen de los témpanos está por debajo de la línea de agua y que pueden girar de manera imprevista. Es este caso se dejarán a 2 millas por la banda de estribor.

## 5.5. ENTRADA N DEL ESTRECHO DE GERLACHE A ESTRECHO DE MATHA.

Siguiendo al S se entrará al Estrecho de Gerlache por entre las Islas Trinidad y Hoseason.

El Estrecho de Gerlache separa el Archipiélago de Palmer de la Península Antártica que en este tramo toma el nombre de Costa de Danco; mide unas 100 millas de longitud en dirección SW, y su ancho varía entre 20 millas en su entrada N hasta 4 millas en la parte más angosta. En general el Estrecho de Gerlache es amplio, profundo y abrigado de los malos tiempos oceánicos, pues la costa a ambos lados está formada por altas montañas cubiertas de nieve que caen a pique al mar.

La aguas del Estrecho de Gerlache permanecen cubiertas por un extenso pack-ice durante todo el invierno, en verano éste se desintegra permitiendo la navegación de todo tipo de buques, teniendo siempre en cuenta los numerosos témpanos a la deriva. Generalmente la mayor concentración de témpanos se puede encontrar en la costa continental, ya que la mayoría de las bahías que aquí se abren al mar están ocupadas por glaciares que descargan en ellas, por lo que es conveniente navegar más próximo a las costas del Archipiélago de Palmer.

Es frecuente que la entrada SW del estrecho permanezca obstruida por los hielos durante todo el verano, para lo cual las embarcaciones convencionales utilizan el canal Schollaert para salir al océano. Como en este caso se está usando un buque rompehielos se seguirá la navegación por este canal hasta el Estrecho Bismarck.

### 5.5.1. Entrada N del Estrecho de Gerlache a Puerto Lockroy, carta náutica 15.000.

La entrada N del estrecho de Gerlache se abre entre la Isla Hoseason y la Isla Trinidad, ambas de costas acantiladas y cubiertas de hielo. La Isla Hoseason es la más septentrional de las islas de Archipiélago de Palmer y, al contrario que la Isla Trinidad, sus costas son sucias y rodeadas de rocas e islotes. Luego se encuentra la Isla Intercurrence que despide rocas e islotes en todo su contorno, además lo divide en dos brazos, transformándose ésta en la parte más sucia del estrecho. El brazo occidental es preferido por ser mucho más limpio, el brazo oriental es más profundo varias rocas e islotes que hay que esquivar.

Avanzando por el canal se encuentran las dos mayores islas del Archipiélago de Palmer: la Isla Brabante y la Isla Anvers. La Isla Brabante tiene un cordón montañoso cubierto completamente de nieve que en algunos puntos sobrepasa los 2.500 m de altura para luego caer abruptamente al mar, estas elevaciones son excelentes puntos de referencia y constituyen un gran espectáculo visual. Se debe tener extremo cuidado pues existen algunos puntos de la costa de esta isla que no han sido sondeados completamente. Separada de la Isla Brabante por el Canal Schollaert se ubica a Isla Anvers. Esta es la más grande del archipiélago mencionado y, al contrario de la anterior, es baja y está cubierta por una capa pareja de hielo por lo que es fácil distinguirlas en la recalada al Canal Schollaert. La Isla Anvers presenta toda su costa occidental destrozada por el continuo ataque de las corrientes oceánicas, despide islotes y rocas hasta a 3 millas de la costa.

Frente al extremo SE de la Isla Anvers se ubica la Isla Wiencke, formando el Canal Neumayer. Este corre paralelo al Estrecho de Gerlache, sus aguas comunican con el Estrecho de Bismarck y mide aproximadamente 17 millas. Es un canal profundo, limpio y de fácil navegación, excepto en su entrada N donde las puntas que lo limitan son sucias y desprenden bajos. La primera mitad del canal tiene un ancho de 8 cables con costas altas que caen abruptamente al mar; la segunda mitad tiene costas más bajas y completamente cubiertas de nieve, aunque muy bien definidas lo que hacen que pueda navegarse sin problemas exclusivamente con radar si no hay la visibilidad adecuada. Al igual que cualquier canal de la zona, éste permanece todo el invierno cubierto con un pack-ice y las condiciones para la navegación se recuperan entre enero y marzo, aunque en ocasiones el canal permanece obstruido por témpanos durante todo el verano, sólo buques de gran poder pueden navegar por sus aguas en estas circunstancias.

Al SW de la Isla Wiencke, separada por el Canal Peltier, se ubica la Isla Doumer, en la boca S del Canal Neumayer. Esta isla está completamente cubierta con una capa de hielo; su costa es alta y acantilada, excepto en la parte N, que es baja y queda libre de hielos en verano. Sobre la costa S de la isla, a 3 cables al NE de la Punta Bay se encuentra la Sub Base chilena Yelcho a cargo del Instituto Antártico Chileno. La Base tiene capacidad para albergar a 8 personas como mínimo y hasta 22 en caso de emergencia, y permanece habitada por el personal del INACH sólo durante la época de verano. Sirve como refugio en caso de tener que invernar en este lugar, y está equipada con víveres, combustible, un embarcadero, una pluma con capacidad de 1.500 kg para la faena de abastecimiento, y una loza para helipuerto.

A la altura del Puerto Angamos se tomará el Canal Peltier para acceder a Puerto Lockroy. El Canal Peltier es navegable para buques de tamaño moderado y presenta algunos peligros para la navegación: en su entrada N hay una sonda de 8,5 m indicada en las cartas, a la cual se debe dejar prudente resguardo.

5.5.2. Derrota en Puerto Lockroy, carta náutica 15.215.

Fue descubierto por la Expedición Francesa de 1903, y bautizado con ése nombre en honor al político francés que gestionó el apoyo económico ante el gobierno de la época para la expedición de Jean Baptiste Charcot. Permaneció como puerto base de buques balleneros y operaciones militares británicas durante la 2º guerra mundial, para luego convertirse en una base de investigación científica.

Desde 1996 la base, ubicada en el Islote Goudier, fue restaurada y hoy es un museo perteneciente a la United Kingdom Antarctic Heritage Trust, mantenida gracias a los ingresos que genera la tienda de recuerdos del museo, además de ser designado como sitio histórico por el Tratado Antártico. En este lugar se lleva a cabo una investigación sobre el impacto del turismo sobre las colonias de pingüinos que habitan la zona, así la mitad de la isla está abierta al turismo mientas la otra mitad está reservada a la vida natural de las aves. Hasta el momento no se han encontrado impactos sobre la vida de éstos, configurándose éste como uno de los destinos turísticos más populares en la Antártica.

Puerto Lockroy está ubicado en la costa occidental de la Isla Wiencke, en la entrada N del Canal Peltier y se forma entre las Puntas Flag y Lècuyer. Es una bahía de pequeñas dimensiones que está obstruida en su entrada por un grupo de islotes la que protege de los témpanos, pero que reducen la entrada a un canalizo de sólo 220 m de ancho.

El puerto está bien defendido de los vientos predominantes del E y ofrece profundidades moderadas para el fondeo, con fondo parejo y limpio. Se fondeará en esta bahía en el sitio recomendado por el derrotero, esto es, al 345º y a 2,2 cables de la Punta Besnard en 35 m de agua con fondo de fango. Este sector es el mejor fondeadero al S del Estrecho de Bransfield, si se avecinan malos tiempos lo mejor permanecer en este sector hasta que las condiciones mejoren. Al fondear se debe considerar el radio de borneo del buque, el cual no debe pasar a menos de 80 m de un

extenso glaciar ubicado en la costa N de la bahía, pues despide bajos fondos que no están señalizados en las cartas.

A pesar que en cada maniobra de fondeo es importante realizar el cálculo respectivo de la sonda para el momento en que se realice, en éste caso no es posible realizarlos, ya que no existe información en las Tablas de Mareas nacionales para este lugar sobre las correcciones a aplicar respecto del puerto base. De todas formas se trata de una maniobra segura pues se trata de un sitio con un nivel de reducción de sonda de 35 m., y considerando el calado del buque escogido, se descarta cualquier tipo de problema.

Para desembarcar en el museo se debe rodear el islote por el W y acoderarse a unas rejeras abandonadas. En el extremo existe también un pequeño muelle cuyo acceso es difícil ya que la costa se presenta muy sucia, por lo que de preferencia se hará en embarcaciones menores. Luego de recorrer las instalaciones del museo y la estación meteorológica abandonada, que en la actualidad sirve como refugio con provisiones y combustible, se procederá al embarco y posterior zarpe a las 12:00 del día 19 de enero del 2007.

5.5.3. Puerto Lockroy a Estrecho Matha, carta náutica 15.000.

Después de abandonar Puerto Lockroy se continuará navegando por el Canal Neumayer hasta la boca E del Estrecho Bismarck.

El Estrecho de Bismarck mide 1,8 millas de largo en sentido E – W y 11 millas de ancho. Se extiende desde el Cabo Errera al S de la Isla Wiencke hasta el Cabo Alberto de Mónaco en el extremo SW de la Isla Anvers. En general el estrecho está lleno se islas e islotes que avanzan desde el S por el Grupo Wauwermans hasta la mitad del canal, en su boca oceánica se encuentra parcialmente obstruido por islotes y rocas que se prolongan desde el Cabo Alberto de Mónaco, y en su rivera S los roqueríos e islotes se prolongan por cerca de 30 millas hacia el océano.

El Estrecho Bismarck tiene 2 pasos: uno al N y otro al S. El paso S está obstruido por rocas y bajos fondos, y sólo se recomienda navegar en su sector occidental para acceder al Canal Lemaire. El paso N, entre las Islas Wauwermans y la costa S de la Isla Anvers, puede ser navegado por embarcaciones de cualquier tonelaje, sólo se debe tomar en consideración los islotes y rocas en su boca occidental.

Las condiciones de los hielos en el Estrecho de Bismarck son variables de una año a otro. Generalmente el hielo que cubre sus aguas empieza a fracturarse en diciembre, quedando libres desde la mitad de enero hasta principios de abril. Es fácil que este paso se cierre con témpanos provenientes tanto del océano como del Estrecho de Gerlache.

Una vez dejando el Grupo de Islas Wauwermans se iniciará el último tramo de la navegación Antártica, se gobernará la embarcación al SW en torno a la costa occidental de las Islas Biscoe para aproximarse al Estrecho Matha. En esta parte la navegación está muy expuesta a los malos tiempos oceánicos del Mar de Bellingshausen.

Toda la costa siguiente está muy afectada por la erosión oceánica y frente a ella se extiende una zona de aguas sucias que despiden islas, islotes, rocas y bajos fondos que pueden alcanzar hasta 30 millas desde la costa, además hay que considerar que algunos levantamientos de estas zonas son aproximados, por lo que se debe navegar con extremo cuidado y sin confiarse enteramente en las cartas náuticas. Algunos de estos peligros están rodeados por aguas profundas y el radar puede confundirlos con pequeños témpanos a la deriva, por lo que se hace indispensable contar con vigías situados en los puntos más altos y en la proa para que la navegación sea completamente segura.

El deshielo se produce lentamente en esta zona, pues el Estrecho Matha puede estar libre del pack-ice recién a mediados de marzo para volver a congelarse en abril, aunque se ha observado que los temporales más violentos son capaces de fracturar las capas de hielo y movilizarlas, dejando algunos intervalos libres de hielo. Aunque debe insistirse que las condiciones de los hielos pueden ser muy variables de una temporada a otra.

En verano los vientos predominantes son del NE y en invierno del SW. Por lo general después de un día de calma y visibilidad se avecinan temporales que pueden alcanzar hasta fuerza 12 en la escala Beaufort, aunque traen un aumento en la temperatura. En verano las calmas y la nubosidad son mayores, si ésta condición es acompañada por vientos S, entonces la humedad será muy baja, en cambio los vientos N traen más humedad al ambiente.

Luego de salir del Estrecho Bismarck se avistará al E el grupo de Islas Biscoe, las cuales se extienden de NE a SW paralelo a la costa de la Península Antártica,

separadas por el Canal Grandidier. En general las islas tienen altura promedio de 300 m y cubiertas por una capa de hielo que cae abruptamente al mar, condición que impide el desembarque en ellas ya sea por la altura, por la intensa neblina permanente, por la presencia de rocas, y por no estar debidamente cartografiadas. De N a S las más importantes son: Islas Pitt, Isla Renaud, Isla Rabot, Isla Serrano e Isla Watkins.

Entre las Islas Renaud y Serrano, que son las más extensas del grupo Biscoe, se encuentra el Estrecho Pendlenton que es el único completamente sondeado en esta zona y conecta al Canal Grandidier con el océano. Las costas occidentales de estas islas son sucias hasta 3 millas de sus costas y debe dejarse el suficiente resguardo. La isla más austral de este grupo es la Isla Watkins y al S de ésta se encuentra el Estrecho Matha.

## 5.6. ESTRECHO MATHA A BAHÍA NENY.

La navegación en este último tramo está marcado por el pack ice que puede estar todavía integro a la fecha de recalada al lugar. Éste encuentra su límite en los 68º latitud S durante el verano según las observaciones proporcionadas por distintas estaciones meteorológicas, pudiendo variar de un año a otro y puede alcanzar hasta los 4,5 m de espesor.

### 5.6.1. Estrecho Matha a la boca de Bahía Neny, carta náutica 16.000.

El Estrecho Matha separa la Isla Watkins de la Isla Adelaida y a pesar de que no se tomará el canal, es importante conocer las intensas corrientes que alcanzan velocidades de hasta 3 nudos, la dirección de ésta se puede apreciar claramente en la deriva de los témpanos.

Luego de atravesar la boca occidental del Estrecho Matha se rodeará la Isla Adelaida por su costa W, ya que el canal que la separa del continente tiene una angostura en su medianía y se encuentra obstruido por islas y barreras de hielo, corriendo el peligro de quedar atrapado entre ellas.

La Isla Adelaida presenta una alta cadena montañosa cercana a su costa E que declina suavemente hacia la costa W iniciando aquí una caída abrupta al mar y que está formada exclusivamente por hielo. La costa W de la isla es pareja y limpia desde el Cabo Marcart al Cabo Adriazola, aunque frente a ella se acumulan grandes masas de hielos flotantes que dificultan la aproximación. Al S del Cabo Adriazola y hasta el Cabo Alexandra la costa es sucia y se desprenden los Islotes Henkers hasta 4 millas al S y las Islas Amiot ubicadas entre 7 y 11 millas al W de la costa; se debe extremar la vigilancia en esta zona ya que a veces el radar puede confundir las islas con los témpanos varados en sus inmediaciones y no acusar su presencia.

A la cuadra del Cabo Adriazola se tomará rumbo al SE hacia Bahía Margarita. Esta gran bahía se abre sobre la costa occidental de la Tierra de O’Higgins entre el Cabo Adriazola en la Isla Adelaida y al Cabo Arauco en la Isla Alejandro I. Mide unas 70 millas tanto de ancho como de saco y en sus aguas existen numerosos grupos de islas, islotes, bajos fondos y rocas que obligan a extremar la vigilancia pues tienden a confundirse con los témpanos varados o hielos flotantes en sus proximidades.

Los vientos dominantes en la bahía son del NE y pueden alcanzar fuerza 12 en la escala Beaufort, se tiene registro de fuertes temporales de viento de hasta 100 nudos del NW en temporada de invierno.

Las aguas en esta zona permanecen cubiertas por hielos durante casi todo el año, disponiéndose de su acceso desde mediados de enero hasta abril. Aleatoriamente se ha observado que algunos años los hielos no se retiran, haciendo imposible la navegación incluso para los rompehielos que corren el riesgo de quedar atrapados entre ellos. Esto sucede principalmente cuando los fuertes vientos N empujan los hielos flotantes hacia el S provocando una gran concentración hasta compactarse; en algunas ocasiones los vientos del E son capaces de abrir pasos entre los hielos y en otras simplemente queda cerrado el paso durante todo el verano.

Para aproximarse a ésta bahía se debe alejar de la costa de Isla Adelaida, a fin de rodear por el W el pack ice que bloquea la costa durante casi todo el año y en la latitud de Bahía Neny poner rumbo E, a medio canal entre los grupos de Islotes Maurice Faure y Kiriwood hasta avistar la Bahía Neny; buenas condiciones de visibilidad puede avistarse desde unas 40 millas de la costa. Los Islotes Maurice Faure se extienden por 9 millas de NW a SE, siendo bajos y poco visibles y sólo se pueden avistar por la cantidad de témpanos varados en sus inmediaciones; a diferencia de los Islotes Kirkwood, ubicados a 16 millas al SSW de los anteriores, que superan los 90 m y se extienden por 6 millas de E a W.

5.6.2. Derrota en Bahía Neny, carta náutica 16.411.

Bahía Neny, el punto más austral de la travesía, se abre al E de la isla del mismo nombre, entre la Isla Stonington por el N y la Punta Cuatro Romano por el S. Al fondo de su saco existe un glaciar que descarga gran cantidad de témpanos. La Isla Neny despide bajos fondos y rocas por toda su costa, como las Rocas Burton que se ubican a 9 cables al S.

En el límite N de la Bahía se ubica la Isla Stonington, que está unida al continente por un istmo de hielo. En esta isla se encuentran las construcciones de la base británica Stonington, abandonada por ese país para centralizar sus investigaciones en sus bases más grandes, hoy está convertida en un museo.

El ingreso a Bahía Neny puede hacerse por el N y por el S de la isla, aunque se recomienda el paso S pues el N es más estrecho y no está completamente sondado. La entrada S es amplia y de fácil acceso, sólo hay que mantenerse a una distancia prudente de la Rocas Burton. Se fondeará al 341º y 1,66 millas de la Punta Cuatro Romano, fondeadero experimentado en 58 m de agua sobre tenedero regular que hace garrear el ancla con los vientos S, por lo que la nave se debe mantener sobre las máquinas. Se puede desembarcar en la costa SW de la isla donde hay una pequeña playa de piedra, apta para varar una embarcación pequeña.

Al igual que en Puerto Lockroy, no se registran datos para la predicción de las mareas en Bahía Neny. Como el sitio de fondeo cuenta con 58 m de agua no reviste peligro de varada.

En este lugar se puede realizar una visita al museo y alguna caminata si las condiciones climáticas lo permiten. En general el desembarco debe ser breve, teniendo siempre presente que las condiciones generales pueden variar de un momento a otro y hacer muy difícil el embarque o el zarpe, recordar que este lugar no ofrece suficiente abrigo a los malos tiempos. El zarpe será a las 00:22 hrs del día 22 de enero del 2007 para volver por la travesía hacia el N.

5.7. BAHÍA NENY A ESTRECHO MATHA, carta náutica 16.000.

Luego del zarpe programado se tomará la misma ruta que se usó para ingresar en el apartado anterior, se debe tener en cuenta que cualquier variación en las condiciones climáticas puede ser causante de un cambio en la derrota o esperar mejores condiciones en la bahía.

## 5.8. ESTRECHO MATHA A ENTRADA N DEL ESTRECHO DE GERLACHE.

Esta parte de la navegación se seguirá la misma ruta anterior hasta el grupo de Islas Wauwermans, donde se tomará camino a Bahía Paraíso.

### 5.8.1. Estrecho Matha a Canal Lientur, carta náutica 15.000.

En este tramo se navegará siguiendo la misma derrota anterior, esto es, atravesando la boca occidental del Estrecho Matha para luego bordear la costa W de las Islas Biscoe hasta aproximarse al Estrecho Bismarck dejando el grupo de Islas Wauwermans por la banda de estribor.

Por medio del Estrecho de Bismarck se navegará hasta Bahía Flandres, para luego acceder al Canal Lientur, que constituye la entrada a Bahía Paraíso.

Bahía Flandres es una gran bahía de 12 millas de ancho por 14 de saco se abre en el extremo S del Estrecho de Gerlache en la costa de la Tierra de O'Higgins. Presenta gran cantidad de hielos flotantes a la deriva que a veces pueden cubrirla completamente, pues en su costa descargan numerosos glaciares y también porque no presenta defensa ante los vientos W que arrastran los témpanos oceánicos por el Estrecho de Bismarck hacia en interior, aunque está bien defendida de los vientos de componente E ya que se encuentra rodeada de grandes montes. En esta bahía se encuentran las Islas Poisson y la Isla Rojas Parker, cercanas al eje medio del canal y que despiden rocas a su alrededor, al igual que el Cabo Willems. Se debe navegar a medio canal entre ambos alejándose de éstos peligros para tomar el Estrecho Gerlache hasta acercarse al Islote Lautaro, que marca la entrada W del Canal Lientur.

El Canal Lientur, junto con el Canal Aguirre Cerda y el Canal Lautaro, es uno de los 3 canales de acceso a Bahía Paraíso, determinados por las Islas Lemaire y Bryde. De los tres canales se pude desechar el Lautaro por no estar completamente sondado y el Aguirre Cerda por presentar fuertes corrientes que pueden alcanzar los 5 nudos. El Canal Lientur en cambio tiene un ancho medio de 2 millas y aunque la costa S de la Isla Lemaire despide roqueríos, éstos quedan cerca de la costa. El mayor peligro lo constituyen los témpanos que producto de las corrientes se desplazan por el canal.

Para ingresar al Canal Lientur se debe tomar el canalizo al N de la Isla Lautaro, ya que el canalizo S generalmente está obstruido por témpanos varados. Una vez recorridas las 5 millas de canal, se encontrará en Bahía Paraíso.

5.8.2. Derrota en Bahía Paraíso, carta náutica 15.341.

Bahía Paraíso está ubicada en la Costa de Danco, frente al extremo N de la Isla Wiencke. A pesar de ser una bahía limpia y profunda no es recomendada fondear ya que, además de los fondos de roca, la sobreexposición a los hielos que son arrastrados por las corrientes constituye un fuerte peligro, por lo que es conveniente hacer de este lugar un fondeadero de paso y estar siempre sobre el poder de las máquinas. Por el contrario Bahía Paraíso está muy bien abrigada de los vientos predominantes del S y SW, y de los malos tiempos por las altas montañas de la Isla Anvers y por sus propias costas acantiladas ocupadas por glaciares.

Las aguas de la bahía se empiezan a congelar a partir de abril para completarse en julio, donde un espeso pack ice cubre la bahía de manera que se puede caminar libremente por ella, excepto el Canal Aguirre Cerda que gracias a sus fuertes corrientes permanece sin cubrirse completamente de hielo. El deshielo se inicia en agosto para quedar totalmente libre en septiembre.

Se estima que el 100% de los buques de pasajeros que visitan la Antártica recalan en Bahía Paraíso, por lo que constituye el gran atractivo del continente blanco. Con el objetivo de visitar los alrededores y la Base Gabriel González Videla se fondeará al 325º y 35 m de la Base por ser éste un lugar bien experimentado, donde se evaluarán las condiciones de marea para desembarcar.

Cálculo de sonda al fondeo.

Para el día 24 de enero del 2007, a las 09:50:00.

En Bahía Paraíso

Le: 64º 49’,6 S

Ge: 062º 51’,8 W

Puerto Patrón: Rada Covadonga.

| | **Hora Baja** | **Altura Baja** | **Hora Plea** | **Altura Plea** |
|---|---|---|---|---|
| Fecha | 24 enero | | 24 enero | |
| Puerto Patrón | 04:19 | 1,22 | 10:31 | 2,82 |
| Corrección | (+) 00:15 | (+) 0,27 | (+) 00:09 | (*) 0,67 |
| Puerto Considerado | 04:34 | 1,49 | 10:40 | 1,89 |

(*) Este signo indica que la corrección debe multiplicarse, y no sumarse, con la altura de la marea del Puerto Patrón para obtener la altura de la marea en al Puerto Considerado

| | | |
|---|---|---|
| Hr Plea | 10:40 | hrs |
| Hr Baja | 04:34 | hrs |
| Duración Flujo | 06:06 | hrs |

| | | |
|---|---|---|
| Hr Plea | 10:40 | hrs |
| Hr Fondeo | 09:50 | hrs |
| Diferencia hr | 00:50 | hrs |

| | | |
|---|---|---|
| Altura Plea | 1,89 | m |
| Altura Baja | 1,49 | m |
| Altura Marea | 0,40 | m |

| | | |
|---|---|---|
| Altura Plea | 1,89 | m |
| Corrección T III | (-) 0,02 | m |
| Altura Fondeo | 1,87 | m |

| | | |
|---|---|---|
| Sonda Carta | 36,00 | m |
| Altura Fondeo | 1,87 | m |
| **Profundidad fondeo** | **37,87** | **m** |

El cálculo arroja una profundidad de 37,87 m al momento del fondeo, lo que es bastante mayor que el calado del buque y por tanto se considera una maniobra segura.

La Base Gabriel González Videla fue construida por la Fuerza Aérea de Chile e inaugurada el 12 de marzo de 1951 en Bahía Paraíso, constituyendo la primera base que la Fuerza Aérea Chilena estableció en el territorio Antártico. En sus inicios su misión era el desarrollo de actividades científicas relacionadas con la meteorología, oceanografía y glaciología y lleva ese nombre en honor al primer jefe de estado del mundo que pisó la Antártica, en febrero de 1948. En 1964 fue desalojada hasta la temporada de 1968 a 1969. Al construirse el Centro Meteorológico Presidente Eduardo Frei Montalva en isla Rey Jorge la FACH concentró allí todos sus esfuerzos y desocupó definitivamente la base Gabriel González Videla. En la actualidad cumple funciones de

Capitanía de Puerto en Bahía Paraíso y como de refugio para exploradores o científicos.

Luego de un recorrido por el lugar, se embarcará y zarpará a las 20:00 hrs del día 24 de enero del 2007.

5.8.3. Canal Lientur a entrada N del Estrecho de Gerlache, cata náutica 15.000.

La derrota por el Canal Lientur será la misma que en su entrada hasta posicionarse al N de la Isla Lautaro.

Al dejar el Canal Lientur se navegará al rumbo N por cerca de 8 millas para llegar a la boca N del Canal Neumayer y desde ahí navegar por el Estrecho de Gerlache hasta su entrada N, entre las Islas Hoseason y Trinidad, siguiendo la ruta descrita anteriormente.

5.9. ENTRADA N DEL ESTRECHO DE GERLACHE A ISLA REY JORGE, carta náutica 14.000.

Al salir por las Islas Hoseason y Trinidad al Estrecho de Bransfield se navegará bordeando en la costa occidental de la Tierra de O’Higgins, las Isla Torre y Astrolabio hasta cruzar el estrecho, y luego de un rodeo al extremo NE de la Isla Rey Jorge para comenzar la travesía de retorno a través del Mar de Drake.

## 5.10. ISLA REY JORGE A ISLA LENNOX, carta náutica 580.

La navegación en el Paso Drake no tiene mayores complicaciones que las que puedan desprenderse del mal tiempo imperante. Se debe tener un acabado conocimiento de la situación y de las condiciones meteorológicas durante los días que dure la travesía hasta Bahía Nassau, de lo contrario de puede fondear a la espera de mejores condiciones en alguna de las bahías de la Isla Rey Jorge.

Al igual que en el apartado 5.3, en este tramo se navegará por estima al rumbo 325º. Se realizará otro calculo de posición con astros, Alessio, con el fin de posicionar correctamente la nave, que producto de los fuertes vientos oceánicos pudo derivar del track de navegación. Antes de este cálculo nuevamente se calculan las horas de penumbra para tomar las alturas de los astros.

Calculo del Diagrama de Luz y Oscuridad.

Navegando desde las Islas Piloto Pardo a Isla Lennox

Para la noche del 26 al 27 de enero del 2007

| Ocaso | | | Orto | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Le | 59º 16',38 | S | Le | 57º 21',1 | S |
| Ge | 060º 59',1 | W | Ge | 063º 05',3 | W |
| Hz | 21:40 | Hrs | Hz | 5:20:00 | hrs |
| z | 3 | (+) | z | 3 | (+) |

| | Ocaso Sol | Fin Crepúsculo | Comienzo Aurora | Orto Sol |
|---|---|---|---|---|
| Fecha | 26 enero | 26 enero | 27 enero | 27 enero |
| HmL | 20:31:00 | 23:02:00 | 01:56:00 | 04:04:00 |
| C x Lat | (+) 00:08:00 | - | (-) 00:25:00 | (-) 00:08:00 |
| HmL corregida | 20:39:00 | 23:02:00 | 01:31:00 | 03:56:00 |
| Ge (hrs) | (+) 04:03:56 | (+) 04:03:56 | (+) 04:12:21 | (+) 04:12:21 |
| Hm Gr | 24:42:56 | 27:05:56 | 05:43:21 | 08:08:21 |
| Z | (+) 3 | (+) 3 | (+) 3 | (+) 3 |
| Hz L | 21:42:56 | 00:05:56 | 02:43:21 | 05:08:21 |
| Fecha | 26 enero | 27 enero | 27 enero | 27 enero |

| | Orto Luna | Ocaso Luna |
|---|---|---|
| Fecha | 26 enero | 27 enero |
| HmL | 21:56:00 | 15:57:00 |
| C x Lat | (-) 00:09:00 | (+) 00:10:00 |
| HmL corregida | 21:47:00 | 16:07:00 |
| C x G | (+) 00:02:00 | (+) 00:15:00 |
| HmL corregida | 21:49:00 | 16:22:00 |
| Ge (hrs) | (+) 04:03:56 | (+) 04:23:56 |
| Hm Gr | 25:52:56 | 20:45:56 |
| z | (+) 3 | (+) 3 |
| HzL | 22:52:56 | 17:45:56 |

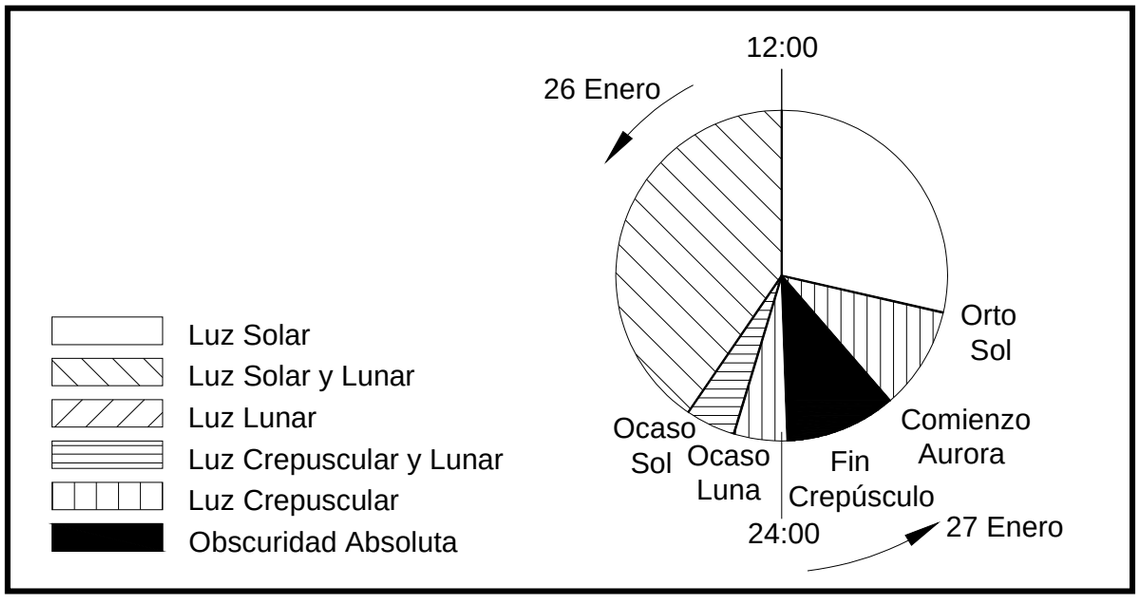



Figura 5.8: Esquema del Diagrama de luz y oscuridad para la noche del 26 al 27 de enero del 2007.

Del diagrama de luz y oscuridad calculado se puede deducir que son muy pocas las horas de oscuridad absoluta, pues la latitud en que se navega y la cercanía al solsticio de diciembre así lo permite. Los intervalos indicados para tomar las alturas de los astros son entre las 22:52 del día 26 de enero y las 00:05 del día 27 de enero, y desde las 02:43 hasta las 05:08 del día 27 de enero.

Las consideraciones respecto de los equipos, instrumentos y correcciones necesarios para el siguiente cálculo de Alessio son las mismas que las expuestas para el cálculo anterior.

Cálculo de posicionamiento con 3 rectas de astros simultáneas (Alessio).

Navegando de las Islas Piloto Pardo a Isla Lennox.

Para el día 26 de enero del 2007 en:

Le: 57º 15',3 S

Ge: 063º 35',12 W

| | **Canopus** | | **Peacock** | | **Diphda** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HzL | 23:08:00 | | 23:12:00 | | 23:14:00 | |
| HCr | 20:08:00 | | 20:12:00 | | 20:14:00 | |
| Ea | (+) 00:00:01 | | (+) 00:00:01 | | (+) 00:00:01 | |
| HmGr | 20:08:01 | | 20:12:01 | | 20:14:01 | |
| AHGr Aries | 65º 43',9 | | 65º 43',9 | | 65º 43',9 | |
| C x m | (+) 02º 00',6 | | (+) 03º 00',7 | | (+) 03º 30',8 | |
| AHGr Aries c | 67º 44',5 | | 68º 44',6 | | 69º 14',7 | |
| AHS | 263º 57',9 | | 053º 27',3 | | 349º 00',9 | |
| Σ | 331º 42',4 | | 122º 11',9 | | 418º 15',6 | |
| (- 360º) | - | | - | | (-) 360º | |
| AHGr c | 331º 42',4 | | 122º 11',9 | | 058º 15',6 | |
| Ge | 063º 35',1 | W | 063º 35',1 | W | 063º 35',1 | W |
| P (Diagrama 1) | 91º 52',7 | E | 58º 36',8 | W | 05º 19',5 | E |
| AHL | 268º 07',3 | | 58º 36',8 | | 345º 40',5 | |
| Dec | 52º 42',0 | S | 56º 42',9 | S | 17º 57',0 | S |
| Le | 57º 15',3 | S | 57º 15',3 | S | 57º 15',3 | S |
| **Ac** | 41º 10',3 | | 59º 03',6 | | 50º 29',7 | |
| **z** (Diagrama 2) | 53º 34',4 | | 65º 40',5 | | 07º 58',7 | |
| Ai | 41º 12',0 | | 59º 04',0 | | 50º 30',0 | |
| Ei | (-) 00º 01',5 | | (-) 00º 01',5 | | (-) 00º 01',5 | |
| Ao | 41º 10',5 | | 59º 02',5 | | 50º 28',5 | |
| Dip | (-) 00º 07',5 | | (-) 00º 07',5 | | (-) 00º 07',5 | |
| Aap | 41º 03',0 | | 58º 55',0 | | 50º 21',0 | |
| $CtA_2$ | (-) 00º 01',1 | | (-) 00º 00',6 | | (-) 00º 00',8 | |
| $CtA_3$ | - | | - | | - | |
| $CtA_4$ | 00º 00',0 | | - | | - | |
| C total | (-) 00º 01',1 | | (-) 00º 00',6 | | (-) 00º 0',8 | |
| **Av** | **41º 01',9** | | **58º 54',4** | | **50º 20',2** | |
| **I** | **(-) 00º 08',4** | | **00º 09',2** | | **(-) 00º 09',5** | |
| **Azv** (Diagrama 3) | **126º 25',6** | | **245º 40',5** | | **007º 58',7** | |

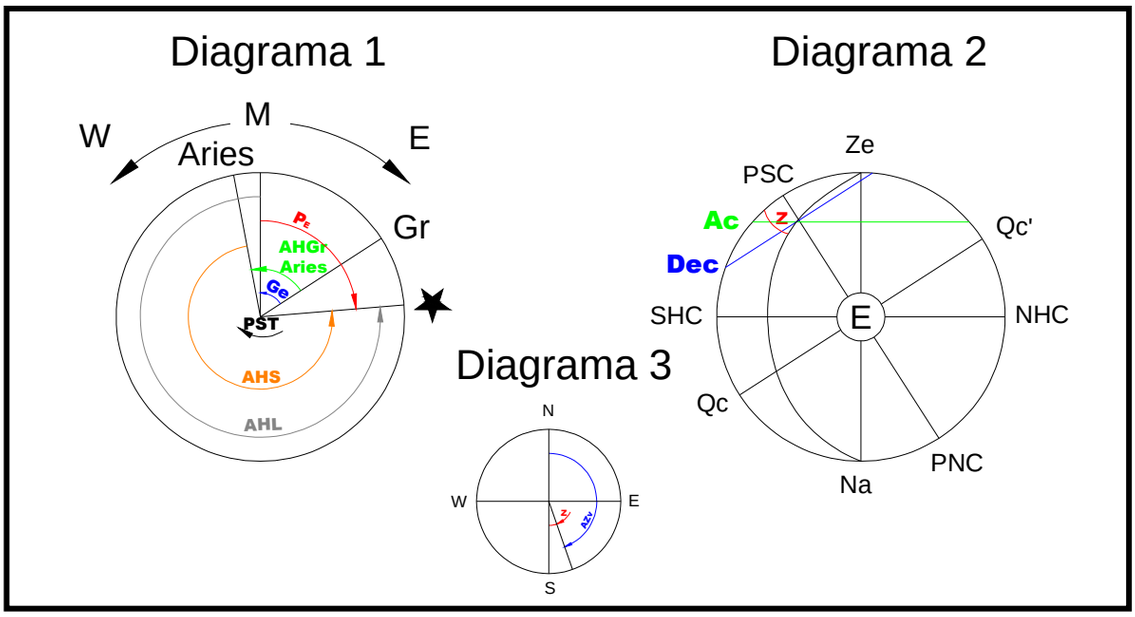



Figura 5.9: Diagramas para estrella Canopus.

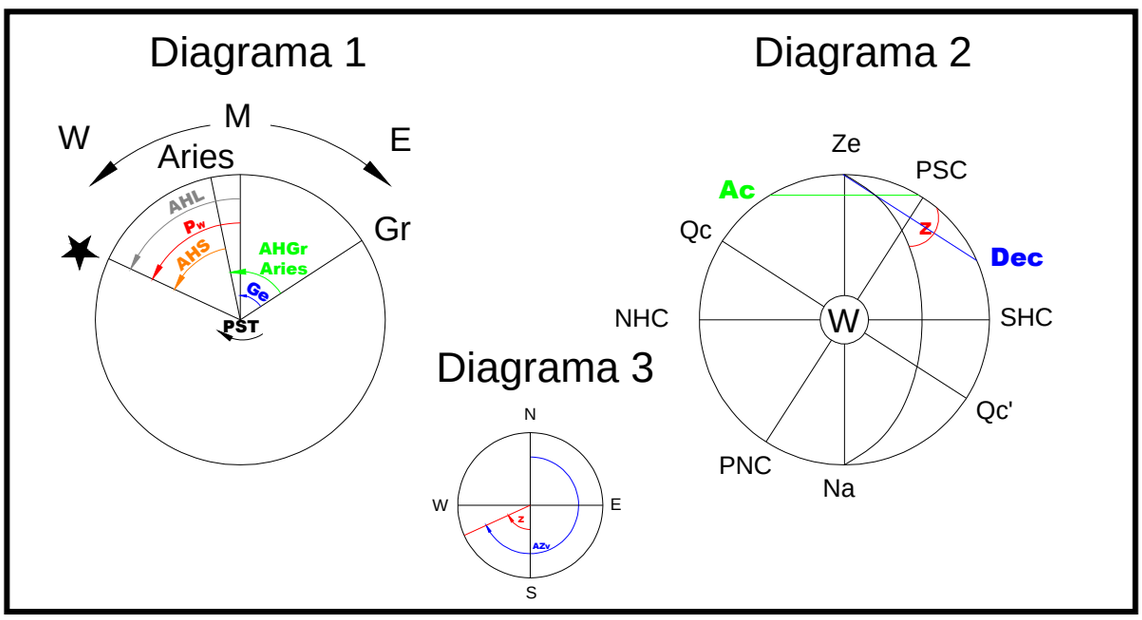



Figura 5.10: Diagramas para estrella Peacock.

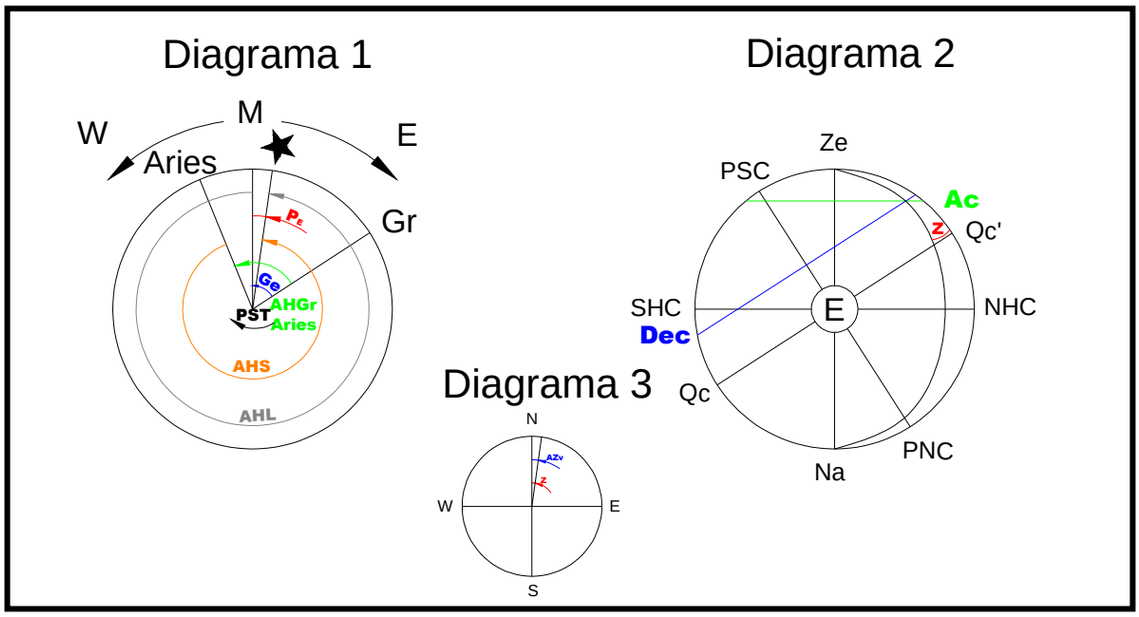



Figura 5.11: Diagramas para la estrella Diphda.

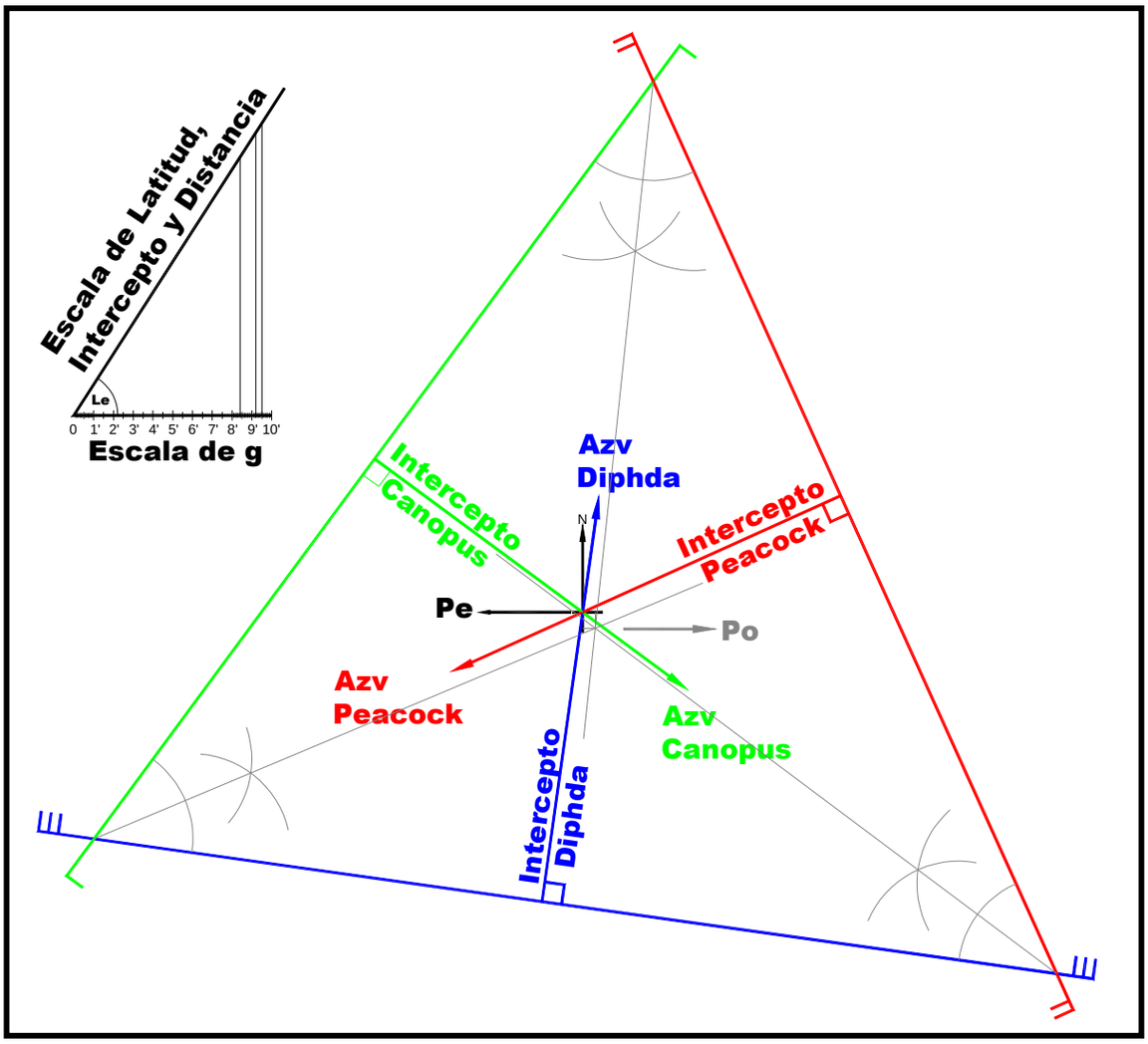



Figura 5.12: Esquema de las 3 rectas simultáneas de los astros, intercepto y azimut.

El resultado del cálculo arroja una diferencia de aproximadamente 1 km entre la posición real del buque (Po) y la supuesta según la navegación por estima (Pe), por lo que se debe corregir el rumbo para ubicarse nuevamente dentro del track de navegación. Cabe destacar la corrección de la posición debe hacerse desde el momento en que se toma la altura del primer astro.

## 5.11. ISLA LENNOX A PUNTA ARENAS.

La derrota a seguir desde la Isla Lennox hasta Punta Arenas será la misma seguida al inicio de la travesía, pero como la navegación en canales siempre es difícil y requiere de la mayor de atención, referencias y experiencias posibles es que se darán algunas indicaciones adicionales en el nuevo sentido de avance.

### 5.11.1. Isla Lennox a Canal Beagle por Canal Murray, cartas náuticas 1.301 y 1.302.

Luego de ingresar a las aguas de Bahía Nassau al S de la Isla Lennox se navegará bordeando la costa S de la Isla Navarino, hasta avistar la Isla Vauverlandt que separa las costas de la bahía, para dejarla por la banda de babor y así ingresar al Seno Ponsonby, que constituye la entrada S al Canal Murray.

El Seno Ponsonby es un paso limpio y profundo en el que sólo se debe tener en cuenta que el extremo SW de la Isla Navarino frente a la Isla Milne Edwars despide rocas e islotes hasta una distancia de 1 y ½ millas de la costa. Luego para entrar al Canal Murray se debe navegar al W de la Isla Button.

El Canal Murray se navega a medio canal, excepto en los bajos fondos mencionados en los que se deberá acercar a la costa de la Isla Navarino, para luego entrar en la Angostura Murray en la que deben realizar dos caídas pronunciadas para evitar el acercamiento a la costa. En la boca N del canal nos encontramos con los grupos de Islas Picapedreros por el E de Islotes Campamentos por el W los cuales nos indican estar en las aguas del Canal Beagle.

### 5.11.2. Canal Beagle a la boca occidental del Canal O’Brien, carta náutica 1.206.

En el tramo entre las Islas Picapedreros y la Punta Dividide por el Canal Beagle se debe llevar la nave a medio canal, aproximándose a la costa N frente a las Rocas Contramaestre Perón.

Como 1 milla antes de pasar a la cuadra del Faro Punta Yamana se reconocerá la Punta Dividide en la Isla Gordon, que separa el brazo Sudoeste del Noroeste del Canal Beagle. El paso se tomará a medio canal entre la Punta Dividide y la Isla del Diablo, se descarta completamente el paso al NE de la isla ya que no existe información en ese sector. El resto de la navegación por el canal se hace sobre su eje, enfrentando

en la costa N los ventisqueros Holanda, Italia, Francia, Alemania y Romanche, y por la costa S la Bahía Romanche y la Caleta Voilier desde donde el canal toma dirección W. en este sector se forman varias bahías sobre la costa N, aunque no es recomendable entrar en ellas pues en su mayoría están obstruidas en su entrada por cordones de rocas. En la costa S se encuentra la Bahía Tres Brazos que marca el inicio del Canal Darwin, el cual es separado del brazo Noroeste del Canal Beagle por la Isla Chair. Se navegará al N de la Isla Chair, manteniéndose al N del eje del canal, para alejarse del bajo fondo que se extiende por 7 y ½ cables desde la punta NW de la isla.

Luego del paso por la Isla Chair se reconocerá el grupo de Islas Timbales, prefiriendo el Paso Timbal, paso entre el Grupo Timbales y la Isla Timbal Grande, al Paso Occidental, al N del grupo. El paso Timbal debe tomarse a medio canal entre el Islote Término y la Isla Timbal Grande.

Después del navegar el paso Timbales se entrará al Canal O'Brien al S de la Península Americana, manteniendo la proa a medio canal hasta enfrentar la angostura frente al Surgidero Fantasma. De aquí en adelante la costa S despide una cadena de islotes que deben dejarse al S de la derrota hasta avistar el faro de la Isla Redonda, la cual señala la entrada al Canal Ballenero.

Se debe tener presente durante la travesía del Canal O'Brien el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes, además de las reglas adicionales antes mencionadas.

5.11.3. Boca occidental del Canal O'Brien a Seno Magdalena, carta náutica 1.201.

Al encontrarse al S de la Isla Redonda se avistará al W la Isla Stewart y al N el grupo de Islas del Medio, se gobernará a medio canal entre ambas, dejando por el costado de estribor el Bajo Jiménez hasta el paso entre las Islas Burnt y Bruce para acceder al Canal Brecknock por medio de la Bahía Desolada.

Desde Bahía Desolada se toma el Canal Aguirre, que constituye la parte más angosta del Canal Brecknock, entre la Isla Brecknock y el Bajo Bevan; en este sector queda un estrecho canalizo de unos 400 m, que debe pasarse a unos 100 m del Cabo Atracadero, en la costa S de la Isla Brecknock. La derrota por el canal se sigue próximo a la costa N hasta rodear la Isla Georgiana. Al torcer al SW se avistará el Monte Horacio en la Isla London, éste se debe demarcar aproximadamente al 237º para navegar libre

de las rocas e Islotes Nelson y de aquí en adelante tomar el canal al NW por su eje. Sólo de debe tener en consideración en el paso del Canal Brecknock al Canal los fuertes vientos y mareas provenientes del océano.

Para tomar el Canal Cockburn a la cuadra de a Punta Ursua en la Isla Aguirre se pondrá proa a la Isla Skyring hasta la boca del Canal Ocasión, luego se navegará hasta la Isla Vidal Gomez sobre el eje del canal, pasando al N del bajo ubicado al WSW de las Islas Kirke, al N de las islas Kirke y al N de la Isla King.

Al torcer al NE por el Cabo Peña se entra a las aguas del Canal Magdalena, de gran profundidad, sólo se debe tener precaución con una par de sondas peligrosas: una de 10 m a la cuadra del Cabo Peña, que será dejada por la banda de babor; y otra de 6 m a la cuadra de la Isla Laberinto, que se dejará por la banda de estribor. En su parte central, entre las Islas Capitán Aracena y Dawson, éste se estrecha hasta 1 y ½ millas, para unir sus aguas con las del Seno Magdalena.

A las aguas del Seno Magdalena confluyen las aguas del Estrecho de Magallanes, Canal Gabriel y Canal Magdalena. Después de superar la Punta Anxious se debe considerar un bajo fondo de sargazos al N de la Isla Peak, el cual se encuentra suficientemente alejado de la derrota.

5.11.4. Seno Magdalena a Punta Arenas, carta náutica 1.114.

En general las precauciones en este tramo de la navegación no son más que las ya expuestas al inicio del capítulo, respecto de los cambios de marea y el tráfico marítimo, para el cual se debe dar perfecto cumplimiento al Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes, además de las recomendaciones ya dadas.

**CONCLUSIONES.**

Las condiciones climáticas extremas, la lejana ubicación y la escasa población hacen que el territorio Antártico no se asemeje a otro en el planeta. Estas singularidades exigen que cada detalle a la hora de planificar una travesía sea analizado cuidadosamente, desde la elección de la nave a utilizar hasta la selección del personal capacitado y entrenado para las posibles situaciones de emergencia que puedan presentarse. No olvidar que en 1897 durante la expedición de Adrian De Gerlache algunos tripulantes pierden la cordura debido a la continua oscuridad que soportaron luego de tener que invernar en la región. Sin duda ellos se enfrentaron a un ambiente y condiciones desconocidas para la época; el conocimiento de estas rústicas expediciones son valiosas hoy al momento de preparar un itinerario de este tipo, pues siempre es posible mejorar en base a las experiencias de otros.

Al preparar la navegación a través del continente blanco se encontrarán dificultades como la falta de información relativa a las publicaciones náuticas y datos astronómicos, estos sólo vienen tabulados hasta la latitud 60º S en las publicaciones nacionales. Otra dificultad relevante guarda relación con las condiciones meteorológicas, pues aunque a bordo se cuenta con equipos como el NAVTEX que constantemente recibe reportes meteorológicos, estas condiciones en ningún caso dejan de ser extremas y a veces pueden impedir el cumplimento del plan de navegación trazado; por esta razón y como medida de protección siempre se debe tener algún puerto o lugar alternativo de fondeo donde esperar mejores condiciones para la navegación, a fin de evitar accidentes como los descritos. También se debe tener en cuenta la gran cantidad de medidas de protección, tratados y convenios que deben respetarse, la Antártica es el continente dedicado a la paz y a la ciencia, el único capaz de albergar ecosistemas absolutamente intactos y constituye nuestra mayor reserva de agua dulce, a pesar de la continua y sistemática disminución de la superficie cubierta de hielo producto de la intervención indiscriminada del hombre.

Es necesario un conocimiento profundo de las ventajas y desventajas de la ruta seleccionada y sus cercanías, los refugios habilitados para emergencias, los asentamientos humanos, las condiciones de hielo y toda la información que se pueda obtener de publicaciones como Derroteros de la zona; en resumen adelantarse a las posibles problemáticas a encontrar y tener las consecuentes soluciones anticipadamente.

A pesar de estas múltiples dificultades cada año son más los buques científicos, patrullas nacionales, grandes cruceros y yates que son capaces de superarlas, algunos con el fin de contribuir a la seguridad y a la investigación, otros simplemente por el encanto de conocer el continente más remoto del mundo.

**BIBLIOGRAFÍA.**


1. *Nieves y Glaciares de Chile, Fundamentos de Glaciología.*
Louis Lliboutry, Universidad de Chile, 1956.

2. *Teoría de la Deriva Continental de Alfred Lothar Wegener.*
Carlos Pérez-Malvaéz, Alfredo Bueno, Manuel Feria y Rosaura Ruiz, 2006.

3. *Tierra, Tectónica y Sismicidad.*
Hernando Tavera, Instituto Geofísico del Perú, 1993.

4. *Los Glaciares: Equilibrio Inestable en un Planeta Afectado por el Cambio Climático.*
Gino Casassa, Centro de Estudios Científicos Valdivia.

5. *Sitio Web del Centro de Estudios Científicos.*
www.cecs.cl

6. *Ernest Shackleton y un Barco llamado Resistencia.*
www.barrabes.com

7. *Circulación General de la Atmósfera.*
Dirección Meteorológica de Chile, Subdirección Climatología y Meteorología.

8. *Servicio Meteorológico de la Armada de Chile*
meteoarmada.directemar.cl

9. *Sistema del Tratado Antártico.*
María Luisa Carvallo, Ministerio de Relaciones Exteriores.

10. *Tratado Antártico.*
Organización de Naciones Unidas, 1959.

11. *Sitio Web Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado.*
www.difrol.cl

12. *La Antártica.*
Lcdo. Luis Campora Nilo, Ministerio de Defensa de Chile.

13. *Convenio MARPOL 73/78.*
Organización Marítima Internacional, Edición 2006.

14. *Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.*
TM-070A, Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante.

15. *Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de Buques.*
Organización Marítima Internacional, Edición 2004.

16. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar.*
Organización Marítima Internacional.

17. *2007, Año Polar Internacional: La Importancia de los Polos.*
Organización Meteorológica Mundial.

18. *Ice Capable Ships.*
Brian Veitch, Neil Bose, I. Jordaan, M. Haddara y D. Spencer.

19. *Rules and Regulations for the Classification of Ships.*
Lloyd's Register.

20. *Review of ABS Requirements for Vessels Operating in Low Temperature Environments.*
American Bureau of Shipping, 2007.

21. *Estimating Propeller Forces for Blade Strength Analysis.*
Hydrocomp Inc, USA.

22. *The World Icebreaker and Icebreaking Supply Vessel Fleet.*
Baltic Icebreaking Management, 2008.

23. *Sitio web Rompehielos Nathaniel Palmer.*
www.nsf.gov

24. *Sitio Web ARA Almirante Irizar.*
www.irizar.org.

25. *Manual del Operador General del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.*
Curso Modelo OMI 1.25, Centro de Instrucción Marítima, CIMAR.

26. *Comunicado Ambiental sobre M/N Explorer.*
Armada de Chile, Departamento de Relaciones Públicas, 2007.

27. *Sitio Web Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.*
www.shoa.cl

28. *Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes.*
Organización Marítima Internacional.

29. *Software "Cartas du Ciel".*
Versión 2.76, 2004.

30. *Derrotero de la Costa de Chile, Volumen IV: Estrecho de Magallanes y Aguas Adyacentes.*
SHOA Pub. 3004, 1991.

31. *Derrotero de la Costa de Chile, Volumen V: Tierra del Fuego y Canales.*
IHA Pub. 3005, 1987.

32. *Derrotero de la Costa de Chile, Volumen VI: Territorio Antártico.*
IHA Pub. 3006, 1989.

33. *Almanaque Náutico.*
SHOA Pub. 3019, 2007.

34. *Tabla de Marea de la Costa de Chile.*
SHOA Pub. 3009, 2007.

35. *Apuntes de Clases, Navegación I, Navegación II, Meteorología Marina y Telecomunicaciones de la Nave.*