

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT DE CIÈNCIA I ENGINYERIA NÀUTIQUES

**METODOLOGÍA Y CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE UN
SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA
Y OCEANOGRÁFICA PARA LA NAVEGACIÓN.**

Francesc Xavier Martínez de Osés

Tesis Doctoral presentada en el *Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques*

Director de la Tesis Doctoral:
Dr. Ricardo González Blanco

Barcelona, Junio del 2003

*A Ángela, Èlvia y Xavi, para
quienes les ha sido muy difícil
entender mis ausencias
debidas a esta Tesis*

In memoriam al Doctor Enrique González Pino, cuya clarividencia fue el germen de esta tesis y sin cuya confianza en mí, la trayectoria investigadora que he seguido, no hubiera sido posible. Esta Tesis que posiblemente no colme todas sus aspiraciones, pretende ser un intento por seguir su ejemplo como investigador, editor y profesor, y en definitiva un homenaje a su irremplazable personalidad.

Al Doctor Ricardo González Blanco, cuya inestimable ayuda al retomar la dirección de esta Tesis, y por el esfuerzo de entrar en el contexto en el cual fue diseñada en un principio, además de su apoyo en todo momento, fue determinante para la conclusión de la misma.

Al Doctor Joan Olivella Puig, por su confianza en mí desde que empecé la trayectoria docente en la Facultat de Nàutica de Barcelona, adscrito al Departament de Ciències i Enginyeria Nàutiques.

A la memoria de mi cuñado Humberto, con quien comparto su silenciosa, callada y responsable manera de trabajar y luchar, por los suyos.

INDICES.

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | Razón y justificación del tema..... | 1 |
| 1.2 | Objetivos propuestos..... | 4 |
| 1.3 | Metodología utilizada..... | 4 |
| 1.4 | Estructura y composición de la Tesis..... | 6 |
| 1.5 | Referencias históricas..... | 7 |
| 1.6 | Situación actual e importancia del tema..... | 10 |
| 2 | FUENTES DE INFORMACIÓN A BORDO | 13 |
| 2.1 | Introducción..... | 13 |
| 2.2 | Fuentes de información..... | 15 |
| 2.2.1 | Documentos y publicaciones | 17 |
| 2.2.2 | Cartas climáticas..... | 18 |
| 2.2.3 | Libros del Almirantazgo Inglés..... | 19 |
| 2.2.4 | La observación a bordo..... | 19 |
| 2.2.4.1 | Clasificación de los buques | 21 |
| 2.2.5 | NAVTEX..... | 23 |
| 2.2.6 | Radiofacímil..... | 25 |
| 2.2.7 | Satélites..... | 27 |
| 2.2.7.1 | Introducción..... | 27 |
| 2.2.7.2 | Sensores utilizados..... | 28 |
| 2.2.7.3 | Cobertura espacial..... | 31 |
| 2.2.7.4 | Transmisión de datos..... | 42 |
| 2.2.7.5 | Recepción de información | 44 |
| 2.2.7.6 | Consideraciones preliminares..... | 45 |
| 2.2.7.7 | Procesamiento de datos..... | 46 |
| 2.2.7.8 | Interpretación de las imágenes | 48 |
| 2.2.8 | Institutos y servicios meteorológicos..... | 50 |
| 2.2.8.1 | Servicios en España..... | 50 |
| 2.2.8.2 | Servicios del Reino Unido..... | 52 |
| 2.2.8.3 | Servicios de los Estados Unidos..... | 53 |
| 2.2.9 | Servicios específicos de optimización de derrotas..... | 55 |
| 2.2.9.1 | Disponibilidad de la información, a través de empresas especializadas..... | 55 |
| 2.3 | Conclusiones parciales | 56 |
| 3 | ANÁLISIS DE LAS VARIABLES UTILIZADAS A BORDO..... | 61 |
| 3.1 | Introducción..... | 61 |
| 3.2 | Normativa aplicable | 61 |
| 3.2.1 | Material náutico | 62 |
| 3.2.2 | Instrumentación exigible a bordo para la observación..... | 65 |
| 3.2.2.1 | Equipos mínimos para todo buque regido por la normativa SOLAS | 65 |
| 3.2.2.2 | Equipos que deberán llevar todos los buques de carga, los de pasaje con más de 36 pasajeros a bordo y los buques dedicados a la pesca de gran altura..... | 69 |
| 3.2.2.3 | Otros instrumentos complementarios..... | 72 |
| 3.2.3 | Equipo radioeléctrico a bordo..... | 77 |
| 3.2.4 | Formación de la tripulación en aspectos meteorológicos | 79 |
| 3.2.4.1 | Normativa internacional..... | 79 |
| 3.2.4.2 | Normativa nacional..... | 83 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.3 | Análisis de las variables meteorológicas | 84 |
| 3.3.1 | Presión..... | 84 |
| 3.3.2 | Vectores del viento..... | 88 |
| 3.3.3 | La mar. Apreciación del oleaje | 89 |
| 3.3.4 | La temperatura | 94 |
| 3.3.5 | Otras observaciones complementarias | 95 |
| 3.3.5.1 | La nubosidad..... | 95 |
| 3.3.5.2 | Los colores del cielo | 97 |
| 3.4 | Parámetros oceanográficos | 97 |
| 3.4.1 | Temperatura y Salinidad | 97 |
| 3.4.2 | Otros parámetros oceanográficos..... | 103 |
| 3.4.3 | Tabla de variables climáticas | 105 |
| 3.5 | Precisión de las observaciones | 106 |
| 3.5.1 | Errores ocasionales:..... | 107 |
| 3.5.2 | Errores sistemáticos: | 108 |
| 3.5.3 | Otros errores:..... | 110 |
| 3.6 | La información meteorológica integrada en el centro de control..... | 110 |
| 3.6.1 | El trazado de la derrota óptima | 115 |
| 3.7 | Conclusiones parciales..... | 119 |
| 4 | EL CONTEXTO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE TRABAJO DE PLANIFICACIÓN DE DERROTAS, EN CENTRO DE CONTROL DEL BUQUE | 123 |
| 4.1 | Introducción..... | 123 |
| 4.2 | Breve repaso a la evolución del puente de gobierno y situación actual..... | 124 |
| 4.3 | Definición y delimitación del concepto de sistema SCC | 126 |
| 4.3.1 | Principios funcionales básicos, en el diseño de sistemas SCC..... | 127 |
| 4.3.2 | Características del sistema SCC..... | 132 |
| 4.4 | Sistemas de puente integrado..... | 132 |
| 4.4.1 | Factores aplicables a las estaciones de trabajo de un puente integrado | 135 |
| 4.5 | Equipamiento en las estaciones de trabajo del centro de control del buque | 138 |
| 4.5.1 | Consideraciones para formular los principios de diseño de las estaciones de trabajo 139 | |
| 4.5.1.1 | La estación de trabajo para la planificación de la derrota..... | 140 |
| 4.6 | Tendencias para el futuro | 141 |
| 4.7 | Conclusiones parciales..... | 142 |
| 5 | CRITERIOS EMPLEADOS EN LA PRESENTACIÓN DE DATOS A BORDO..... | 147 |
| 5.1 | Introducción..... | 147 |
| 5.2 | Metodología de estudio..... | 149 |
| 5.3 | Legislación..... | 150 |
| 5.3.1 | Introducción | 150 |
| 5.3.2 | Normativa relativa a las estaciones de trabajo de un puente integrado | 150 |
| 5.3.2.1 | IMO (International Maritime Organisation)..... | 150 |
| 5.3.2.2 | SOLAS Regla 15 – Capítulo V | 151 |
| 5.3.2.3 | Estándares aplicables a las estaciones de trabajo del sistema SCC..... | 155 |
| 5.3.3 | Resumen de la normativa actual..... | 157 |
| 5.3.4 | Criterios legislativos..... | 159 |
| 5.4 | Fundamentos tecnológicos | 160 |
| 5.4.1 | Nuevas tecnologías..... | 161 |
| 5.4.2 | Criterios técnicos..... | 162 |
| 5.5 | Procedimientos..... | 163 |
| 5.5.1 | Descripción de la operación | 164 |
| 5.5.2 | Criterios operativos | 166 |
| 5.6 | Ergonomía | 166 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.6.1 | Condiciones ambientales | 167 |
| 5.6.2 | Descripción del puente..... | 168 |
| 5.6.2.1 | Equipamiento en el puente..... | 168 |
| 5.6.2.2 | Distribución de estaciones | 169 |
| 5.6.2.3 | Análisis de una configuración integrada..... | 171 |
| 5.6.3 | Criterios ergonómicos..... | 174 |
| 5.6.4 | Presentación de datos..... | 176 |
| 5.6.4.1 | Principios ergonómicos..... | 177 |
| 5.6.4.2 | Estación de planificación de la derrota | 178 |
| 5.6.4.3 | Sistema de presentación | 180 |
| 5.7 | Conclusiones parciales | 185 |
| 6 | ANÁLISIS DE UNA DERROTA..... | 191 |
| 6.1 | Antecedentes | 191 |
| 6.2 | Introducción..... | 193 |
| 6.3 | Conocimiento del buque..... | 196 |
| 6.3.1 | Prestaciones del buque..... | 198 |
| 6.3.2 | Cálculo de las influencias del medio externo..... | 199 |
| 6.3.3 | Velocidad resultante del buque | 201 |
| 6.4 | Preparación de la derrota..... | 203 |
| 6.4.1 | Preparación según la operativa de la estación meteor-oceanográfica | 203 |
| 6.4.2 | Antecedentes climáticos..... | 212 |
| 6.4.3 | Evolución y desarrollo del tiempo | 212 |
| 6.4.4 | Necesidades..... | 213 |
| 6.5 | Seguimiento en la mar..... | 214 |
| 6.5.1 | Derrota Climática..... | 214 |
| 6.5.2 | Derrota Ortodrómica | 215 |
| 6.5.3 | Primera singladura | 216 |
| 6.5.4 | Segunda singladura | 227 |
| 6.5.5 | Tercera singladura..... | 232 |
| 6.5.6 | Cuarta singladura | 237 |
| 6.5.7 | Quinta singladura..... | 242 |
| 6.5.8 | Sexta singladura | 246 |
| 6.5.9 | Séptima singladura..... | 253 |
| 6.6 | Conclusiones parciales | 257 |
| 7 | CONCLUSIONES FINALES..... | 259 |
| | GLOSARIO | 277 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 281 |
| | Libros..... | 281 |
| | Publicaciones realizadas en el Campo..... | 288 |
| | Información de Páginas consultadas en Internet..... | 289 |
| | ANEXOS..... | 295 |
| | Estándares y recomendaciones IMO..... | 295 |
| | Normas ISO..... | 297 |
| | Normas IEC..... | 298 |
| | Sociedades de Clasificación..... | 299 |
| | Estándares aplicables a las estaciones de trabajo del sistema SCC..... | 300 |
| | Emisiones RTTY y receptores de radio | 302 |
| | Frecuencias de trabajo en estaciones españolas..... | 305 |
| | Sumario de las compañías que operan en el sector de planificación de derrotas..... | 308 |

| | |
|---|------------|
| Cartas de tiempo empleadas | 323 |
| Cartas del día 24 de Marzo del 2003 | 323 |
| Cartas del día 25 de Marzo del 2003 | 326 |
| Cartas del día 26 de Marzo del 2003 | 329 |
| Cartas del día 27 de Marzo del 2003 | 332 |
| Cartas del día 28 de Marzo del 2003 | 335 |
| Cartas del día 29 de Marzo del 2003 | 338 |
| Cartas del día 30 de Marzo del 2003 | 339 |
| Cartas del día 31 de Marzo del 2003 | 342 |

Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1: Material náutico obligatorio en buques Españoles..... | 64 |
| Tabla 2: Resolución y exactitud, necesarias de las variables climáticas | 106 |
| Tabla 3: Errores producidos por los buques VOS. Fuente NWS. | 107 |
| Tabla 4: Equipo consiguiente de la estación de trabajo de planificación..... | 155 |
| Tabla 5: Posiciones del cambio de rumbo con sus distancias. | 216 |
| Tabla 6: Frecuencias de trabajo en onda media | 305 |
| Tabla 7 : Frecuencias de trabajo en VHF. | 306 |

Figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Esquema general de la Tesis..... | 5 |
| Figura 2: Puente Integrado..... | 12 |
| Figura 3: Embarcación del US Coast Guard, para la realización de estudios de la ma | 22 |
| Figura 4: Vista frontal de un receptor Navtex..... | 24 |
| Figura 5 : Mapa de análisis isobárico en superficie, con distribución de frentes (fuente UKMO) | 26 |
| Figura 6: Imagen tomada por el satélite METEOSAT. © EUMETSAT 2003..... | 34 |
| Figura 7: Bloques de la configuración de una estación meteorológica. Fuente EUMETSAT..... | 35 |
| Figura 8 : Órbitas de los satélites GOES. Fuente NWS..... | 37 |
| Figura 9 : Flujo de información en el programa Seasat. Fuente elaboración propia..... | 40 |
| Figura 10: Imagen del Jasón-1. (cortesía de NOAA)..... | 41 |
| Figura 11 Distribución de la dirección y temperatura del viento a diversas alturas. Fuente NWP..... | 47 |
| Figura 12: Detalle de un barómetro aneróide..... | 66 |
| Figura 13: Fotografía de un barógrafo de cápsulas de Vidi..... | 70 |
| Figura 14: Fotografía de un psicrómetro tipo, usado en los buques..... | 71 |
| Figura 15: Detalle de un anemómetro de eje horizontal..... | 73 |
| Figura 16: Fotografía de un pluviómetro marino..... | 75 |
| Figura 17: Traza del barógrafo del aeropuerto de Kastrup (Copenhague), que muestra el paso de la baja polar del 29 de marzo de 1985. Fuente Royal Meteorological Society..... | 86 |
| Figura 18: Fotografía de una ola extrema. Fuente NWS..... | 92 |
| Figura 19 : Errores de temperatura. Fuente NWS..... | 109 |
| Figura 20 : Pantallas de un programa de cartografía electrónica. Fuente Transas..... | 111 |
| Figura 21: Esquema de los componentes de un sistema ECDIS..... | 114 |
| Figura 22 : Ejemplo de áreas de función, con la posible localización de las estaciones de trabajo | 171 |
| Figura 23: Ejemplo de pantalla de la compañía Meteoconsult..... | 175 |
| Figura 24: Esquema de la pantalla propuesta del sistema de planificación de la derrota..... | 185 |
| Figura 25 : Esquema del buque propuesto | 197 |
| Figura 26: Esquema de la lógica en la operativa del sistema de planificación de derrotas..... | 214 |
| Figura 27: Carta de previsión del Atlántico Norte. Con permiso del NOAA..... | 218 |
| Figura 28 : Carta de análisis de oleaje del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 219 |
| Figura 29 : Carta de análisis del Atlántico Norte, con situación del buque. Fuente NOAA..... | 222 |
| Figura 30 : Carta de previsión del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 224 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31 : Carta de análisis de oleaje en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 225 |
| Figura 32 : Carta de análisis del Atlántico Norte con situación del buque. Fuente NOAA..... | 227 |
| Figura 33 : Carta de previsión del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 229 |
| Figura 34 : Carta de previsión del período del oleaje en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 231 |
| Figura 35 : Carta de análisis del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 232 |
| Figura 36 : Carta de análisis del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 233 |
| Figura 37 : Carta de previsión del oleaje de viento en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 234 |
| Figura 38 : Carta de previsión de oleaje de viento en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 236 |
| Figura 39 : Carta de análisis en Atlántico Norte con posición del buque. Fuente NOAA..... | 237 |
| Figura 40 : Carta de previsión en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 239 |
| Figura 41 : Carta de análisis de oleaje. Fuente NOAA..... | 240 |
| Figura 42 : Carta de análisis en superficie del Atlántico Norte, con posición del buque. Fuente NOAA. | 241 |
| Figura 43 : Carta de previsión en superficie del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 243 |
| Figura 44 : Carta de previsión de viento y olas en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 245 |
| Figura 45 : Carta de situación del buque en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 246 |
| Figura 46 : Carta de previsión en superficie, del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 247 |
| Figura 47 : Carta de previsión de viento y oleaje del Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 250 |
| Figura 48 : Carta de análisis en superficie de la costa Atlántica de Estados Unidos. Fuente NOAA.... | 251 |
| Figura 49 : Carta de previsión de viento y oleaje en el Atlántico Norte. Fuente NOAA..... | 252 |
| Figura 50 : Carta de análisis en superficie de la costa Atlántica de estados Unidos. Fuente NOAA..... | 253 |
| Figura 51 : Carta de análisis de viento y olas de la costa Atlántica de Estados Unidos. Fuente NOAA. | 254 |
| Figura 52 : Carta de análisis en superficie de la costa Atlántica de Estados Unidos. Fuente NOAA... | 256 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Razón y justificación del tema

La tesis doctoral supone en algunos casos la culminación de un proceso educativo y formación, en otros supone el comienzo de una labor investigadora, pero en ambos brinda la posibilidad al doctorando de aportar una pequeña contribución al mundo de la investigación, resumiendo en ella los conocimientos y la experiencia adquirida, fruto de una evolución personal y profesional.

Los conocimientos adquiridos durante mi formación han recogido los avatares de una época de grandes cambios en el ámbito de la náutica y del transporte marítimo. En años recientes, han desaparecido varios tipos de buques y nuevos diseños tecnológicamente avanzados han cubierto las necesidades del mercado. En ellos además de la tecnología han incorporado otra situación, la reducción paulatina del número de tripulantes a bordo.

La evolución que ha sufrido el puente de gobierno, marcada por el concepto de integración y destino de toda la información generada en y para el buque, ha sido uno de los motivos para formular esta tesis, destacando la presentación de los paquetes de datos meteorológicos y oceanográficos. Las modernas tecnologías han hecho del puente de gobierno el centro neurálgico del buque y, el tripulante desde este lugar, debe de ser capaz de controlar todas las actividades. Para ello la disponibilidad de los equipos y la información que estos facilitan debe ser cuidadosamente presentada.

Mediante la aproximación sistemática de todos los factores relacionados con la llegada de información al puente de gobierno del buque, detecté la necesidad de optimizar y humanizar los modos de acceso a la información en el puente, en el que se pueden encontrar lagunas que no permiten, por ejemplo, definir una derrota óptima en términos de seguridad y eficacia para

el buque. Esto puede suponer graves consecuencias para realizar una navegación, cómoda manteniendo la integridad del buque, la tripulación y la carga.

El primer presupuesto básico que avala la tesis doctoral, es que resume un trabajo de investigación original. No existe un estudio amplio y global sobre el tema monográfico de aplicación de herramientas de total integración de información al puente de gobierno de un buque, que a la vez incida en el aspecto meteorológico y oceanográfico. La reciente publicación de la regla 15 del capítulo V del SOLAS, en el que se tratan los aspectos de diseño y presentación de la información en el puente, es otra razón por lo cual me decidí por el tema objeto de esta tesis.

La interacción de los aparatos náuticos en un buque, no es plenamente eficaz y prueba de ello lo testimonia el número de accidentes marítimos que son atribuidos a factores de raíz humana¹. A pesar de la polémica que suscita este dato y sus dispares interpretaciones, no cabe duda que la mayoría de los estudios en los que se trata el factor humano, se relaciona a éste con la accidentalidad en porcentajes que oscilan entre el 60 y el 90% de culpa, según autores y tipo de accidente.^{2,3,4,5,6}

Los accidentes marítimos tienen como causa común, una cadena de errores producida por el parámetro humano cuando se encuentra en situaciones críticas, manejando sistemas complejos desde el punto de vista técnico y de organización. La interacción del elemento humano con los sistemas es la causa común de la mayor parte de los accidentes. En determinados estudios⁷, se ha llegado a la conclusión que el factor humano y los elementos de organización de los sistemas marinos, han de tener una consideración desde el punto de vista de la ingeniería, para que esta contemple en su fase de diseño; las necesidades del usuario, con la previsión de que

¹ CHAUVEL, A-M, (1997). *Managing safety and quality in shipping*. The Nautical institute, Londres.

² Comunicado de la Comisión de las Comunidades Europeas del 24 de febrero de 1993, remitido al Consejo de Transporte sobre "Una política común en materia de seguridad y para unos mares más seguros".

³ JUDSON, B. (1997). *A tanker navigation safety system*. The Journal of the Royal Institute of Navigation, Vol.50, nº. 1, Enero.

⁴ BEA, R. (1995). *Men, ships and the sea*. Proceedings of the Marine Safety Council, Mayo-Junio, pg.3, donde se establece el porcentaje del 80%, incluyendo los factores organizativos.

⁵ PALSSON, I.; TORSTERSSON, H. (1998). *SEALOC – Safer maritime transport of dangerous goods*. SSPA Research Report nº. 107, Göteborg.

⁶ NUMAST, National Union of Marine, Aviation and Shipping Transport Officers. (1992). *A NUMAST report and survey on shipboard conditions in the 1990s*. Londres.

⁷ Estudios realizados por la Universidad de California en Berkeley, cofinanciados por el US Coast Guard, US Mineral Management Service y el American Bureau of Shipping, así como astilleros, armadores y operadores de plataformas petrolíferas (1996).

en el sistema se producirán errores de tipo humano, para así minimizarlos y en el caso de que ocurran, facilitar al operador de nuevo el control del sistema.

Los accidentes causados por el elemento humano y su organización⁸ tienen sus causas en la complejidad de las tareas, selección de personal no adecuado en las empresas, falta de auditorías efectivas tanto internas como externas, los efectos de la presión y fatiga causados por la falta de planificación y también la falta de una motivación o incentivo para una realización de calidad.⁹ La investigación de los accidentes marítimos se adentra un poco, hasta el punto de considerar los errores causados por el factor humano, tanto a los suscitados por la propia ambientación del usuario, como a los puramente humanos. Dichos errores causados por la ambientación del usuario, comprenden los referidos a la ambientación social del trabajo, diseño físico de las estaciones de trabajo, circunstancias organizativas, calidad y rango de operativa de la instrumentación empleada y la interacción del usuario con el sistema.¹⁰

Una última justificación es la preocupación existente en el ámbito mundial respecto a este tema, que se observa en la comunidad I+D Europea. Existen varios consorcios de empresas e instituciones de investigación y desarrollo, por ejemplo, DISC¹¹, ATOMOS¹² y MASIS¹³, que han investigado las necesidades para diseñar un puente de gobierno integrado y que además cumpla los requisitos HMI, *Human-Machine Interface*.

Las consideraciones expuestas, son razones que justifican el enfoque dado a esta Tesis. Además se investigan por una parte los factores humanos y por otro las cuestiones técnicas, buscando entre ambos dar lugar a un conjunto de puntos de vista y criterios, que serán formalmente ordenados, para distribuir de forma racional la información en una estación de

⁸ PATÉ-CORNELL, M.E. (1993). *Learning from the Piper Alpha accident: A postmortem analysis of technical and organisational factors*. Risk analysis, Vol. 13, nº. 2.

⁹ Comunicado de la Comisión de las Comunidades Europeas del 24 de febrero de 1993, remitido al Consejo de Transporte sobre "Una política común en materia de seguridad y para unos mares más seguros". Este comunicado supuso un programa coherente a nivel comunitario e internacional para la mejora de la seguridad marítima y la prevención de la contaminación desde los barcos.

¹⁰ GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical safety class*. Det Norske Veritas, Oslo; y también PALSSON, I.; TORSTERSSON, H. (1998). *SEALOC – Safer maritime transport of dangerous goods*. SSPA Research Report nº. 107, Göteborg.

¹¹ DISC (Demonstrators for integrated Ship Control), consorcio de investigación y desarrollo dentro del 4º Programa Marco, en la DGTREN de la Comisión Europea. El propósito de dicho consorcio fue el de fijar las directrices para proyectos de demostración en el ámbito del puente de gobierno integrado.

¹² ATOMOS II (1999). *Advanced Technology to Optimise Maritime Operational Safety, Integration and Interface* y ATOMOS IV (2002). *Advanced Technology to Optimise Maritime Operational Safety, Intelligent Vessel*. Comisión Europea, DGTREN

¹³ MASIS II. (1999). *Human Element in Man/Machine Interface and Interaction*. Comisión Europea, DGTREN.

planificación de derrotas meteorológicas. Los aportes técnicos y humanos, intentan implementar herramientas cómodas para que puedan ser operadas por parte de los usuarios.

1.2 Objetivos propuestos

El tema tratado en la tesis tiene como idea central la búsqueda y la justificación de los criterios necesarios para la consecución de un sistema de integración de la información meteorológico-oceanográfica, bien sea de un puente de gobierno en su fase conceptual, o bien un puente en su fase de producto terminado, es decir una relocalización del equipamiento en un buque existente. Para ello se parte de cuatro objetivos básicos, que son los siguientes:

- Analizar y procesar la información existente sobre adquisición, procesamiento y presentación de datos meteorológicos y oceanográficos.
- Realizar un estudio e investigación sobre los sistemas de recepción y envío de información meteorológico-oceanográfica en un buque.
- Buscar criterios que faciliten la implementación de un sistema integrado a bordo de los buques, con las variables óptimas necesarias.
- Preparar y trazar una derrota segura entre dos puntos, realizando el seguimiento en la estación de trabajo donde se hará una presentación de datos utilizados.

Los objetivos presentados serán las directrices seguidas en la Tesis a lo largo de todo el proceso de investigación para poder finalizar en unas conclusiones que permitan aportar los criterios necesarios que justifiquen un sistema de presentación de datos meteorológicos. También se tendrá en cuenta el cumplimiento de las últimas normativas no sólo técnicas sino ergonómicas en el campo marítimo teniendo en cuenta las necesidades del usuario final.

1.3 Metodología utilizada

La elaboración de la tesis se realiza mediante una metodología reunida en dos grandes apartados, en los cuales se hace primeramente una investigación de gabinete, procesando la información existente, buscando que los datos que puedan servir para el tema tratado, queden depurados y filtrados; en segundo lugar se hace una investigación de campo, en la cual se

contemplan las últimas tecnologías y se contrastan las opiniones de los expertos, así como de los tripulantes de buques avanzados.

El punto de partida para desarrollar la metodología planteada es un análisis sistemático de la normativa internacional que afecta al diseño y construcción de sistemas integrados en los puentes de gobierno, especialmente lo relativo a las estaciones de trabajo, ya que en la Estación de Planificación, es donde se presentarán los datos finales, para cumplir el objetivo final de la tesis, es decir, la búsqueda de criterios para el diseño de la presentación de un sistema de información meteorológico y oceanográfico en el puente de gobierno de los buques.

Como herramientas utilizadas en la metodología apuntada, serán los elementos informáticos normales, es decir, tratamiento de textos, programas de diseño y hojas de cálculo. Todo ello servirá para en algunos casos difundir información con objeto de recabar opiniones de personal embarcado o trabajando en tierra en cuestiones relacionadas con los temas tratados en la tesis.

El esquema de trabajo seguido por la metodología se ajusta a los conceptos e ideas expresadas de forma esquemática en el siguiente diagrama:

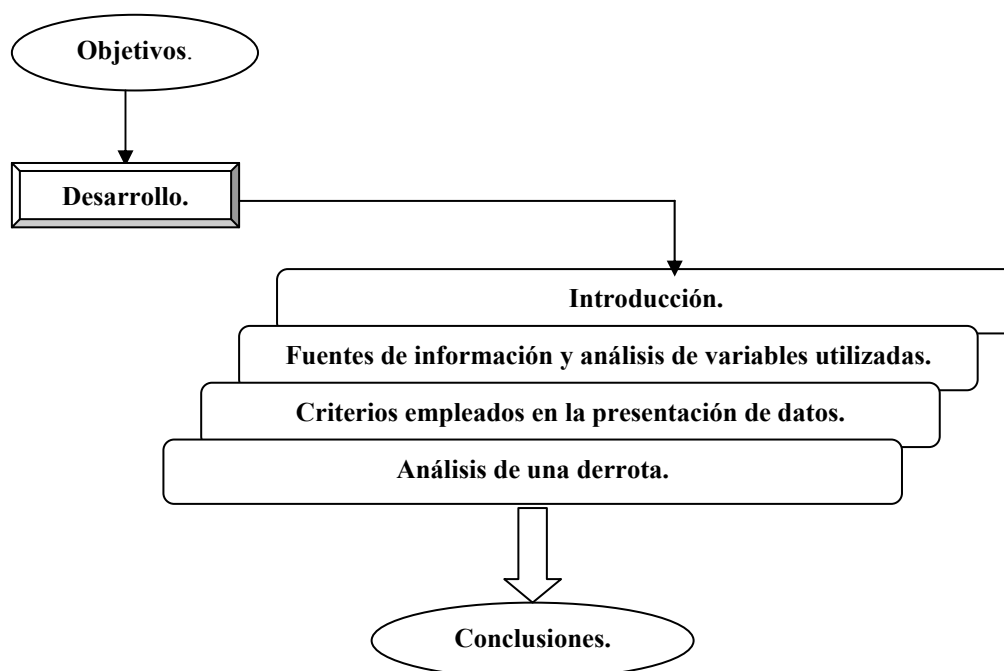


Figura 1: Esquema general de la Tesis

1.4 Estructura y composición de la Tesis

Una vez definidos los objetivos básicos que componen la investigación, se diseña y concreta cual será la estructura final del contenido de la presente Tesis Doctoral, dividiéndola en las siguientes partes:

- **Primera parte:** Introducción, en la cual se justifica el tema elegido, indicando las razones principales de ello; a continuación se proponen los objetivos de la tesis y se indica cual será la estructura que adoptará su contenido. Dentro esta primera parte también se presenta la metodología que se usa en la investigación y las referencias históricas necesarias para tener una visión de que se propone la tesis.
- **Segunda parte.** Fuentes de información y análisis de variables utilizadas a bordo. Contiene el estado en que se encuentra actualmente el tema de la observación, adquisición de datos y recepción / emisión de la información de tipo meteorológico a bordo. Se repasan las características de las variables objeto de observación y las fuentes de obtención de datos desde el exterior.
- **Tercera parte.** Criterios empleados en el sistema de presentación de datos a bordo. En primer lugar se introduce el tema con la normativa que se puede aplicar para el diseño de la estación necesaria que pueda realizar la presentación de datos. Se hace referencia e investigan las necesidades en materia de comunicaciones para canalizar el flujo de datos. Finalmente se muestra la presentación de datos, aplicando los criterios obtenidos a un centro de planificación integrado en el puente de un buque.
- **Cuarta parte.** Análisis de una derrota. En esta parte, se desarrollan los criterios de valoración y presentación, así como la metodología para implementar un centro de planificación que integrado en el puente de un buque. La derrota entre dos puertos es calculada, seguida y modificada de acuerdo a la información recibida, de forma que permita optimizar la información que afluye al puente del buque, seleccionando la derrota más adecuada.

- **Quinta parte.** Conclusiones. Son obtenidas de acuerdo a los objetivos planteados, valorando de los comentarios parciales de cada capítulo para las conclusiones finales de la tesis. En ellas se introducen los posibles aspectos de desarrollo comercial del tema tratado.

La finalidad de la mencionada división se basa en conseguir una claridad en la exposición de todos los aspectos involucrados en la redacción de la tesis doctoral y cubrir los objetivos propuestos.

1.5 Referencias históricas

Presentar un compendio documental de referencias históricas sobre las posibilidades que tiene la meteorología para el marino es complicado, y puede ser abordado de varias maneras. He escogido el refranero, popular, porque no dejan de ser científicas sus aseveraciones. Los siguientes párrafos también presentan una visión del estado en el que se encuentra la meteorología dentro del área marítima referida a los aspectos comerciales y a los puramente técnicos.

La meteorología es una ciencia, que comienza a tener entidad realmente, sólo tras la introducción de la telegrafía hacia finales del siglo XIX, y a la organización necesaria para permitir un estudio sinóptico del tiempo, que sólo ha sido posible hasta hará unos setenta años. Hasta que el uso de la radio no se generalizó, no fue posible para los buques en la mar, ser avisados de la cercanía de tormentas, la niebla y el hielo, y también a su vez, para que la información proveniente de los buques estuviera disponible, para completar las cartas sinópticas en tierra.

La cultura popular, había observado los fenómenos meteorológicos, en todos aquellos aspectos de la vida cotidiana, que estuvieran estrechamente ligados a los avatares de los primeros, ya fuera la navegación, la agricultura u otros aspectos económicos. Creando un número de dichos y refranes, que se remontan al tiempo de la Grecia antigua. Aunque no todos están respaldados por una sólida estadística de ocurrencia y la mayoría son sostenidos por sus valedores que olvidan las frecuentes excepciones de sus aseveraciones.

La mayoría de refranes, describen el tiempo que se acerca, con un solo signo como pueda ser el viento, el valor del barómetro o el aspecto del cielo; cuando de hecho, el tiempo es un hecho

tan complejo, que no es posible ser descrito por una única causa o ser predicho a partir de la observación de un único elemento. De todos modos, es indudable que algunos dichos son valiosos si se interpretan dentro de su contexto, y si además la información de la que se dispone en ese momento es escasa.

Históricamente encontramos compendios basados en experiencias de marinos, ya en el siglo XVI como pueden ser el “Espejo de Navegantes” escrito por Alonso de Chaves o el “Regimiento de Navegación” escrito por Pedro Medina, que recogían distintos comportamientos meteorológicos (mejora del tiempo, vientos, lluvias, tempestades, y fríos) en función de diferentes señales que pueden apreciarse en las estrellas, sol, luna, nubes, neblinas, arco iris, truenos y relámpagos, y animales. Dichos textos han dado lugar a numerosos refranes y frases populares como los siguientes:

“Las estrellas a brillar, marineros a la mar”.

Una atmósfera limpia con apenas impurezas como pueda ser el vapor de agua, corresponde casi siempre a una circulación anticiclónica, indicadora por lo general, de buen tiempo. Por tanto, el brillo de estrellas visto sin interferencias ni deformaciones indicaría la llegada del buen tiempo.

“Delfines que mucho saltan, viento traen y calma espantan”.

El momento anterior al del empeoramiento de las condiciones atmosféricas suele venir acompañado por una disminución de la presión y un aumento de la temperatura y humedad, lo que puede producir una alteración del sistema nervioso, y que para el caso de los delfines, podría causar que saltaran fuera del agua con frecuencia cuando hay un empeoramiento del tiempo. También es cierto, que ciertas situaciones extremas, como la proximidad a ciclones tropicales o la posibilidad de formación de niebla por ejemplo, son situaciones más concretas y definidas específicamente. Aunque la variedad de reglas justificadas si cabe, por refranes y dichos; pueden usarse en la mayoría de ocasiones.

La historia de las observaciones oceánicas sistemáticas parte del siglo diecinueve, cuando los marinos empezaron a recopilar rutinariamente y a intercambiar información marítima con el fin de reforzar la seguridad y mejorar el tránsito en las rutas de comercio entre Europa y América. El interés científico en el océano tiene diversas formas, pero las que abarcan una mayor extensión de tiempo en las observaciones han sido la obtención de datos para la pesca y

el transporte marítimo, siendo las cartas batimétricas, el conocimiento del estado de la mar y las condiciones meteorológicas los principales requerimientos.

El interés por entender y observar los océanos de forma global, se empezó a considerar al relacionar el clima con el estado de la mar. La comunidad científica de forma individual o por grupos de investigación, con la participación de las naciones empezaron a trabajar para superar los desafíos técnicos y logísticos asociados con la toma de mediciones de las variables meteorológicas y oceanográficas.

El incremento en la necesidad de observaciones de y desde los océanos es debido a la combinación de tres importantes factores:

a) Aumento en la demanda de servicios meteorológicos para marinos

El primer hecho constatado es que desde el final de la Segunda Guerra Mundial la meteorología marina se ha extendido diversificando los servicios especializados, lo cual exige obtener datos detallados y precisos, aumentando la observación realizadas por los diferentes medios disponibles. Algunos ejemplos de nuevos servicios para los marinos son:

- Determinación de rutas meteorológicas para los buques que realizan viajes transoceánicos.
- Realización de observaciones meteorológicas y oceanográficas actualizadas, y de predicciones para optimizar la actividad pesquera.
- Predicciones meteorológicas más fiables para las embarcaciones especializadas como aerodeslizadores, hidroplanos y transbordadores de gran velocidad.
- Ayudas meteorológicas para delicadas operaciones en alta mar relacionadas con petróleo y gas, como sondeos, tendido de tuberías y reabastecimiento, así como en operaciones de lucha contra la contaminación de petróleo en la mar.

b) Predicciones precisas y utilizables en períodos de tiempo amplios.

El clima está sometido a variaciones cíclicas en todas las escalas temporales, desde las estaciones del año hasta décadas y períodos de mayor amplitud. La más conocida de estas

variaciones está relacionada con el fenómeno de El Niño / oscilación Austral (ENSO). Este cambio y oscilación de la presión atmosférica a lo largo del Océano Pacífico ecuatorial se produce de manera irregular en intervalos entre dos y siete años. Está vinculado a las modificaciones de las características de la temperatura en la superficie de mares tropicales a consecuencia de un debilitamiento del Alisio, donde el cuadrante Este del Pacífico, suele ser anormalmente cálido durante los años en que surge El Niño.

En todo el mundo, las sequías, las inundaciones, la destrucción de importantes pesquerías y otros fenómenos inusuales están relacionadas frecuentemente con El Niño. Las investigaciones han puesto de manifiesto la existencia de un vínculo entre las temperaturas de la superficie de mares tropicales y el tiempo en regiones alejadas en los meses próximos ha abierto la esperanza de poder elaborar predicciones meteorológicas mensuales y estacionales útiles. Esto ha estimulado los esfuerzos para elaborar tales productos, por lo que se necesitan más observaciones desde zonas oceánicas.

c) Espectro del calentamiento de la Tierra.

El tercer factor surge en las dos últimas décadas, debido a la preocupación por los posibles efectos negativos por el calentamiento de la Tierra. Los esfuerzos por comprender el funcionamiento del sistema climático mundial se han intensificado. Para afrontar este desafío, la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima (Ginebra, 1990) juzgó la necesidad de establecer un sistema completo de observación de los océanos como componente esencial del Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS), y posteriormente en 1998 la Conferencia de las Partes en la Convención Marco sobre el Cambio Climático, de las Naciones Unidas (UNFCCC) pidió a los gobiernos que mejoraran sustancialmente la vigilancia sistemática y las actividades de recopilación de datos sobre los océanos y en el interior de ellos.

1.6 Situación actual e importancia del tema

Las condiciones en las que se desenvuelven algunos temas hacen que las informaciones sobre ellos sean reservadas, por lo cual buscar bibliografía para conocer como es la situación actual es bastante complicado. Éste es el caso del tema objeto de tesis, donde están involucrados organizaciones que buscan los beneficios comerciales que de estos estudios se derivan.

Algunos proyectos patrocinados por los programas de I+D de la Unión Europea¹⁴ facilitan las primeras referencias. Además se puede ver la situación actual en los informes de las distintas sociedades de clasificación, así como el trabajo realizado por distintas oficinas técnicas, astilleros y empresas privadas relacionadas con el tema.

El consorcio ATOMOS, se centra en el nexo existente desde el punto de vista de la seguridad marítima y de la eficiencia, entre la disposición física del centro de gobierno del buque y las tecnologías que constituyen un sistema de control integrado, que pueda permitir la operatividad e intercomunicación entre sistemas modulares, uno de los cuales es la estación de trabajo de las variables meteorológicas. Un segundo proyecto es el realizado por el consorcio MASIS II, que se centra en las mejoras a realizar en la ejecución de tareas a bordo, analizando el comportamiento humano y poniendo una especial atención a las situaciones de emergencia. Resumiendo desarrollan métodos y procedimientos prácticos para un interfaz efectivo hombre-máquina, a la vez que se reduce el impacto del factor humano en los accidentes marítimos.

La flota mercante de algunos países ha experimentado en los últimos años un declive significativo en materia de competitividad, debido al hecho de que la operativa de sus buques es en general de un coste elevado. La solución al problema planteado debe pasar por asegurar y elevar la seguridad marítima y la eficiencia de gestión dentro del propio buque, mediante la combinación de una evaluación de las necesidades del usuario. Una de las medidas adoptadas por los países afectados de esta evolución del negocio marítimo ha sido el diseño, desarrollo y operación de buques altamente automatizados; manejados por tripulaciones reducidas.

La meteorología ha jugado siempre un papel fundamental para la seguridad en la navegación, la combinación del tiempo meteorológico junto a la mar que pueda generar un determinado escenario sinóptico; es de suma importancia para las posibilidades que tiene de concluir de forma segura el viaje de cualquier buque. Dos terceras partes de la población mundial viven en zonas costeras y dos de cada tres ciudades con más de 2 millones de habitantes están situadas en la costa. Razón mas que suficiente para que actualmente los estudios sobre previsión del tiempo sean muy importantes.

¹⁴ *European's Commission Directorate General for Transport and Energy DG TREN (antigua DGVII) Waterborne Transport Research and development, 4th Framework Programme.*



Figura 2: Puente Integrado.

Las industrias relacionadas con el océano se han expandido considerablemente en las últimas décadas, y los océanos se consideran una mina de infinitos recursos. La obtención de agua dulce por desalinización del agua del mar, es una técnica que se desarrolla en países carentes de recursos hidrológicos. otra de las riquezas de la mar. El desarrollo de reservas petrolíferas y de gas natural en los océanos abastece a gran parte de la demanda mundial de hidrocarburos combustibles. Por último, la generación de energía eléctrica utilizando sus movimientos y temperatura del océano es otro de los grandes potenciales que se encuentran en la mar.

La vulnerabilidad del hombre ante los fenómenos y cambios climatológicos, hace que sea imprescindible contar con servicios meteorológicos que puedan prevenir desastres¹⁵. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) en conjunción con la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y otras organizaciones, realizan una vigilancia constante de los océanos a nivel mundial, por medio de satélites de observación, estaciones meteorológicas, aeronaves, boyas meteorológicas y otros medios menores.

¹⁵ Los océanos ejercen una gran influencia sobre el clima mundial y sobre el estado del tiempo día a día. Por ejemplo, en noviembre de 1970, unas 300.000 personas perecieron ahogadas en Bangladesh como consecuencia de una repentina marea de ciclón que se adentró en tierra, empujada por un fuerte ciclón tropical en el momento de la pleamar.

2 FUENTES DE INFORMACIÓN A BORDO

El capítulo desarrollará un marco caracterizador del sistema de observación, es decir los apartados necesarios para buscar cual es el tratamiento que se debe proporcionar a las variables meteorológicas y oceanográficas, matizando los criterios que se deben aplicar a los datos que se necesitan a bordo del buque. Se tendrán en cuenta las fuentes de información utilizadas para la obtención de datos de las variables.

Lógicamente, teniendo en cuenta que la tesis investiga las necesidades de los buques, se harán referencias a los esfuerzos realizados hasta la fecha por buques y Navieras, que han sido pioneras en aplicar las observaciones meteorológicas a la navegación, y por último se seleccionarán las variables utilizadas para definir las derrotas.

2.1 Introducción

La investigación de los océanos se ha desarrollado a grandes pasos a partir del siglo XVII, en el que los viajes a través de los mares se intensificaron gracias a los esfuerzos de los descubridores que, generalmente guiados por su afán aventurero y de conseguir riquezas, se lanzaron a expediciones para conocer otros territorios del planeta, aportando los primeros conocimientos sobre este misterioso medio que representan los océanos.

La expedición del “*Challenger*” fue el primer esfuerzo con bases científicas para estudiar los mares del mundo, por lo que se preparó con mucho tiempo y gran minuciosidad, tomando las experiencias de dos expediciones anteriores, las que realizaron el “*Lighting*” y el “*Porcupine*”, que permitieron perfeccionar los nuevos métodos para el trabajo del “*Challenger*”, sin escatimar gastos para lograr que la expedición tuviera todos los medios, tanto en personal como en equipo.

La adquisición de datos se basa en la observación de los mares y océanos, función que hasta hace 30 años realizaba las únicas plataformas de observación disponibles, los buques

oceanográficos, por tanto, la imagen del océano carecía de una dimensión sinóptica y de una resolución temporal que se ajustara al alcance espacial de los fenómenos oceanográficos y a la dinámica temporal en la que ocurren los procesos biológicos en el medio marino.

La observación remota para explorar la tierra y los océanos comenzó con la toma de fotografías aéreas en la I Guerra Mundial, posteriormente en los años 30 se levantaron los primeros mapas topográficos aéreos; en la década de los 40, coincidiendo con la II Guerra Mundial, se descubrió el espectro infrarrojo, siendo utilizado en fotografía aérea en los años 50. Con el lanzamiento del primer satélite “*Sputnik*” en 1957, comienza el desarrollo de sensores y plataformas específicos para la observación de la atmósfera, tierra y los océanos.

La teledetección oceanográfica se basa en la transmisión de energía electromagnética entre el océano y un sensor a bordo de un satélite o avión, comenzó en 1960 cuando fue lanzado el primer satélite meteorológico, al cual siguieron satélites capaces de medir la clorofila mediante sensores. Posteriormente otros satélites, por ejemplo, Seasat, Tiros o Nimbus, nos han ido suministrando información cada vez mas precisa. Hoy la tecnología situada a bordo de los satélites nos suministra diariamente infinidad de datos para confeccionar los mapas del tiempo.

Sin embargo, y no obstante lo anterior, no sólo el tiempo debe de ser considerado aparte del factor humano como principal responsable de los accidentes en la mar, por que existen otros factores quizás más subjetivos, por ejemplo, el hecho común de que cuando un buque no clasificado para operar sin restricciones en alta mar, se pierde o resulta dañado, el Capitán sea culpado¹⁶ de no haber obrado con la debida buena práctica marinera. De entre los análisis comparativos de accidentes en la mar relacionados con el estado del tiempo, destacaría el del Derbyshire; (cuya 2º fase investigación culminó en Marzo de 1998)¹⁷ y en el cual los expertos llegaron a diversas conclusiones, algunas de ellas respecto a la información meteorológica disponible por el buque.

También es frecuente de que el Capitán no sea informado de las limitaciones operacionales o de diseño de su buque. Es dudoso, que los tripulantes del granelero de bandera inglesa *Derbyshire*, supieran que la resistencia de las escotillas de carga, estuvieran diseñadas para soportar el peso una columna de agua de menos de 5 metros de carga estática por centímetro

¹⁶ Dr. CHEN, H. (2001). *Weather wise at sea. Safety at sea International. Febrero 2001.*

¹⁷ Department of the Environment, Transport and the Regions. Eland House. Bressenden Place. London SW1E 5DU. “*M.V. Derbyshire Surveys. UK/EC Assessors’ Report. A Summary*”.

cuadrado o que los sistemas de trincaje de muchos buques Post-Pánamax, estén diseñados para menos de 25° de escora.

La naturaleza competitiva del negocio marítimo, ha impulsado a los constructores de buques a usar en el diseño y posterior construcción naval, un uso masivo de los cálculos de estructuras por medio de los elementos finitos y la utilización de aceros de alta resistencia, los cuales permiten reducir el peso total de acero usado y por tanto del precio final de las unidades. Pero la IMO ya ha alertado del peligro de la constante reducción de los escantillones de las construcciones navales, sugiriendo a las Sociedades Clasificadoras la revisión de sus reglas relacionadas.

2.2 Fuentes de información

Los datos necesarios para la elaboración de la información meteorológica y oceanográfica provienen en primer lugar de los registros e históricos, reflejados en publicaciones impresas o documentos y publicaciones preparados por organizaciones e institutos meteorológicos, que recopilan y publican información de las condiciones de la atmósfera y la mar.

La segunda gran fuente de información es la propia observación directa realizada a bordo, y adicionalmente la que procede del exterior, a partir de los sensores instalados en sistemas fijos y móviles, dentro de los cuales estarían los satélites, otros buques, plataformas prospectoras y boyas de adquisición de datos.

La información procedente de la segunda fuente es obtenida a través de sensores que captan los datos de las variables meteorológicas y oceanográficas,¹⁸ de hecho no es el objeto de esta tesis, el repasar uno a uno los diferentes instrumentos utilizados a bordo para la toma de datos meteoro-oceanográficos. Pero en el otro lado del escenario, los servicios meteorológicos procesan los datos proporcionados por los sistemas móviles en general, para confeccionar previsiones sobre el tiempo que son utilizadas en tierra y recibidas a bordo a través de diferentes equipos de comunicaciones.

El desarrollo de tecnologías automáticas de observación meteorológica en las costas, permite recoger datos en áreas costeras y oceánicas, cuya extensión mar adentro dependerá de varios factores, entre ellos, la posibilidad de estabilización de los puntos de observación y el alcance

de los equipos instalados para transmitir la información. Cuando lo que nos interesa es ofrecer un servicio a los marinos, como es nuestro caso, las estaciones están situadas en la costa y en la mar (boyas), siendo en ambos casos de funcionamiento automático las operaciones de captación y transmisión de datos.

La entrada de Internet en el mundo de la comunicación ha supuesto disponer de otra fuente de información importante, ya que ha posibilitado el proceso de distribución de datos en forma de texto e imágenes a través de páginas públicas¹⁹ que son accesibles desde el buque, a través de la red de satélites de comunicaciones.

En la actualidad, la información de que dispone el marino es amplia y variada. Cada fuente por si sola puede tener limitaciones, pero, en su conjunto facilitan diferentes opciones informativas. Todas las fuentes de información permiten además que las previsiones sean variadas y poder contrastar los resultados de los datos procesados, es decir, los preparados por los servicios meteorológicos nacionales, lo cual supone disponer de matizaciones sobre las variables meteorológicas y oceanográficas que la tripulación necesita a bordo del buque.

Resumiendo la información disponible a bordo, se puede concretar en:

- Documentos y publicaciones
- Cartas climáticas, *Pilot Charts* Americanos y *Ocean Passages of the seas*, Británicos.
- Libros del Almirantazgo Inglés.
- Observación directa a bordo.
- Comunicaciones a través de INMARSAT, VHF / MF / HF.
- Receptores Navtex y Facsímil.
- Satélites meteorológicos
- Radares meteorológicos
- Institutos meteorológicos
- Aplicaciones informáticas para la planificación de derrotas.

La observación directa a bordo, será tratada más adelante y con relación a la normativa aplicable y el análisis de variables.

¹⁸ Posteriormente tratado desde el punto de vista normativo.

¹⁹ A través de páginas públicas de Internet, las organizaciones meteorológicas e institutos meteorológicos, presentan información dedicada a pesca de altura y baja o navegación deportiva,

2.2.1 Documentos y publicaciones

La disposición de fuentes documentales a bordo de los buques varía en función de la bandera que enarbola el buque y del compromiso que cada Naviera se plantea respecto a la seguridad, pero hay una serie de publicaciones que son exigidas por el Convenio SOLAS y que explícitamente están contempladas en la regla 20²⁰, lo cual hace que sean obligatorias, y su no-disponibilidad en caso de inspección en un puerto es motivo de sanción.

La regla 20 del convenio SOLAS establece:

“A bordo de todo buque deberá haber los adecuados derroteros, instrucciones para la navegación, libros de faros, avisos a navegantes, tablas de mareas y cualquier otra publicación náutica necesaria para el viaje proyectado, todo ello debidamente actualizado”.

Todos los documentos contienen datos cuya utilidad ha sido contrastada a lo largo de los años. La mayoría de ellos proporcionan datos de las condiciones climáticas de áreas oceánicas que bañan las costas de los países que las publican como los propios derroteros que proporcionan información de carácter local muy específica, no obstante algunas son consideradas publicaciones internacionales.

La información proporcionada por los *Pilot Charts* (Norteamericanos) y los *Ocean Passages of the seas* (Británicos), que se consideran casi imprescindibles para los viajes a gran escala, puesto que permiten realizar una previsión de las condiciones climáticas (lo que cabe esperar) de la zona por la que se va a navegar. Si bien en el Convenio SOLAS no queda directamente reflejado, si se hace referencia explícita al mencionar *“cualquier otra publicación náutica necesaria para el viaje”*. De modo que dado el volumen de información que contienen se tornan casi imprescindibles para los viajes a gran escala, puesto que permiten conocer las condiciones climáticas de la zona por la que se va a navegar.

²⁰ Dice: “A bordo de todo buque deberá haber los adecuados derroteros, instrucciones para la navegación, libros de faros, avisos a navegantes, tablas de mareas y cualquier otra publicación náutica necesaria para el viaje proyectado, todo ello debidamente actualizado”.

2.2.2 Cartas climáticas

Los *Pilot Charts* (Norteamericanos) son cartas publicadas desde el año 1.911 por el Servicio Hidrográfico de la Marina de los Estados Unidos de Norteamérica, constituyen una recopilación estadística de las condiciones meteorológicas y oceanográficas de un hemisferio de un determinado océano para cada mes del año.

Los *Ocean Passages of the seas* (Británicos) son también cartas preparadas por los servicios Hidrográficos del Reino Unido y cuyo contenido informativo es similar a los anteriores, lo que permite disponer de un conocimiento en determinada época del año de los mares y océanos.

La recopilación de datos meteorológicos estadísticos (climáticos) presentados por dichas publicaciones es amplia e interesa destacar la siguiente información:

- Derrotas transoceánicas recomendadas, para trasladarse entre determinados puertos. Se valoran varios parámetros y se recomiendan las derrotas en función del tipo de buque y de sus características, teniendo muy en cuenta la velocidad que el buque puede desarrollar.
- Vectores de Viento, indicando los valores medios de dirección, intensidad y porcentaje de ocurrencia. En los mares u océanos que donde se producen, también se indica el límite de las regiones de vientos permanentes (alisios y monzones), ya que sus características son variables respecto a otros vientos.
- Datos de probabilidad de temporales, se indican en cada cuadrícula de cinco grados de latitud el porcentaje mensual de observaciones en el que el viento alcanza una fuerza ocho o cuando supera éste valor.
- Curvas que encierran áreas en las que se especifica el porcentaje de encuentro de oleaje superior a 9 ó 12 pies.
- Respecto a los ciclones tropicales, se trazan las trayectorias observadas durante años anteriores al de la publicación y se centran a las 1200 UTC.

Una característica interesante de imágenes de los *Pilot Chart* u *Ocean Passages of the sea*, es que las diferentes líneas y vectores trazadas sobre ellos se realizan con diferentes colores u estructura, por ejemplo:

- La niebla está indicada por curvas punteadas con el porcentaje de observación sobre la base del tiempo.
- La presión y la temperatura, se representan en las isobaras y isotermas correspondientes a las medias mensuales.
- Las corrientes marinas, son dibujadas mediante flechas de color verde siguiendo su dirección e indicando su intensidad media.

2.2.3 Libros del Almirantazgo Inglés

La legislación internacional es ambigua respecto a concretar el origen de libros y publicaciones que el buque debe llevar obligatoriamente, normalmente, el País de matrícula es el que determina que lleve sus publicaciones (si dispone de ellas), pero además son de uso generalizado las publicaciones inglesas y americanas que suelen complementar las de otros países, por ejemplo España y Francia.

Las razones apuntadas son las que permiten referenciar los libros del Almirantazgo Inglés siguientes:

- VOLUME 2, información sobre ayudas a la navegación.
- VOLUME 3, datos sobre servicios de radio que difunden información del tiempo.
- VOLUME 4, dispone información meteorológica específicamente.
- VOLUME 5, contiene información sobre el GMDSS, que contempla la transmisión de información meteorológica.

2.2.4 La observación a bordo.

La meteorología juega un papel fundamental en la seguridad de la navegación, por lo cual además de todos los datos recibidos a bordo, es necesario realizar observaciones. Es por este motivo que la normativa internacional regula el material náutico que deben equipar los buques para las mediciones meteorológicas.

La observación realizada en los buques, es uno de los pilares del conocimiento de las condiciones locales en las que se basa el marino. En ausencia de medios de comunicación, la navegación se ha basado en los datos obtenidos a bordo, los cuales proporcionan la información local, que en definitiva es la más interesante para los buques. La necesidad de ampliar el área de información disponible, se debe a la propia previsión de lo que va a acontecer para permitir una respuesta con antelación del Capitán en forma de un cambio de derrota o una maniobra evasiva.

El oficial debe cubrir durante su guardia, los datos de temperatura exterior, presión atmosférica, dirección e intensidad del viento y altura de las olas. Estos datos son reflejados en el Diario de navegación, pudiendo ser utilizados en viajes posteriores. En el apartado de presentación se sugiere que estos datos pasen a un archivo de histórico y sean accesibles en la planificación de derrotas. Es un dato a tener en cuenta ya que la combinación del tiempo meteorológico junto a la mar genera un escenario sinóptico cuyas conclusiones se aplican a las derrotas trazadas.

La complejidad de las mediciones es mínima, por lo que la exactitud de los valores de las variables estará en función de los equipos disponibles y la correcta operativa del oficial. Por otra parte, la información del tiempo que puede recibir el buque por sus propios medios, es evidentemente la que sus sensores puedan captar localmente, tales como un barómetro, termómetro, higrómetro, anemómetro, psicrómetro y otros. Pero esta información por su propia puntualidad geográfica, tiene una validez en el tiempo muy limitada.

También es importante recordar que los buques están obligados a comunicar al exterior el avistamiento de determinados fenómenos por normativa, ya que existe la regulación de los procedimientos que se deben emplear en caso de avistar manifestaciones meteorológicas que podrían representar un peligro para la navegación, previamente tratada. También están regulados los conocimientos mínimos que deben tener los oficiales y Capitán de un buque para la correcta interpretación de los elementos.

La oceanografía física, también se vale de buques especializados para sus observaciones y mediciones, las cuales deben de ser precisas para lograr sus objetivos, principalmente los de estudiar e investigar las condiciones de la mar. El desarrollo posterior de las previsiones se basa en los datos recibidos mediante modelos numéricos, cuya validez dependerá del número de datos manejados, es decir, cuantos más datos estadísticamente se reduce el error.

La utilización de nuevas tecnologías para recoger datos de los océanos no ha eliminado la observación meteorológica a bordo, que es realizada por la mayoría de buques, especialmente por los participantes en la observación voluntaria. Estos continúan siendo fundamentales²¹ para la meteorología, tanto para la confirmación de las observaciones satelitarias, como para proporcionar informaciones importantes que los satélites no pueden detectar. Los datos aportados contribuyen a la creación de los modelos de predicción numérica que constituyen la base de las predicciones y avisos actuales, y proporcionan informes en tiempo real que son utilizados inmediatamente en los servicios de ayuda a los buques²².

La normativa internacional regula el material náutico que deben equipar los buques (previamente tratado), tanto para la toma *in situ* de mediciones meteorológicas como para la obtención directa de partes y predicciones meteorológicas, desde fuentes externas. También existe una regulación acerca de los procedimientos a realizar en caso de avistar fenómenos que podrían representar un peligro para la navegación²³, así como también de los conocimientos mínimos que deben tener los oficiales y Capitán de un buque para poder realizar una buena interpretación de estos fenómenos con respecto a la navegación segura.

2.2.4.1 Clasificación de los buques

Las áreas oceánicas por las que pueden navegar los buques, están bajo observación, para la captación de datos utilizados, pero los medios desplegados y la información obtenida no es igual en todos, esto implica que, las previsiones meteorológicas no resulten tan sencillas ni frecuentes de realizar como en tierra (cien observaciones de superficie realizadas en tierra corresponden a una observación en áreas oceánicas²⁴). La aportación de datos sobre estas zonas oceánicas²⁵ es básica para la predicción meteorológica utilizada por los marinos y los estudios e investigaciones sobre el clima. Como solución, durante el Año Internacional de la Geofísica (1957-1958) se inició un programa especial en el que los buques que no realizaban

²¹ La importancia de las observaciones *in situ* se complementa con la cobertura espacial y temporal que ofrecen los satélites.

²² El advenimiento de las radiocomunicaciones a principios del siglo XX hizo posible que las oficinas meteorológicas de tierra transmitieran avisos de condiciones de peligro a los buques. El sistema fue reconocido en la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida en la Mar, y actualmente se encuentra especificado en la Regla 4 del Capítulo V de SOLAS.

²³ Existen procedimientos precisos para transmitir las observaciones.

²⁴ MARTIN S. BARON.(2000).*Voluntary Observing Ship Program: Observations From Moving Ships Are Very Important*. Mariner's Weather Log, Agosto 2000– (National Weather Service)

rutas tradicionales eran solicitados para que hicieran observaciones y transmitieran informes en una forma de código reducida.



Figura 3: Embarcación del US Coast Guard, para la realización de estudios de la mar .

La Organización Meteorológica Mundial creó el “Programa de Buques para la Observación Voluntaria”, mediante el cual los servicios meteorológicos nacionales seleccionan ciertos buques que operan en los distintos océanos y mares del mundo para recoger y transmitir datos meteorológicos²⁶. Posteriormente se han ido añadiendo otras figuras y actualmente existen tres tipos de estaciones o plataformas²⁷ de observación marítima de superficie sinóptica identificados como estaciones marítimas móviles, estaciones marítimas fijas y estaciones marítimas automáticas móviles. El primer grupo es el que nos interesa, ya que en él se reúnen los buques mercantes, se subdivide en estaciones de buque seleccionadas, suplementarias, y auxiliares.

- a) **Buques seleccionados.** Es un grupo formado por la gran mayoría de los buques de observación voluntaria, están equipados con los suficientes instrumentos meteorológicos, certificados, para la realización de observaciones, que transmite regularmente informes meteorológicos en la clave SHIP completa, almacenando la información en cuadernos meteorológicos que posteriormente entrega a los Agentes Meteorológicos de Puerto.
- b) **Buques suplementarios.** Son buques capaces de observar los elementos meteorológicos, pero están equipados con un número limitado de instrumentos. Al igual que los anteriores

²⁵ Las denominadas “zonas de datos escasos”.

²⁶ Su antecedente data de 1853, cuando delegados de 10 países se reunieron en una conferencia en Bruselas a iniciativa de Matthew F. Maury, director del Servicio Hidrográfico de la Marina de los Estados Unidos.

²⁷ Las plataformas puede estar en la superficie o en el fondo del mar, en el interior del océano o en el espacio, dependerá de las necesidades a cubrir.

transmiten regularmente los informes meteorológicos en la clave SHIP, pero abreviada y los almacenan en un cuaderno meteorológico.

- c) **Buques auxiliares.** Son buques fuera de las rutas normales de navegación utilizadas por buques seleccionados o suplementarios, no suelen estar equipados con instrumentos meteorológicos certificados, pero pueden ser requeridos para transmitir informes meteorológicos, usando una forma de código reducida (SHRED)²⁸ o bien en lenguaje llano.

Las mediciones en la mar requieren disponer de plataformas que sean estables para transportar los instrumentos requeridos para obtener los datos. Los buques disponen sus instrumentos mediante garitas, suspensiones y receptáculos adecuados para poder captar sin perturbaciones externas, en las áreas por las que el buque navega. Existiendo sensores más adecuados que otros.

2.2.5 NAVTEX

El sistema NAVTEX es un servicio internacional de impresión directa que tiene la particularidad de ser recibido de forma automática a bordo de los buques y que la información recibida abarca todas las áreas de la seguridad marítima, pudiendo ser transmitida desde las estaciones de tierra a los buques en el mismo momento en que se produce. Las estaciones españolas, desde sus cuatro centros²⁹ emiten boletines en Inglés y en Español. Elaboran tres tipos de boletines, uno que comprende las zonas marítimas de responsabilidad española pertenecientes al Mediterráneo, y otros dos con las correspondientes al Atlántico.

El sistema NAVTEX tiene reservadas tres frecuencias para su uso exclusivo:

- 518 kHz, es el Canal principal de NAVTEX.
- 490 kHz, es una frecuencia para transmisiones en idiomas distintos al inglés.
- 4209.5 kHz, reservada para transmisiones en zonas tropicales.

²⁸ SHip REDuced code

²⁹ La red de Estaciones Navtex está formada por la Coruña, Cabo la Nao, Tarifa y Canarias.

Una aplicación para las transmisiones de emisiones en el Navtex, es el FEC (*Forward Error Correction*). Se trata de señales radio similares a las RTTY, es decir emisiones de tipo binario, pero que no contienen bits de inicio y fin de caracteres, lo cual significa que es necesaria una perfecta sincronía entre la estación emisora y la receptora, puesto que los datos se transmiten mediante un flujo continuo de bits. Intercalados en este flujo se transmiten caracteres especiales de sincronización, que el receptor los utiliza para interpretar correctamente los datos que van llegando. Cada carácter se transmite dos veces consecutivas, separadas por intervalos de 280 milisegundos, con lo que se eliminan errores debidos a las interferencias. Esta doble transmisión de datos es lo que da nombre al tipo de la emisión.



Figura 4: Vista frontal de un receptor Navtex.

Las estaciones españolas de Navtex que podemos captar en el puerto de partida son La Coruña (indicativo D) que trasmite a las 0030 y 1230 (horas UTC); y Las Palmas(indicativo I) que trasmite a las 0920, 1320, y 1720 (horas UTC).

Además de las estaciones españolas tendremos en cuenta otras que se pueden utilizar para el ejemplo de derrota. Por ejemplo, para el caso de las estaciones ubicadas en suelo del Reino Unido tenemos la estación de Niton “D”, que emite a las siguientes horas 0018, 0418, 0900, 1218, 1618 y 2100 (horas UTC), la de Portpatrick “O” que emiten a las 0130, 0530, 0930, 1330, 1730 y 2130 (horas UTC). Por último y antes de llegar a las costas americanas, durante la travesía es posible poder captar alguna señal de la estación de Azores “F” en la Navarea II y que emite a las 0050, 0450, 0850, 1250,1650 y 2050(horas UTC).

Por último podremos obtener datos relevantes llegando al puerto de destino sintonizando las estaciones de Canadá en Sydney “K” a las 0040, 0540, 0940, 1340, 1740 y 2140 o las de

Estados Unidos en Boston “F” a las 0445,1045,1645 y 2245 y la de Portsmouth “N” a las 0130, 0730, 1330 y 1930 (horas UTC).

2.2.6 Radiofacsimil

En 1874 Wheatstone y Cooke idearon un sistema de transmisión por cable capaz de enviar caracteres de un extremo a otro de la línea. En esta misma fecha fue inventado el código Morse, y Emile Baudot inventó el código que lleva su nombre y que permitía imprimir a distancia caracteres utilizando las líneas telefónicas. El primer teletipo fue introducido en Gran Bretaña en 1924. En los años cincuenta se desarrolló el uso de los teletipos mediante onda corta lo cual permitió iniciar su introducción a bordo de los buques, no obstante, en la actualidad son pocos los radio-teletipos (RTTY³⁰) que siguen funcionando a bordo de buques.

Una de las aplicaciones de la transmisión por radio es el radiofacsimil, instrumento que proporciona una información similar a las cartas de tiempo para la predicción meteorológica. El equipo está formado por un receptor de onda corta que recibe la información, ésta es decodificada y recogida en el papel de una impresora, para su posterior interpretación.

Muchos países del mundo disponen de emisoras de radio que transmiten mapas del tiempo que ayudan al marino. Son transmitidos a diferentes horas y pueden contener diferentes informaciones, por ejemplo, mapas de superficie, de altura, isobáricos, de isothermas; de isohipsas, de predicción a 48, 72, y 96 horas, o mapas de temperaturas del agua de la mar.

A continuación podemos observar un ejemplo de carta del servicio meteorológico británico, susceptible de ser recibido por radiofacsimil. La fecha del mismo corresponde al día en el que el buque tanque Prestige, comunicó su comprometida situación.

³⁰ Explicación sobre la estructura de la información en los anexos.

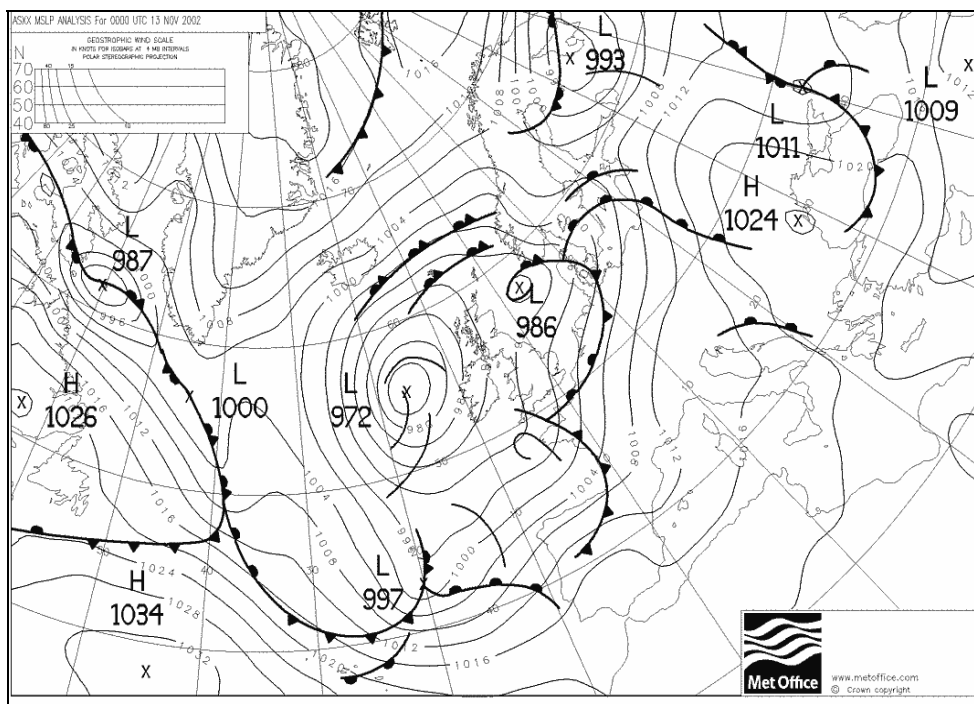


Figura 5 : Mapa de análisis isobárico en superficie, con distribución de frentes (fuente UKMO)

Para el ejemplo de derrota que se estudiará, tenemos las siguientes estaciones con su numeral de equipo, que nos pueden facilitar información sobre el estado del tiempo:

- Para la zona siete que abarca el Atlántico Norte parte septentrional:
 - 0 DCF Offenbach.
 - 1 DDK/DDH Hamburgo.
 - 5 LMO Oslo.
 - 7 TFA Reykjavic.

- Para la zona seis que abarca el Atlántico Norte parte Este:
 - 0/1 GFA Bracknell.
 - 2 GYA/GZZ/GUJ Northwood.
 - 4 CTV Monsanto (Portugal).

- Para la zona cinco que abarca el Atlántico Norte parte Oeste:
 - 1 NAM Norfolk.
 - 2 KWAF Washington DC.
 - 3 KW Lewes/Delaware.

- 4 WFH Brentwood.
- 5 NIK Boston.
- 6 NMF Boston.
- 7 CFH Halifax..

2.2.7 Satélites

2.2.7.1 Introducción

Los satélites meteorológicos se han convertido en una de las herramientas más prácticas que ha producido la tecnología espacial para la predicción del tiempo desde sus inicios en abril de 1960. En efecto, si el primer satélite artificial se puso en órbita en 1957, siendo el Explorer 8 (1959), el primero en llevar al espacio un instrumento para la observación de la atmósfera, un radiómetro experimental para el estudio global (ERBE).

Los Estados Unidos de América pusieron en órbita el primer satélite meteorológico, el TIROS 1 (*Television and Infrared Observation Satellite*), los siguientes de la serie cambiaron su denominación por ESSA (*Environmental Science Administration*), y más tarde fueron sustituidos por una versión mejorada denominada ITOS (*Improved Tiros Operational Satellite*). Los E.U.A además de desarrollar el programa de satélites meteorológicos de la serie TIROS puso en órbita los satélites *NIMBUS*, de tecnología más avanzada. En la década de los 70 son lanzados al espacio nuevos satélites meteorológicos, los ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) cuyos objetivos son localizar recursos naturales, por ejemplo, yacimientos, minerales, campos petrolíferos o los bancos de pesca.

La antigua Unión Soviética (URSS) también puso en marcha programas de satélites meteorológicos, el primero fue el *COSMOS 14* lanzado en abril de 1963 al que siguieron otros *COSMOS*, algunos para observaciones generales de la atmósfera y otros para realizar observaciones experimentales. Esta serie incluye satélites dedicados a otros menesteres, y los satélites meteorológicos no tienen denominación específica diferencial.

La información suministrada por los satélites meteorológicos es de especial valor en regiones oceánicas, donde la cobertura es escasa, como por ejemplo, en los trópicos y el hemisferio sur. El gran número de satélites puestos en órbita ha significado un enorme esfuerzo que ha

merecido la pena realizar, por los beneficios que han reportado gracias a la anticipación y seguimiento de fenómenos, cuyas consecuencias hubieran derivado en catástrofes, el precio de las cuales no puede ser determinado. Un segundo aspecto positivo es la concienciación que han adquirido algunos países sobre las posibilidades que ofrecen los satélites meteorológicos.

Los objetivos que pueden tener los satélites meteorológicos y los servicios que de ellos se pueden esperar después del procesamiento de los datos son numerosos, veamos por ejemplo algunos que tienen que ver con las mejoras que se pueden lograr en la navegación:

- Distribución de la temperatura y la presión a diferentes niveles
- Viento a distintos niveles.
- Distribución de las nubes y su estructura.
- Altura y temperatura de la cima de las nubes.
- Fases del agua de la capa superior de la nube.
- Contenido total de agua en las nubes.
- Zonas de precipitación y su intensidad aproximada.
- Localización de corrientes oceánicas superficiales.
- Altura de las olas.
- Movimiento de hielos.
- Zonas de fusión de la nieve y el hielo.

Las ventajas que nos puede proporcionar son entre otras la valoración técnica de la información, ya que la fiabilidad de los datos es muy importante, además los satélites son una buena opción para disponer de visiones históricas de las variables climáticas en una región determinada, por último es destacable que la oceanografía estudiada desde el espacio es más barata y rápida que la oceanografía clásica.

2.2.7.2 Sensores utilizados

La utilidad de la observación remota mediante sensores para explorar la tierra y los océanos comenzó con la toma de fotografías aéreas en la primera guerra mundial, posteriormente en la década de los años treinta se levantaron los primeros mapas topográficos aéreos. Coincidiendo con el final de la Segunda Guerra Mundial, se descubrió el espectro infrarrojo que empezó a

ser utilizado en fotografía aérea y comienza el desarrollo de sensores y plataformas específicos para la observación de la atmósfera, tierra y océanos.

Los primeros satélites iban equipados con un registrador magnético que almacenaba toda la información recogida durante la órbita de reconocimiento y al pasar por la vertical de una estación transmitía, a alta velocidad, todas las imágenes y datos almacenados. A partir de 1963, la NASA, con el lanzamiento del *TIROS-8*, puso en servicio un nuevo sistema de transmisión de información denominado *APT (Automatic Picture Transmisión)*. Los equipos del sistema fueron perfeccionados y equiparon el *NIMBUS-1* (1964) y el *ESSA-2* (1966). Las mejoras introducidas permiten a las estaciones de tierra recibir la información del satélite meteorológico mientras las sobrevuela y también cuando está recorriendo la órbita.

Los satélites pueden “ver” gracias a los radiómetros ubicados en los satélites meteorológicos que son sensores capaces de detectar la radiación electromagnética. Por ejemplo, la radiación que la superficie de la Tierra refleja se concentra en el espectro visible, mientras que la emitida es principalmente del tipo infrarrojo (IR). La utilidad de la radiación electromagnética es que permite transmitir sin soporte físico, desde la fuente radiante, hacia cualquier dirección, en forma de superposición de campos electromagnéticos. Gracias a que la radiación se propaga por el espacio, incide sobre la materia y la modifica, es posible la teledetección a través de sensores remotos, que captan la radiación y la transforman en intensidades eléctricas que luego pueden ser estudiadas y analizadas para obtener valores numéricos.

Los diversos tipos de sensores utilizados en oceanografía se agrupan dentro de una clasificación general en la que se hace distinción entre los que emiten una señal electromagnética y los que no lo hacen:

- **Los sensores activos** son los que emiten una señal electromagnética y la reciben reflejada; son los instrumentos de tipo radar y su uso es extensivo en altimetría, rugosidad, batimetría, etc. La mayoría de los sensores activos trabajan en frecuencias de microondas, siendo actualmente los principalmente usados, los sensores láser (LIDAR) y los radar (SAR).
- **Los sensores pasivos** son los que reciben una señal de la tierra en forma de luz visible (por tanto sólo pueden trabajar de día y cuando el sol no está muy inclinado sobre el horizonte) o en forma de radiación (en las bandas infrarroja y microondas del espectro). Los sensores pasivos incluyen los térmicos y los visibles (temperatura de la superficie del mar, clorofila y otros).

Las características generales y las prestaciones de algunos tipos de sensores son las siguientes:

- **Radiómetros térmicos.**

Uno de los primeros objetivos encomendados a este tipo de sensor fue elaborar mapas globales de la distribución de temperaturas e identificar las variaciones anómalas del clima, como el fenómeno del Niño en el Pacífico. Estos sensores también nos proporcionan información precisa sobre fenómenos a una escala menor (meso escala), como por ejemplo, los frentes térmicos. Este servicio puede ser usado por los buques pesqueros para su actividad, pudiendo localizar las concentraciones de algunas especies, por ejemplo, los túnidos.

- **Radiómetros de color.**

Equipos que permiten mostrar las variaciones de color debidas a las concentraciones variables de fitoplacton y otros componentes, cada color tiene propiedades diferentes de absorción y reflexión en diferentes las regiones del espectro visible. Los oceanógrafos han estudiado el tema elaborando combinaciones matemáticas de varias de estas bandas para obtener una estimación del contenido de clorofila y, por lo tanto, de la biomasa de fitoplancton. Los sensores de color pueden mostrar procesos dinámicos de meso escala similares a los observados con sensores térmicos. En algunas regiones oceánicas han sido utilizados para detectar la variación de la biomasa. Algunos de estos sensores con resoluciones grandes permiten observar en las rías o en regiones costeras, fenómenos como las mareas rojas o la dispersión de contaminantes en esos lugares.

- **Radares de apertura sintética (SAR).**

Proporcionan imágenes relacionadas con la rugosidad de la superficie marina, que facilitan información sobre la distribución de olas, su reflexión y refracción costera, la batimetría de área poco profundas y la presencia de ondas internas. Su utilización ha tenido un notable incremento, al ser utilizados estos sensores en la investigación y evolución de las manchas de petróleo y sustancias contaminantes de reflexión baja al radar.

- **Altimetros.**

Miden la altura del nivel de la mar en función del tiempo de retorno de un pulso de radar enviado verticalmente desde el sensor al océano. Estos sensores no generan imágenes sino medidas lineales, pero la composición de varios pases sucesivos permite observar la

topografía de la superficie marina sobre cuencas oceánicas, la cual puede ser interpretada en términos de circulación. Además del tiempo de retorno, el sensor puede medir cambios en la magnitud, forma y frecuencia del pulso emitido desde el satélite, y una de estas variaciones (la forma del pulso reflejado) es utilizada operacionalmente para estimar la altura de las olas.

2.2.7.3 Cobertura espacial

El tipo de órbita es una característica de los satélites que permite realizar una clasificación, por ejemplo, las órbitas elípticas están inclinadas respecto al ecuador, éste grado de inclinación determina la distancia desde el ecuador que un satélite puede ver la Tierra. Las inclinaciones típicas son cercanas a 60°, de tal forma que el satélite cubre una región de 60°N a 60°S. Los satélites que cubren esta región, completan una órbita alrededor de la Tierra en cerca de 50 minutos. Hay también un segundo grupo de satélites que tienen una inclinación cercana a 90° y por tanto pueden ver ambos polos siendo su trayectoria órbitas polares. La altura orbital típica de estos últimos satélites es de 800 Km. El tercer y último grupo es el de los satélites geoestacionarios. Estos orbitan alrededor de la Tierra a la misma velocidad con la que la Tierra rota alrededor de su eje y son por tanto, estacionarios con respecto a la Tierra. Esta situación sólo es posible si el satélite está sobre el ecuador a una altura de 35.800 Km, distancia mucho mayor que la de los otros satélites. Los satélites geoestacionarios por consiguiente, no pueden ver los polos y obviamente su resolución es menor que la de los anteriores.

Los satélites utilizados como plataforma para la obtención de datos incluyen la selección de los sensores adecuados y además la órbita en la cual se debe mover el satélite, es decir, que sensores y órbita están íntimamente relacionados; por ejemplo, un sensor para estudiar las capas de hielo en los polos no consigue mucho si está en un satélite geoestacionario; un sensor para la medición de la cobertura de nubes con el fin de realizar predicciones del clima, no se coloca en una órbita polar.

a) Satélites meteorológicos de órbita polar.

Los satélites de órbita polar o heliosíncrona giran de forma sincrónica con el Sol, en una altitud de entre 850 Km y 870 Km, lo cual permite captar imágenes de gran calidad, especialmente cuando las condiciones atmosféricas son buenas. La velocidad orbital

facilita la exploración de las áreas terrestres y oceánicas una vez por la mañana con dirección norte a sur; y otra de noche, cuando el satélite tiene una dirección ascendente.

Las frecuencias utilizadas para el envío de las imágenes están dentro de la banda de VHF (137 Mhz), y el procedimiento comienza con la captación de la información mediante sensores, es codificada y comienza a ser enviada con una velocidad que dependerá de la tecnología incorporada en los equipos utilizados, por ejemplo, a una velocidad de dos líneas por segundo, se puede tardar sobre 9 minutos en tener la imagen completa.

Una vez recibida en la estación de tierra y mediante una aplicación informática se puede recortar una zona determinada, ampliarla, imprimirla o grabarla en vídeo para crear una visión animada utilizando varias imágenes. La toma de imágenes secuenciales es factible. Hay que recordar que estos satélites siguen un movimiento de polo a polo, por lo que tendremos que saber el horario del paso del satélite para poderlo recibir en el momento la información. Esto es posible hoy día gracias a los programas de seguimiento de satélites no geoestacionarios como por ejemplo WINORBIT, de gran facilidad de trabajo. El programa nos permite saber en todo momento qué satélite está pasando por nuestro campo de visión y lo que es más importante la previsión de los siguientes pasos. Existen otros programas de predicción como Instantrack o Logsat. Estos satélites como otros con aplicaciones de teledetección (ERS-1, ERS-2 o ENVISAT) utilizan el SAR como sensor para diversas aplicaciones, pero tiene el inconveniente de no poder transmitir de forma continua debido al alto consumo energético del SAR, por lo que éste es activado sólo en determinadas órbitas.

Algunos de los satélites meteorológicos de órbita polar son:

- Serie NOAA/TIROS de los EE.UU.
- Serie METEOR de Rusia.
- Fy-1 (Feng-yun) de China.
- QUIKSCAT también de los EE.UU.

b) Satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria.

El segundo tipo de satélites meteorológicos es del tipo geoestacionarios. Estos están en la llamada “Orbita Clarke” a 36.000 kilómetros de Ecuador de la Tierra y son síncronos a

ella, es decir rotan exactamente a la misma velocidad que la tierra, por lo que desde un punto fijo sobre la Tierra aparece estacionario de lo cual deriva el término geostacionario. Transmiten imágenes durante todos los días del año y casi durante las 24 horas.

Un satélite geostacionario está a mucho mayor altura que un satélite de tipo polar por lo que las imágenes cubren todo un hemisferio. Los satélites geostacionario envían imágenes de la misma área frecuentemente, en algunos casos cada 30 ó 15 minutos. Estas frecuentes imágenes pueden ser procesadas por un software para generar una animación y así ver los sistemas meteorológicos en movimiento. Proporcionan una valiosa información sobre el tipo, dirección y magnitud de las nubes lo que permite facilitar los pronósticos.

Los satélites geostacionarios transmiten dos señales, la WEFAX en 1691 Mhz que se recibe con equipo relativamente simple y GVAR a 1685,7 Mhz, de muy alta resolución, que requiere de una antena parabólica de 3 a 4 metros de diámetro, así como también equipos receptores y procesadores de alta tecnología. Entre los satélites meteorológicos geostacionarios encontramos:

- METEOSAT y MSG, gestionados por EUMETSAT–EUROPA.
 - GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) EE.UU.
 - GMS (*Geostationary Meteorological Satellite*) JAPÓN.
 - FY-2B (Feng-Yun) CHINA.
 - GOMS (*Geostationary Operational Meteorological Satellite*)RUSIA.
 - INSAT (*Indian Satellite*) INDIA.
-
- **Satélites METEOSAT.**

Las investigaciones en materia de satélites de las empresas Europeas se han puesto de relieve en los Meteosat, que son los satélites geostacionarios operados por el consorcio EUMETSAT. La altitud operativa está en los 35800 kilómetros, situándose el punto fijo de la vertical en el ecuador. Actualmente los satélites operativos son el Meteosat 7 situado en el meridiano de Greenwich cubriendo las áreas de Europa y África, y el Meteosat 5 está situado en 63° E, teniendo una visión sobre el Océano Índico.

Los satélites de la serie Meteosat están equipados con un radiómetro, que explora las zonas terrestres línea por línea, creando una serie de imágenes cada 30 minutos. El radiómetro utilizado es un instrumento de tres canales, uno visible de 0,45/1,00 μm , que explora 5000 líneas, consistiendo cada una en 5000 píxeles; otro canal es el infrarrojo de 10,5/12,5 μm y el tercero vapor de agua de 5,7/7,1 μm .

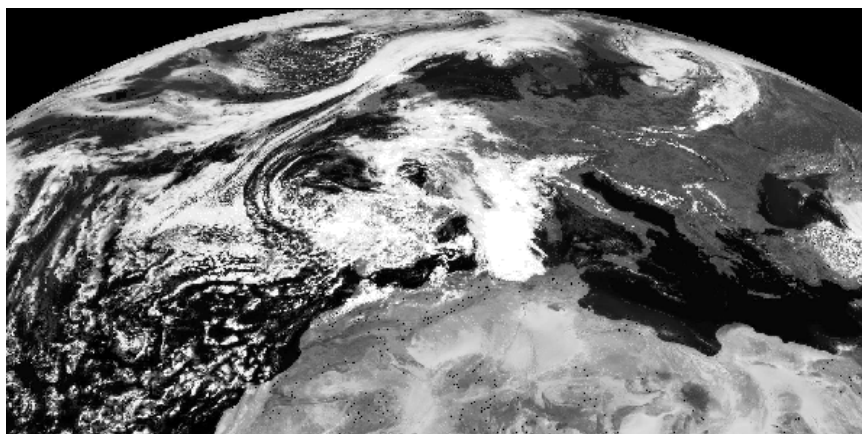


Figura 6: Imagen tomada por el satélite METEOSAT. © EUMETSAT 2003.

La comunicación de los datos que toman los satélites se hace en alta resolución, denominada HRPT (*High Resolution Picture Transmission*). Las ventajas de utilizar esta técnica permite que la información sea útil, para la predicción del tiempo, y para aplicaciones comerciales, por ejemplo la topografía, la cartografía, la agricultura o la prospección geológica. Incluso los buques dedicados a la pesca, pueden beneficiarse, ya que se puede medir con bastante exactitud la temperatura del mar.

La información en alta resolución del Meteosat, es decir, los datos primarios que se envían a las estaciones autorizadas PDUS (*Primary Data Users Station*), está codificada desde Diciembre de 1995, pero no se han codificado los datos secundarios, es decir, los modos de baja resolución (APT), cuya razón de ser es el aviso, con la mayor antelación posible de un potencial peligro, razón por lo cual los modos de baja resolución son y seguirán asequibles en el futuro, aunque sujetos a mejoras, por ejemplo, la implementación de un nuevo modo digital de baja resolución llamado LRPT (*Low Rate Picture Transmission*), con resolución mejorada respecto del APT.

El sistema necesario para convertir en imágenes la información que emiten los satélites meteorológicos y oceanográficos está formado por una antena, un preamplificador, una línea de transmisión, un receptor, un demodulador y un ordenador. La señal de radio que emite el satélite se convierte, por medio del receptor, en una señal audible, al oído humano. Se necesitará después una *interface* entre el receptor y el ordenador, para que el ordenador pueda entender las señales audibles de la radio. Esta *interface*, es el demodulador. Es decir, que para presentar la imagen en una pantalla hay que hacer dos tareas.

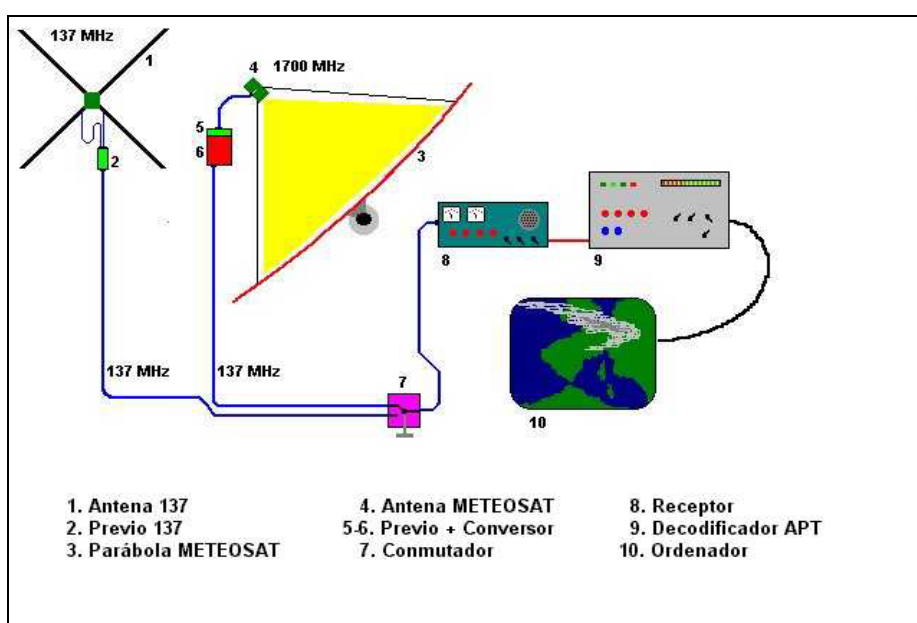


Figura 7: Bloques de la configuración de una estación meteorológica. Fuente EUMETSAT.

En primer lugar hay que convertir la amplitud variable del tono de la subportadora de la señal del satélite en una tensión variable, que a su vez, por medio de un convertidor analógico-digital, se convierte en señales digitales, que pueden ser procesadas, por un ordenador. Después el ordenador debe presentar en el monitor, en forma de imagen, las señales digitales que recibe del demodulador, de lo cual se encarga una aplicación informática.

- **GOES.**

GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*) son satélites geoestacionarios operados por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), fueron diseñados para detectar las condiciones meteorológicas desde una posición fija sobre la

tierra. Esta considerado como el primer satélite geoestacionario que ha proporcionado perfiles verticales de forma continua de la temperatura atmosférica y de los datos de la humedad. La altitud de los satélites es cercana a los 35800 kilómetros, estando situado el punto fijo de la vertical del satélite en el ecuador.

Los satélites GOES están equipados con un radiómetro para medir la energía radiada de las diversas gamas espectrales. El visualizador del GOES es un dispositivo de cinco canales: el canal visible es 0,55-0,75 μm , los canales infrarrojos son 3.8-4.0 μm , 10.2-11.2 μm , 11.5-12.5 μm y el canal vapor de agua es 6.5-7.0 μm . En el canal visible, la resolución es 1 kilómetro. En los canales infrarrojos, la resolución es de 4 kilómetros. En el canal vapor de agua, la resolución es 8 kilómetros. Esta medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para procesarla antes de ser entregada a la comunidad para su utilización. Los datos son distribuidos por el *National Environmental Satellite and Information Service* a diferentes usuarios. Las imágenes son tomadas cada 15 minutos sobre los Estados Unidos y cada 30 minutos en el resto de la tierra, no obstante también es posible explorar con intervalos más frecuentes, por ejemplo cinco minutos, incluso un minuto, cuando se requiere en ocasiones muy concretas.

La NASA lanzó el primer GOES para la NOAA en 1975, estando actualmente en funcionamiento los GOES-8 y GOES-10 y situado en órbita como satélite de emergencia está el GOES-11, que fue lanzado en el 2000. Ambos satélites meteorológicos están en órbita geoestacionaria sobre el ecuador, uno supervisa América (norte y sur) y la mayoría del Océano Atlántico, el otro el Océano Pacífico. El GOES-8 (Este) se coloca en la longitud de 75 W , mientras que el GOES-10 (Oeste) se coloca en la longitud de 135 W trabajando eso sí los dos a la vez. La cobertura se extiende aproximadamente a partir de la longitud del 20 W a la longitud de 165 E.

Para los usuarios que deseen una lectura directa, los satélites GOES transmiten imágenes de baja resolución en el servicio de WEFAX. Los datos de alta resolución se encuentran en un servicio primario del usuario de los datos de GVAR que requiere un equipo de recepción más complejo.

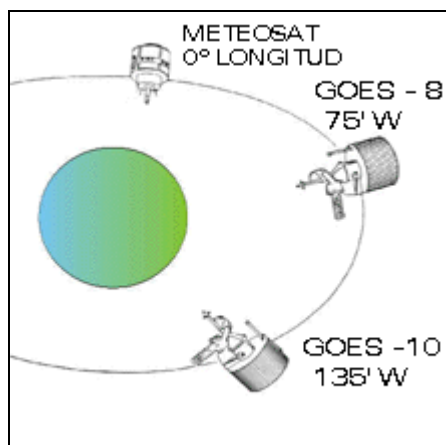


Figura 8 : Órbitas de los satélites GOES. Fuente NWS.

- **Tópex/Poseidon.**

El proyecto Tópex/Poseidón se basa en un satélite que desde sus inicios ha significado una revolución de los conocimientos del medio marino. Los orígenes se deben al proyecto SEASAT dedicado a la investigación del océano mediante satélites teniendo como objetivos entre otros temas, el estudio de las mareas y la circulación media oceánica. La información llegada a la Tierra por el satélite sólo duró tres meses, después falló. A principios de la década de los años ochenta, la NASA proyectó un nuevo satélite destinado al estudio de los océanos, el Topex³¹.

Inicialmente el proyecto era de la NASA, pero, los científicos franceses, tenían en la misma época un proyecto semejante denominada Poseidón, razón por la que con la intención de ahorrar presupuesto, ambos países firmaron, en el año 1985, un acuerdo de desarrollo de un satélite capaz de estudiar los océanos, el Topex/Poseidón.

El número de altímetros que equiparon el satélite fue de tres, dos estadounidense cuya misión fue de trabajar por separado, en dos frecuencias, una principal de 13,6 GHz y otra secundaria 5,3 Ghz, la ventaja de esta dualidad de frecuencias es que permitía corregir la mayoría de los efectos de perturbación ionosférica. Además se utilizaría un radiómetro de microondas, el cual corregiría la información altimétrica, en función de los efectos producidos por el vapor de agua de la troposfera. El tercer altímetro programado por los

³¹ En castellano, "experimento topográfico sobre la circulación oceánica".

franceses tenía como misión, entrar en funcionamiento en el caso de fallo del altímetro principal americano, su única frecuencia de trabajo era 13,65 Ghz.

Teniendo en cuenta que el conocimiento de la posición exacta del satélite es fundamental, para conocer las características de la órbita, los altímetros utilizan sistemas autónomos de determinación orbital, basados en reflectores láser y satélites TDRS/GPS y el efecto *Doppler*. El seguimiento por medio del láser consiste en retroreflectores orientados siempre hacia Tierra. El haz de láser que se manda de la Tierra rebota en el satélite y vuelve hacia el lugar de origen. Para esta función, existen doce estaciones que realizan el seguimiento del satélite. Otro sistema de seguimiento utilizado es una baliza Doppler de frecuencia dual. Un total de cincuenta estaciones envían sus señales hacia la baliza y se pueden calcular las distancias y velocidades. Además, también se utiliza el sistema NAVSTAR-GPS para mejorar la precisión de la situación del satélite en su órbita llegando hasta valores de 5 cm.

La misión del Topex/Poseidon ha cumplido los objetivos que sobre el estudio de los océanos se propusieron. Se han levantado cartas muy precisas de la circulación general de los océanos, del relieve orográfico del fondo marino, además en muchos casos se han podido realizar representaciones en tres dimensiones.

El objetivo de este satélite sobre el fenómeno del Niño, pretendía investigar las razones por que de forma periódica en la costa del Pacífico de América del Sur, cuando ingentes cantidades de agua caliente en superficie recalcan desde el oeste hasta la costa, producen lluvias torrenciales en ciertas zonas, mientras que en otras se desata una sequía. El Topex/Poseidon permitió descubrir un efecto que pudiera estar relacionado con el Niño, el llamado efecto Kelvin. Dicho efecto consiste en una ola pulsátil que viaja a una velocidad de 9,5 km/hora y que parece ser la causa de esta distribución de agua caliente.

Otro estudio que se llevó a cabo gracias al Topex/Poseidon, fue el del calentamiento y enfriamiento de la superficie marina y el efecto del viento sobre ésta. Esto parece que está relacionado con el aumento del nivel de la mar en un hemisferio (el caso del hemisferio norte entre octubre de 1992 y marzo de 1993) y un descenso en el nivel del otro hemisferio (en la misma época el nivel en el hemisferio sur aumentó). Los cambios en el hemisferio norte, son mucho más acusados que en el sur por el hecho de que la concentración de tierra es mayor al norte que al sur. Con esto, se pudo demostrar que una variación de 1°

centígrado en la columna de agua a 50 metros de profundidad, puede hacer aumentar o disminuir el nivel de la columna en 1 centímetro.

- **Seawifs.**

Seawifs-Satélite Seastar, es un proyecto que se propuso para estudiar nuestro planeta desde una perspectiva espacial, pero como en otros proyectos el móvil principal del mismo fue el estudio en profundidad de los océanos. El estudio incluía el intercambio de elementos críticos entre atmósfera y océano, y estas misiones se encomendaban al satélite Seastar.

Seawifs significa “Sea-viewing Wide Field of view Sensor” y forma parte de la misión conjunta entre otros países de la Misión al Planeta Tierra, la cual estaba proyectada por la NASA como misión para el estudio de los océanos desde el balcón del espacio y así tener datos más exactos de los mares.

A diferencia del Topex/Poseidon, el Seawifs es un proyecto muy reciente, ya que la primera imagen que captó su satélite fue el 22 de abril del 2000, de forma que la información obtenida ha sido objeto de análisis y sus resultados han sido agrupados para descifrar los problemas planteados. Los resultados de las observaciones son escasos, pero se han podido destacar:

- Biogeoquímica global de los océanos.
- Estudio de los intercambios de gases entre atmósfera y océanos.
- Evaluación de las concentraciones de fitoplancton.
- Detección de contaminaciones marinas.
- Eclosión de algas.

Una de las actividades que saldrá beneficiada, será la pesca. Con estudios de fitoplancton o el de las eclosiones marinas de las algas, se puede obtener un conocimiento más profundo de la cadena alimentaria marina que termina en las especies más interesantes para la pesca en el mundo.

Para llevar a cabo todos estos estudios, la NASA realizó un acuerdo con *Orbital Sciences Corporation* (OSC) para poner en órbita el satélite *Seastar*. A bordo de este satélite, se encuentra el sensor *Seawifs* (*Sea viewing Wide Field of view Sensor*). Éste utiliza para sus mediciones la radiación infrarroja que reflejan los océanos en cinco longitudes de onda visibles y tres infrarrojas. Las primeras se utilizan para efectuar correcciones de efectos atmosféricos.

La resolución de este satélite es aproximadamente de 1 Km y cubre una banda de superficie terrestre de 2.800 Km, lo cual quiere decir que en una sola observación abarca toda la península ibérica. Aparte de la tecnología tan precisa que lleva a bordo, también ayuda el hecho de que su órbita se encuentra a unos 705 Km de la superficie de la Tierra. El período de tiempo que tarda en pasar dos veces por el mismo lugar es aproximadamente de un día.

La operativa del satélite se controla desde el Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA (GSFC), además se dispone de una estación de recepción, que es propiedad del *Orbital Sciences Corporation* (OSC) y otra estación de control en la isla de Wallops, frente a las costas de Virginia, controlado por la NASA.

Al satélite se encuentran conectados también, bajo autorización y control de la NASA, una serie de estaciones receptoras incluidas en el proyecto y que se hallan en América del sur, concretamente en Brasil, Argentina, Chile y Bolivia.

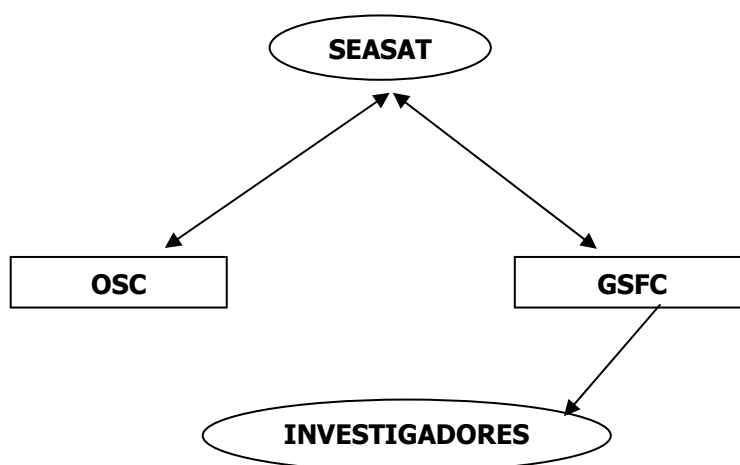


Figura 9 : Flujo de información en el programa Seasat. Fuente elaboración propia.

- **Jasón-1.**

El programa de observación Argo de la capa superficial del océano aúna hasta 3.000 puntos en flotación mediante la colaboración entre los citados puntos flotantes y el satélite Jasón-1³². Dado el nombre del programa (Argo), Jasón es el héroe Aqueo que condujo a sus argonautas (marinos de Argos) a la búsqueda del vellocino de oro. Sea como fuere, juntos Argos y Jasón mejorarán la base científica en la que se apoye la observación y predicción climática.

Jasón-1 es un satélite altimétrico que medirá el nivel global de la mar, siguiendo la estela explotada por Tópex/Poseidon desde 1992. Estos datos complementarán las medidas tomadas por el sistema de observación ENSO. El sistema franco-norteamericano está en sus últimas fases de preparación, ya han finalizado los test medioambientales para comprobar las prestaciones del mismo. Su próximo lanzamiento se seguirá desde la base del US Air Force de Vandenberg, Toulouse y Oceanopolis (Brest).

La predicción de la intensidad y duración de un episodio del Niño y la Niña, requiere de un conocimiento por anticipado de las condiciones en el Pacífico tropical y en concreto de la temperatura superficial del agua ya que los cambios en la temperatura superficial, no sólo dependen de las condiciones atmosféricas en superficie (patrones de viento) sino también de las características sub-superficiales del océano como corrientes, temperatura y salinidad, y por ello es necesario conocer anticipadamente la variación de estas variables.



Figura 10: Imagen del Jasón-1. (cortesía de NOAA).

³² MARTÍNEZ de OSÉS F. X. Basado en el artículo, “*JASON – 1. El próximo observador del piélago*”, Boletín nº13, del Instituto de Navegación de España. 2001.

Los datos introducidos en los modelos informáticos del océano de la NOAA, permitirán a su centro de predicción oceánica, realizar previsiones con medio año de antelación de la temperatura superficial del Pacífico oriental. Estos valores de temperatura son la clave para predecir condiciones extremas asociadas con el episodio del Niño y así se demostró durante los años 1997 y 1998.

Una red de observación global como Argo permitirá a los científicos extender no sólo sus previsiones del Niño/la Niña sino también predecir los efectos de otros fenómenos, lo cual mejorará la exactitud global de las previsiones del clima, coadyuvando a la preservación del planeta.

2.2.7.4 Transmisión de datos

Los sistemas de transmisión desde satélites de las imágenes meteorológicas, podemos reunirlos en cuatro formas diferentes de transmitir. Dos para los satélites polares el APT y HRPT y otras dos para los satélites geoestacionarios el WEFAX y GVAR. En todos los casos para recibir los datos en cada caso se necesita una antena, un receptor, un equipo demodulador o interfaz para ordenador, un ordenador para procesar la imagen, un conversor de frecuencia (sólo para WEFAX, HRPT y GVAR), y el software de recepción y procesamiento.

a) El APT polar

El sistema de transmisión de imágenes que usan estos satélites, es el APT (*Automatic Picture Transmission*) que consiste en una onda portadora modulada en frecuencia por una sub-portadora de 2400 Hz, que cambia de amplitud en función de la señal de vídeo. Dicho sistema puede mandar aproximadamente 12 imágenes (de 6 pasadas del satélite, 6 visibles y 6 infrarrojas) al día, independientemente de la localización de la estación receptora. La resolución es de 4 Km por píxel y dispone de radiómetros de luz visible y de luz infrarroja. Las diferentes tonalidades desde el nivel de negro hasta el de blanco dependen de la profundidad de la modulación. De esta forma se definirán la intensidad de los puntos que forman la imagen o píxel.

La antena receptora puede ser una de tipo de dipolos cruzados o de hélice cuadrifilar. Estas antenas tienen la ventaja de que no necesitan ser apuntadas al satélite ya que son

omnidireccionales. El satélite emite una señal lo suficientemente fuerte como para que pueda ser recibido desde que se eleva unos 10 grados sobre el horizonte.

La interface APT o demodulador, tiene la misión de adaptar las señales recibidas de los satélites al software que emplearemos para su decodificación. Un interface muy utilizado es el EASYFAX producido en Alemania, pero de gran difusión para todos los aficionados al FAX y SSTV (*Slow Scan Televisión*). La resolución se aprecia a simple vista, aunque cuando realmente se nota, es al efectuar un zoom de alguna parte de una fotografía. El "HARIFAX" es otro excelente interface de características parecidas, desarrollado en España.

b) HRPT polar.

Los satélites de tipo HRPT permiten una resolución de 1 Km por píxel en 5 bandas espectrales. Dos son visibles y tres infrarrojas. Nos permiten recibir 6 imágenes al día, siendo el sistema de transmisión de datos desde satélites meteorológicos que nos permite la máxima resolución posible. Debido a que dispone de 5 radiómetros, las imágenes de éstos pueden ser procesadas para obtener imágenes de colores que muestran una gran calidad de detalles. Este sistema tiene una resolución 13 veces mayor que el sistema APT, además de tener 5 bandas espectrales, que permite visualizar hasta 1024 tonalidades de gris.

El sistema HRPT es complejo, se requiere una antena de 3 metros de diámetro la cual debe tener un mecanismo de seguimiento del satélite a medida que este recorre su órbita en el espacio. Este proceso es automatizado generalmente por un controlador alimentado con las efemérides orbitales.

c) WEFAX.

Los satélites que transmiten WEFAX envían más de 300 imágenes por día, y además de las imágenes propias de la observación del satélite envían retransmisiones de otros satélites, lo que permite recibir imágenes de todo el globo. Cuenta con 3 radiómetros, luz visible, luz infrarroja y vapor de agua. La señal que transmiten es de 1691 Mhz por lo que se necesita una antena parabólica de un metro de diámetro o una antena tipo *yagi* especial para esta frecuencia. Además de la antena se necesita un aparato conversor de frecuencia (*downconverter*) que lleva la frecuencia de 1691 Mhz a 137.500 Mhz para así ser recibida con un receptor que puede ser de uso doble, para recibir APT y WEFAX.

d) GVAR.

La transmisión en formato GVAR (*GOES* variable) está disponible en los satélites geoestacionarios GOES³³ 8 y 10. Transmite continuamente imágenes en 5 bandas diferentes, una visible, una de vapor de agua y tres infrarrojas. La resolución de la imagen transmitida es de 1 Km en visible, 4 Km en infrarrojo y 8 Km. La transmisión GVAR se ubica en la frecuencia de 1685.7 Mhz, con una alta tasa de transmisión de 2.111 Mb/s tratándose de una señal de gran ancho de banda, factor que unido a lo débil de la señal debido a la distancia Tierra-Satélite, requiere para su recepción una antena parabólica fija de 10 a 14 pies de diámetro, un receptor especial (de gran ancho de banda) y un sincronizador de bits para extraer los bits del torrente de datos.

2.2.7.5 Recepción de información

Los sistemas usados por los satélites meteorológicos para la recepción de la información tienen algunas diferencias en equipamiento en función del tipo, si son para geoestacionarios o polares. El equipo está formado por una antena omnidireccional, un preamplificador, una antena parabólica, un receptor de 1,6 GHz, un convertidor *Down* (1,6 GHz, 137 MHz), un receptor de banda ancha de 137 MHz., un demodulador-digitalizador, el ordenador y una aplicación informática que realizará el tratamiento de la información recibida.

En el caso de los satélites polares, éstos ya están equipados para la obtención de imágenes de baja resolución (APT) y datos con una cabecera de calibración para el procesamiento de las imágenes cuantitativas (HRPT) en Tierra. Para el primer modo sólo es necesario que la estación disponga de una antena omnidireccional estática, pero para el segundo es necesario contar con una antena parabólica de no menos de tres metros de diámetro.

Encontramos de dos tipos de estaciones que procesan y reciben la información de los satélites:

- *SDUS (Secondary User Station)*. Es una estación que está configurada para obtener imágenes con calidad y fotografías (WEFAX), que puedan ser visualizadas directamente en el monitor de un ordenador. Es un sistema en el que cada píxel de la imagen obtenida

³³ Ground Observing earth satellites, pertenecientes al NOAA.

por éste tipo de estaciones no lleva consigo un valor específico calibrado de temperatura de brillo, sólo es un valor asociado a un rango de 255 tonos de grises. Discrimina la imagen indicando la mayor temperatura, por un tono más oscuro y la menor por tonos más claros.

- *PDUS (Primary Data User Stations)*. Éste tipo de estaciones pueden obtenerse imágenes de alta resolución (HRPT) y multiespectrales. Los datos sin procesar que el satélite envía son tratados previamente en tierra a través de grandes estaciones especializadas en el procesamiento de datos como por ejemplo la de Darmstadt en Alemania. Este proceso previo, incluye la calibración y correcciones en las perturbaciones de la órbita y altura del satélite. Los datos obtenidos son devueltos al satélite para que los retransmita a los usuarios y obtengan imágenes con información detallada que permitirán hacer estudios a nivel de investigación científica.

2.2.7.6 Consideraciones preliminares

La información suministrada por los satélites meteorológicos, tiene características específicas, dependiendo del tipo de órbitas que estos describen y de los sensores que usan para su obtención. En este epígrafe pretendo realizar una breve discusión con relación al tipo de receptor y por ello de emisión de información, más susceptible de ser recibida a bordo; teniendo en cuenta las limitaciones físicas y operacionales que impone un buque.

Si tenemos en cuenta el tipo de emisión realizada por el satélite, en el caso de los polares, se ha discutido la emisión APT, que con una resolución de 4 Km por píxel y unas 12 imágenes diarias, se recibiría en antenas de dipolos cruzados o cuadrifilares. Mientras que el modo HRPT, que permitiría una resolución de 1 Km por píxel, emite sólo 6 imágenes por día pero precisa de una antena direccional grande, que en el caso de montarse en un buque debería contar con un servomotor azimutal, que permitiera el seguimiento del satélite.

En el caso de los satélites de órbita geosíncrona, disponemos de los modos WEFAX que puede recibir por APT con un convertidor de frecuencia y además retransmitir imágenes provenientes de otras fuentes, todo ello mediante una antena yagi. En cambio en el modo GVAR que permitiría resoluciones de 1, 4 ó 8 Km, al necesitar de una antena grande, direccional y de seguimiento, no la considero adecuada.

Respecto de las imágenes, en los canales APT y WEFAX son de menor resolución y sus datos carecen de calibraciones precisas, por lo que sólo son útiles a los fines de observación y para la meteorología sinóptica. Con ellos se obtienen, análisis de nubes, sus formas, frentes y estimaciones globales; que a mi juicio, considero suficientes para que el marino tenga una visión global de lo que ocurre alrededor as imágenes cualitativas en cambio, recibidas mediante los modos HRPT y GVAR, contienen gran cantidad de información porque son de alta resolución y sus componentes están sumamente procesadas, pudiendo utilizarse para una observación, análisis y estudio exacto de la atmósfera.

Dichas imágenes captadas por los satélites directamente a bordo, pueden usar receptores conectados por un lado a los tipos de antenas discutidas y por el otro extremo a cualquier puerto del tipo RS-232 en un ordenador personal con el software adecuado.³⁴ Este tipo de receptores son ideales para pequeñas embarcaciones, dada la amplia funcionalidad de los ordenadores embarcados, lo que les permite ahorrar espacio a bordo y dinero en el propio material de procesamiento.

2.2.7.7 Procesamiento de datos

Los equipos utilizados suelen tener un alto componente de automatismo, debido a que la información que se tiene que procesar es extensa en número y calidad, por lo que la técnica proporciona una gran ayuda al elemento humano, que es el que en última instancia decide si los resultados son los adecuados al servicio que se debe prestar.

Los datos que es necesario procesar para la predicción del tiempo van a depender del tipo de aplicación que se les quiera dar. En el desarrollo de los siguientes epígrafes se contemplarán los parámetros relativos a las olas, viento, corrientes y estado de la atmósfera.

La utilización de la actual tecnología permite colocar gran cantidad de sensores a bordo de los satélites, especialmente de los que han sido lanzados en estas dos últimas décadas. Los satélites son la mejor opción para la meteorología sinóptica y también para la oceanografía por

³⁴ En 1995, ya se presentó en el mercado el software WS-3 de ICS Electronics, de la compañía Arundel, West Sussex; la versión actual el WS-5 permite mediante sistemas operativos superiores al Windows 95, su instalación en ordenadores portátiles.

resultar más económicos a largo plazo,³⁵ no obstante no pueden facilitarnos datos de todas las variables³⁶, algunos satélites por ejemplo, pueden medir cuatro propiedades de la mar:

- Temperatura en la superficie.
- Color de las aguas cercanas a la superficie.
- Rugosidad del océano en pequeñas zonas (grados de longitud).
- Pendiente del océano, que estará promediada sobre decenas de kilómetros.

El procesamiento de estas cuatro medidas primarias permite derivar otras propiedades del océano, por ejemplo, utilizando las bandas apropiadas en el espectro visible, es posible estimar el contenido de clorofila y de ahí la producción primaria. La altimetría permite medir pendientes en las olas y de esta forma deducir la dirección de por la cual discurren las corrientes y calcular su velocidad. Otro dato como la rugosidad puede ser convertido en el valor de la velocidad del viento.

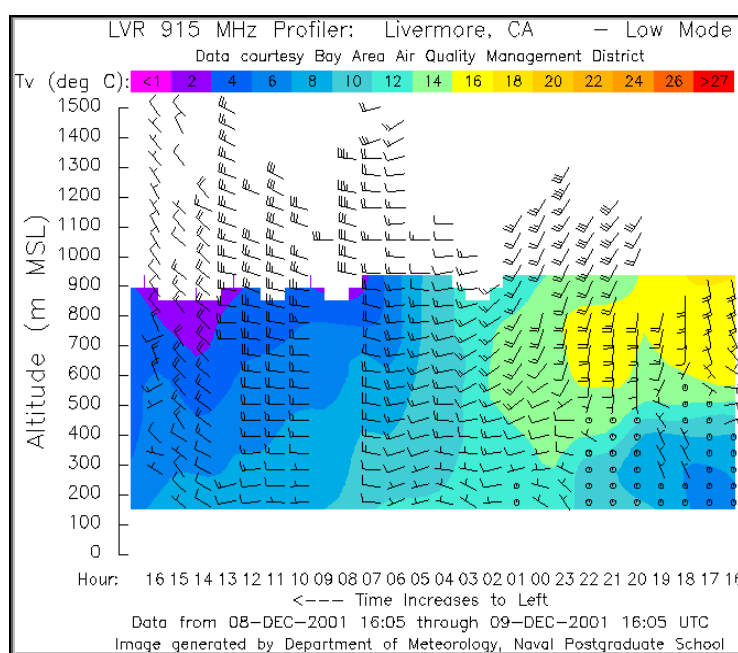


Figura 11 Distribución de la dirección y temperatura del viento a diversas alturas. Fuente NWP.

³⁵ El valor de la escala sinóptica de observación es esencial, de modo que la detección remota hace posible caracterizar los ecosistemas con una precisión mucho mayor que los buques oceanográficos.

³⁶ La tecnología permitirá solucionar los actuales problemas en unos años.

No obstante existen también limitaciones, por ejemplo, no es posible determinar la salinidad, o los compuestos químicos esenciales (nutrientes). La profundidad es una limitación severa a la teledetección y no es posible hacer grandes deducciones sobre los cambios en las propiedades del agua con la profundidad. Afortunadamente algunas de estas restricciones a la observación remota se están resolviendo con la entrada en órbita de nuevos satélites equipados con equipos más precisos.

2.2.7.8 Interpretación de las imágenes

La utilización de las imágenes recibidas desde los satélites meteorológicos requiere de una interpretación para su valoración, siendo diferentes los criterios que se aplican en función de la frecuencia y fuente de obtención. Las imágenes más utilizadas son las VIS, IR, WV. Las imágenes del espectro visible, nos muestran los continentes y mares tal como los veríamos a bordo del satélite, permiten ver la posición y estructura de las masas nubosas, que ofrecen una buena reflectividad a la luz solar y en consecuencia aparecen muy blancas, mientras que el mar aparece oscuro por la poca reflectividad de su superficie. Durante la noche la observación es más difícil, no obstante debido a que la capacidad de reflexión que tienen algunas nubes todavía nos permitirá clasificarlas, por ejemplo el caso de los estratocúmulos, que al ser unas nubes muy espesas provocan una intensa reflexión. Todo lo contrario lo producirán los cirros, que pasarán casi invisibles. Este sistema de observación no permite precisar la naturaleza de las nubes, especialmente en el amanecer y en el crepúsculo, cuando los juegos de luz y sombras, no nos permiten ver la resolución vertical de las nubes.

La imagen infrarroja (IR) corresponde a la radiación térmica emitida, que es proporcional a la temperatura de la zona observada. Normalmente se presenta invertida, los tonos oscuros se corresponden a temperaturas elevadas, mientras que los claros corresponden a las temperaturas bajas. Es necesario saber relacionar los tonos de la imagen con la temperatura, por ejemplo, África aparecerá en verano prácticamente de color negro y las nubes de hielo con tono más o menos blanco.

Otro dato a tener en cuenta es que en la atmósfera la temperatura decrece con la altura, las nubes se perfilan con tonos más claros que la tierra. Las fotos tomadas en infrarrojo ofrecen la temperatura de la parte superior de las nubes, así las nubes frías situadas en capas muy altas se verán blancas como la parte superior de un cumulonimbus a unos 10.000 m, o algo grisáceos si

se trata de cirroestratos. Las nubes bajas, que tienen mayor temperatura, serán de una tonalidad gris oscura, como los estratos y estratocúmulos, mientras que las de desarrollo vertical aparecerán con un color gris blanquecino, los cúmulos y cumulonimbus.

En la modalidad de vapor de agua (WV) las radiaciones de la capa terrestre quedan absorbidas por los vapores de la atmósfera, y en las imágenes las zonas negras o gris oscuras corresponden a masas de aire seco ligeramente humedecido. Por lo contrario las zonas blancas o gris claro constatan aire muy húmedo.

En resumen podemos decir que:

- **Imágenes en el espectro visible.** Si tenemos en cuenta que alrededor de la mitad de la energía radiada por el Sol pertenece a las longitudes de onda visible y que los radiómetros de los satélites miden la radiación solar reflejada en ese intervalo, entonces la radiación detectada en la banda visible es una medida de la reflectividad de la Tierra. La alta reflectividad aparece blanca y la de menor más oscuras hasta el negro. A esta radiación se la asocia un albedo de 1 a 100 y las componentes de una imagen HRPT se expresan en albedos relacionados con un tono de gris. En resumen, mediante la utilización de los contrastes es posible definir la forma de los objetos, estas imágenes son útiles principalmente en la meteorología sinóptica.
- **Imágenes en el espectro infrarrojo (IR).** La tierra y la atmósfera emiten radiación térmica dentro del intervalo espectral 3 a 100 μm , donde se encuentra la banda infrarroja media (3 a 30 μm). En estas longitudes de onda la reflectividad es virtualmente nula y la radiación solar es despreciable, por eso se considera como radiación de cuerpo negro y se relaciona con la temperatura, medida en grados Kelvin. En los productos HRI y HRPT los componentes de las imágenes IR se expresan en $^{\circ}\text{K}$ y se relaciona un tono de gris. Las imágenes en IR, se utilizan principalmente para la observación de las estructuras cuando no hay radiación solar, es decir de noche. En estas imágenes, los puntos cálidos aparecen oscuros y los fríos blancos.
- **Imágenes de vapor de agua (WV).** Las imágenes en el infrarrojo térmico, utilizan las bandas del espectro electromagnético donde la absorción por los gases atmosféricos es pequeña, sin embargo, también son de interés los intervalos espectrales donde la radiación infrarroja emitida por la Tierra es absorbida por el vapor de agua de la atmósfera. Las

imágenes en WV son en su mayoría representativas de la humedad de la media y alta troposfera. En definitiva el canal de WV se utiliza en la banda de absorción de 6 μ m dentro de la radiación IR y en general las imágenes representan la humedad media de la troposfera.

2.2.8 Institutos y servicios meteorológicos

La bibliografía aportada proporciona una idea del número de institutos y servicios meteorológicos existentes en el mundo, casi se puede decir que en cuanto un país adquiere cierto nivel en el desarrollo de su economía, una de las primeras instituciones que se crea es la de los servicios meteorológicos. En este párrafo se presentan los datos relativos a los servicios españoles, británicos y americanos, ya que serán los que proporcionen la información para trazar la derrota óptima.

2.2.8.1 Servicios en España

El Instituto Nacional de Meteorología, es en España, quien elabora boletines de predicción marítima que cubren las diferentes áreas de responsabilidad española. Su validez tiene distintos plazos de tiempo. Los boletines son preparados en el Instituto, y una vez confeccionados, se transmiten a la Dirección General de Marina Mercante, a SASEMAR y a las Fuerzas Armadas. Hay dos tipos de boletines los Boletines Meteorológicos Marinos para Zonas Costeras y los Boletines de Alta Mar.

➤ **Boletines Meteorológicos Marinos para Zonas Costeras.** Este tipo de boletines cubren las necesidades de los usuarios para la zona entre la costa y las 20 millas mar adentro, son elaborados por los Grupos de Predicción y Vigilancia (GPV) de los Centros Meteorológicos Territoriales (CMT), siendo emitidos tres boletines diarios de predicción marítima costera a través de:

- a) VHF, por los 16 centros de SASEMAR. A determinadas frecuencias y horas.
- b) Difusión de boletines por las estaciones costeras de VHF de Telefónica. Se emiten en el canal de la costera, previo aviso por el 16.
- c) Teletempo.

d) Internet

El contenido es el siguiente:

- Avisos de Temporal (si hay).
 - Situación general y evolución: Se indican las principales características del mapa de superficie, de la fecha y hora UTC que se indican, así como su posible evolución.
 - Predicción: Dentro del periodo de validez se indica: dirección y fuerza del viento, mar de viento y de fondo, meteoros significativos, visibilidad, clave MAFOR.
 - información de datos de interés: viento, estado de la mar, temperatura agua del mar y visibilidad en millas náuticas.
- **Boletines de Alta Mar.** Tiene una configuración y contenido según sea: Boletín de aviso para alta mar o Boletín meteorológico para alta mar. Los datos que incluyen son similares a los boletines de zonas costeras, con la diferencia que las áreas son de mar adentro. Cuando se observa o se prevé, en el plazo que abarque la predicción, que el viento va a superar en alguna zona de responsabilidad, la fuerza 8 en escala Beaufort para el Atlántico, y 7 para el Mediterráneo, se emitirá un boletín de aviso para alta mar.

La difusión de los boletines, se realiza a través de frecuencias de radio, siendo práctica habitual llamar a las señales de radio de alta frecuencia (FAX, RTTY/FEC, NAXTEX ó CW) por la frecuencia del centro que emite la señal. Así por ejemplo, cuando se dice que la emisión FAX se realiza por la banda de 7880 kHz, se indica que esa señal está centrada en tal frecuencia, pero la totalidad de la señal ocupa una cierta banda a cada lado de la misma, denominadas bandas laterales únicas, USB, si ocupa la mitad más alta y LSB, si es la banda lateral inferior. El resultado de esta nomenclatura, es que los receptores de radio actuales de banda lateral única muestran como frecuencia sintonizada la de portadora, es decir, si se sintoniza 7880 kHz en USB, no se recibe esta sino una banda por encima de la misma, lo cual es necesario tenerlo en cuenta para sintonizar emisiones FAX, RTTY y ondas análogas, que son nombradas mediante su frecuencia central. La mayoría de los decodificadores de estas señales suelen hacerlo a partir de los tonos de audio del receptor, y como tienen una anchura de trabajo, por ejemplo si el decodificador tiene una anchura de banda 1,9 kHz, y se busca la USB de 7880 kHz, el dial del receptor debe ser desplazado 1,9 kHz para poder recibir correctamente.

2.2.8.2 Servicios del Reino Unido

Otro de los servicios que se describe es el del Reino Unido, que tiene un gran prestigio, acumulado a lo largo de los años y además es cercano a la zona del origen de la derrota, el *Meteorological Office* proporciona los siguientes servicios:³⁷:

- *Gale warnings*. Emitidos solo cuando se prevé la existencia de vientos de fuerza 8B o rachas de entre 43 y 51, nudos. La palabra “*Severe gale*”, es indicativa de una previsión de vientos de fuerza 9B o rachas entre 52 a 60, nudos y el término “*Storm*”, es relativo a la previsión de viento con fuerza 10 o rachas de entre 61 y 68, nudos. Emitidos por:
 - Por la BBC Radio 4
 - Por las estaciones costeras en onda larga, tras una llamada general en 500 kHz, a continuación del siguiente período de silencio tras la recepción del aviso y a las medias horas o a las y cuarenta y ocho minutos cada cuatro, en función de si se trata de estaciones septentrionales o meridionales.
 - En onda media, tras un aviso por 2182 kHz a continuación del siguiente período de silencio tras la recepción del aviso y a las horas de 0303, 0903, 1503, y 2103 y también desde Jersey a las 0307, 0907, 1507 y 2107.
 - Por el servicio de Navtex.
- Los *BBC Weather bulletins*. A través de Radio 4, incluido en las frecuencias regionales; en los que:
 - 00:33, 05:55, 13:55, 17:50. Avisos de temporal, sinopsis general, previsión para las próximas 24 horas en aguas costeras y los últimos informes en algunas estaciones costeras.
- *Atlantic weather bulletin*. Se emite un boletín en tres partes, que cubre las zonas entre 35°N y 71°N, de latitud y de las costas Europeas hasta 040°W; desde Portishead en onda larga. Estas partes se transmiten a las 09:30 y las 21:30, GMT y se componen de:
 - Parte 1: Avisos de tormenta (10B) en lenguaje hablado.
 - Parte 2: Desarrollo sinóptico general.

³⁷ Brown's. *Nautical Almanac*. 2002. Brown son & Ferguson Ltd. Editions. Glasgow.

- Parte 3: Previsiones en lenguaje hablado para las áreas de Vizcaya, Sol, Finisterre, Mar de Noruega, basadas en las cartas analizadas de las 00 y 12 horas anteriores.
- Las emisiones para la NAVAREA I, Atlántico Norte (de nuestro interés), se emiten desde la estación INMARSAT de *Goonhilly* en Cornualles, a través del satélite AOR(E)³⁸. Los avisos de temporal se emiten también por el satélite AOR(W) tan pronto como se reciben y mandados por el servicio internacional SafetyNET de INMARSAT – C como mensaje de grupo de llamadas mejoradas dentro del SMSSM.³⁹ Los avisos de temporal se mandan también desde *Bracknell* a las 09:30 y 21:30.
- Emisiones de radiofacsimil desde *Bracknell (GFA)*. Los detalles para la correcta recepción de los partes por radiofacsimil se pueden encontrar en el volumen 3 del *Admiralty list of radiosignals*. Pero podemos anticipar que además de cartas de análisis en superficie y previsión desde 24 a 72, horas; la transmisión desde GFA incluye una carta de hielos para una área determinada, una serie de 5 días de la evolución de la temperatura superficial en las costas británicas y cartas de análisis y previsión de oleaje para el área entre los 38°N 114°W y 60°N 032°E.
- Previsiones especiales para la navegación comercial, válidas para 24 horas o hasta 48 horas, son proporcionadas bajo demanda y sin cargo alguno excepto el coste de la transmisión, en el caso de los buques mercantes.⁴⁰
- Informes del tiempo presente en lugares específicos y previsiones locales.

2.2.8.3 Servicios de los Estados Unidos

La información publicada y emitida por los servicios de los Estados Unidos, se realiza principalmente a través del US Coast Guard y NOAA Weather Radio. Internet y otros canales, como las estaciones de radio también facilitan información meteorológica. La programación horaria de los diferentes boletines se encuentra en el NIMA publicación 117 del National Weather Service.

³⁸ *Atlantic Ocean Region East.*

³⁹ Servicio Mundial de Socorro y Seguridad Marítimas.

- *NOAA Weather Radio*, proporciona boletines de las previsiones para las zonas costeras y exteriores, cubriendo todas las áreas de responsabilidad de estados Unidos, incluido Puerto Rico. Tienen un alcance de unas 25 millas.
- Grabaciones telefónicas del NOAA, es un servicio que la mayoría de las estaciones costeras ofrecen, sus números aparecen en un listado publicado por el *National Weather Service* del Departamento de comercio.
- Emisiones de voz en HF, son boletines de previsiones de alta mar, zonas costeras y avisos de temporal.
- *USCG HF radiofax*. El servicio de guarda costas, emite mapas de tiempo de alta mar, temperatura superficial y previsiones en texto en la frecuencia de radiofax en HF. Los puntos de transmisión se sitúan en Boston (NMF), Nueva Orleans (NMG), Kodiak (NOJ), Point Reyes (NMC) y Honolulu (KVM-70).
- *USCG VHF voz*, son previsiones de aguas costeras y avisos e temporal, se transmiten en el canal VHF 22A, tras un aviso en el 16, su cobertura es de 25 millas.
- *USCG MF voz*, son previsiones de alta mar y avisos de temporal, se emiten en 2670 kHz con aviso en 2182 kHz.
- *USCG SITOR (NBDP)*, son emisiones de previsión para alta mar.
- *NAVTEX*. Emitido por el USCG en formato texto, de las previsiones y los avisos de temporal, con una cobertura aproximada de 200 millas.
- *INMARSAT – C SafetyNET*. Emisión de información de seguridad marítima que también incluye la información del tiempo en alta mar.
- *Internet*. A través principalmente de <http://www.noaa.gov>, <http://www.nws.noaa.gov> o <http://www.uscg.mil>.
- Llamadas a boyas. Se pueden obtener las últimas observaciones costeras y de alta mar, a través de un servicio telefónico llamado Dial-A-Buoy. Este servicio proporciona medidas de viento y olas, de las últimas horas, de boyas observadoras en el Atlántico, Pacífico, golfo de Méjico y los Grandes Lagos; llamando al 228/688-1948. Tras conectar se marca el código de 5 dígitos de la boya deseada.⁴¹

⁴⁰ Las embarcaciones deportivas, pueden llamar a unos teléfonos que les permiten encargar diferentes tipos de previsiones bajo un determinado coste.

⁴¹ Los identificadores de la estación se obtienen de la página. <http://seaboard.ndbc.noaa.gov>

2.2.9 Servicios específicos de optimización de derrotas

Las posibilidades de ofrecer informaciones meteorológicas precisas a la Navieras para que sus buques puedan realizar su actividad de forma segura, es un mercado en pleno auge y en el que participan numerosas organizaciones. En los anexos se incluye un apartado en el cual se indican algunas de estas organizaciones con las características de los productos ofrecidos a los usuarios.

2.2.9.1 Disponibilidad de la información, a través de empresas especializadas.

Los servicios de derrota para buques, gestionados desde estaciones de tierra, tienen su origen en los Estados Unidos en la década de los cincuenta, extendiéndose posteriormente esta práctica a los servicios meteorológicos de Europa. Hasta esos momentos, la práctica más común era la de hacer uso de los principios conocidos y ya contrastados a la hora de seleccionar rutas en viajes transoceánicos. Históricamente el teniente de navío Maury de la Armada de los Estados Unidos, en el año 1852, recogió sistemáticamente las observaciones de los diarios de los buques y la usaba para recomendar rutas a los barcos que cruzaban el Océano Atlántico. El principal propósito era el de evitar las colisiones, pero también las condiciones meteorológicas eran también tenidas en cuenta. Hoy en día dicha información se recoge en los *Pilot charts* o los *Ocean passages of the seas*.

La aparición de dichos servicios de derrota con el fin de evitar las peores condiciones meteorológicas vino de la mano de los avances tecnológicos en la posguerra y la introducción de ordenadores cada vez más veloces capaces de recoger y transmitir datos meteorológicos, predicciones, desarrollos y movimiento de sistemas frontales.

La ventaja de la información ofrecida por las Organizaciones dedicadas a preparar derrotas meteorológico-oceanográficas son varias, principalmente que además de ser datos muy precisos sobre las condiciones del tiempo que puede encontrar el buque en su derrota, existe la posibilidad de que se puede solicitar información específica para un determinado buque.

Otra cuestión importante es que la Naviera al contratar los servicios de algunas Organizaciones, puede recibir un paquete de software en el cual se incluyen aplicaciones para la recepción *on line* de información desde la estación de dicha organización.

Como característica básica y destacable que debe reunir la información ofrecida por estas organizaciones sería la compatibilidad y estandarización de la información, para reducir los costes del usuario y aumentar las condiciones de seguridad en su empleo. Debemos recordar que hay buques de la misma compañía que realizan viajes muy semejantes y pueden tener información de organizaciones diferentes, que no podrán compartir, por lo cual sería muy importante cumplir los factores de compatibilidad y estandarización.

Por último debo decir respecto a esta fuente de información que se considera incompleta, primero como fuente de datos y segundo como herramienta para la confección de las derrotas. La justificación más clara es que las Organizaciones que existen hacen un tratamiento y presentación diferente de la información, hecho que ha sido contrastado a lo largo de las investigaciones realizadas en la tesis, mediante consultas directas a las mismas. Existe en mi opinión una diferencia entre las empresas que se dedican a realizar gráficas y estadísticas por viaje, mientras que las más eficaces realizan un seguimiento constante e incluso estimaciones de la posible pérdida de velocidad del buque mediante modelos informáticos del casco del buque y el espectro del oleaje previsto.

2.3 Conclusiones parciales

Cada uno de los sistemas de percepción comentado, dadas sus características y limitaciones, podrá responder a diferentes requisitos planteados por el usuario, en cuanto a resolución, cobertura espacial y temporal, distribución de los datos y rentabilidad.

Si consideramos la resolución, en este punto del capítulo detectamos dos grandes grupos de satélites en función del tipo de órbita que describen. Existe una relación inversamente proporcional en la que a mayor altura orbital se dispone de una perspectiva mayor en cada imagen, pero la resolución obtenida es pobre; mientras que para órbitas más bajas la resolución es mayor pero la frecuencia de disponibilidad de la información se reduce al menos a dos veces al día para la misma zona. De hecho, los satélites de órbita polar, efectúan varias pasadas por un mismo sitio cada día, ofreciendo imágenes provenientes de sus radiómetros.⁴²

⁴² Los satélites ERS operados por la Agencia Espacial Europea (ESA) operan a una altitud media de cerca de 780 Km. completando 14 órbitas diarias. Moniitorizando las condiciones del oleaje inmediatamente a su paso por la superficie terrestre, la información la recibe la compañía inglesa *Satellite Observing Systems Ltd.* (SOS) para ser procesada y corregida en pocas horas. El trazado de las condiciones de mar para todas las áreas del mundo se

En este caso la emisión APT cuenta con una resolución de 4 Km por píxel y unas 12 imágenes diarias, se recibiría en antenas de dipolos cruzados o cuadrifilares. Mientras que el modo HRPT, que permitiría una resolución de 1 Km por píxel, emite sólo 6 imágenes por día pero precisa de una antena direccional grande, que en el caso de montarse en un buque debería contar con un servomotor azimutal, que permitiera el seguimiento del satélite.

Hechas estas consideraciones, paso a enunciar las siguientes conclusiones:

- En el caso de los satélites de órbita geosíncrona, disponemos de los modos WEFAX que puede recibir por APT con un convertidor de frecuencia y además retransmitir imágenes provenientes de otras fuentes, todo ello mediante una antena yagi. En cambio en el modo GVAR que permitiría resoluciones de 1, 4 ó 8 Km, al necesitar de una antena grande, direccional y de seguimiento, no la considero adecuada.
- Respecto de las imágenes, en los canales APT y WEFAX son de menor resolución y sus datos carecen de calibraciones precisas, por lo que sólo son útiles a los fines de observación y para la meteorología sinóptica. Con ellos se obtienen, análisis de nubes, sus formas, frentes y estimaciones globales; que a mi juicio, considero suficientes para que el marino tenga una visión global de lo que ocurre alrededor. Las imágenes cualitativas en cambio, recibidas mediante los modos HRPT y GVAR, contienen gran cantidad de información porque son de alta resolución y sus componentes están sumamente procesadas, pudiendo utilizarse para una observación, análisis y estudio exacto de la atmósfera.
- Pudiendo elegir un sistema óptimo para la detección de parámetros meteorológicos de interés para el marino; sería deseable un sistema satelital rentable, que realizara frecuentes visitas en el tiempo y con una alta resolución espacial. Esto vendría ofrecido por una constelación de 5 a 10 satélites pequeños, que contaran con sensores de microondas pasivos, ópticos y también SAR; lo que podría cubrir muchas aplicaciones marinas como el control del hielo y terrestres.

- Se necesitan implementar mejoras en los sistemas de transmisión de datos e imágenes, para que los Servicios Meteorológicos Nacionales puedan aumentar la fiabilidad de sus previsiones.
- La imposibilidad de obtener información completa, directamente del satélite, supone una limitación cuya solución permitiría aumentar los niveles de seguridad para los buques.
- Tal volumen de información, debería ser procesado rápidamente por las estaciones receptoras, con ordenadores de alta velocidad y mandado sin demora a los usuarios. Además y en paralelo, el concepto de procesamiento a bordo mediante un software adecuado y un enlace directo a los datos de imágenes y SAR, se debería de desarrollar más en aras de lograr un producto asequible. Esta última posibilidad se enfrenta a la capacidad de la propia tripulación para la interpretación de dichas imágenes, de forma que la falta del adiestramiento necesario, pondría en cuestión su utilidad.
- Los servicios de derrota para buques, gestionados desde estaciones de tierra, tienen su origen en los Estados Unidos en los años 50 y posteriormente esta práctica fue adoptada por varios servicios meteorológicos gubernamentales en Europa alrededor de los años 60. Hasta esos momentos, la práctica más común era la de hacer uso de los principios conocidos y ya contrastados a la hora de seleccionar rutas en viajes transoceánicos. El teniente Maury de la Armada de los Estados Unidos, en el año 1852, recogía concienzudamente las observaciones de los diarios de los buques y usaba dicha información para recomendar rutas a los barcos que cruzaban el Océano Atlántico. El principal propósito era el de evitar las colisiones, pero también las condiciones meteorológicas eran también tenidas en cuenta. El servicio prestado en aquellos días puede considerarse como el primer sistema prestado de Routeing utilizado jamás.
- Un sistema similar se perpetúa hoy en día con las conocidas Pilot Charts desarrolladas por la Agencia Hidrográfica de los Estados Unidos para cada mes del año, conteniendo información sobre corrientes, distribución del viento y recomendaciones de rutas entre los principales puertos del mundo. El Almirantazgo Británico desarrolla sus *Routing Charts* con servicios similares a las americanas, recomendando rutas de acuerdo a condiciones meteorológicas, además su publicación "*Ocean Passages for the World*" estudia estas rutas recomendadas con mayor detalle.

- La aparición de dichos servicios de derrota con el fin de evitar las peores condiciones meteorológicas vino de la mano de los avances tecnológicos en la posguerra y la introducción de ordenadores cada vez más veloces recogiendo y transmitiendo datos meteorológicos, predicciones, desarrollos y movimiento de sistemas frontales. Aunque el término *Weather Routeing* (Derrota Meteorológica) se usa con bastante asiduidad, es más correcto emplear ***Ship Routeing*** (Derrota para Buques) debido a que aunque el factor tiempo es de los más importantes, también se usan otros como los principios de navegación, ingeniería naval, oceanografía y la construcción naval; principalmente a la hora de considerar una ruta como óptima o por el contrario descartarla.
- Hoy en día el Capitán está obligado a contar con recursos y ayudas externas, especialmente si se desea realizar una navegación económica.⁴³ Datos climatológicos, boletines meteorológicos por radio y cartas facsímil son indudablemente útiles pero no siempre las tienen a su disposición, ni los enormes recursos de quienes las ofrecen, como los modernos centros meteorológicos como puede ser el de *Bracknell* en Inglaterra (aunque hoy en día van surgiendo compañías privadas con tecnología suficiente a su alcance para igualar e incluso superar a estos centros gubernamentales).

Estos centros cuentan para la tarea de seleccionar las mejores rutas, a un grupo de Capitanes con larga experiencia oceánica (asesorados por meteorólogos profesionales) que dedican su tiempo a elegir las derrotas más ventajosas para los buques que usan dicho servicio. Estos centros están dotados de un flujo continuo de datos de análisis y previsión meteorológica, información sobre hielos, avisos a los navegantes, facsímiles y fotografías satélite entre otros, así como inmensas bases de datos de dónde extraen e introducen información continuamente; con todo este aporte y flujo de datos ya solo resta la participación de profesionales cualificados para poner en marcha estos centros de derrota.

En la actualidad estos servicios de Routeing tienen una mayor aceptación y por tanto un incremento de demanda debido principalmente a su buen funcionamiento, al ahorro de combustible que suponen así como al aumento de la seguridad del buque, tripulación y carga. Por estos motivos es cada vez más frecuente la contratación del servicio, bien por parte de los mismos armadores, fletadores o cargadores. De todos modos, el Capitán de un

⁴³ No solo desde el punto de vista comercial, sino del legal como en el artículo 612.5 del CoC, que estipula la obligación de consultar a las estaciones meteorológicas, en el caso de cargar cubertada.

barco es la persona más adecuada para elegir la ruta que seguirá su buque si tenemos en cuenta el factor local conjugado con la reacción del propio barco inmerso en los elementos.

3 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES UTILIZADAS A BORDO

3.1 Introducción

En este capítulo, voy a abordar el estudio de las variables meteorológicas que se van a utilizar a bordo, desde un punto de vista de su utilidad y necesidad para el análisis y la predicción, meteorológicas. En primer lugar trataré el aspecto normativo, para centrar un contexto ineludible de lo que se tiene que utilizar por ley y de lo que está permitido. En base a estas limitaciones se pasará al estudio de las variables más importantes que van a permitir la deducción de las condiciones ambientales reinantes y con ellas, el diseño de la derrota más segura para el buque.

3.2 Normativa aplicable

En este apartado se abordará el equipo que todo buque SOLAS⁴⁴ deba llevar a bordo, diferenciando entre material náutico, publicaciones náuticas, equipo radioeléctrico y la formación de la tripulación; que esté relacionada con la toma o recepción de la información meteorológica; para lograr el máximo nivel de cumplimiento del sistema propuesto en la tesis, a la normativa vigente.

⁴⁴ SOLAS: Convenio internacional para la Seguridad de la Vida humana en el MAR, en español SEVIMAR, publicado por la Organización Marítima Internacional compilando los requisitos mínimos en materia de seguridad que todo buque de navegación marítima en viajes internacionales debe de cumplir, con las siguientes excepciones:

- Buques de guerra y buques para transporte de tropas.
- Buques de carga de menos de 500 toneladas de arqueo bruto.
- Buques carentes de propulsión mecánica.
- Buques de madera de construcción primitiva.
- Yates de recreo no dedicados al tráfico comercial.
- Buques pesqueros

3.2.1 Material náutico

Este apartado engloba todos los mecanismos propios del buque para la medición de datos meteorológicos, como pueden ser el barómetro, barógrafo, anemómetro, psicrómetro, termómetro para la medición de la temperatura del aire y del agua del mar. Naturalmente existen más aparatos de medición, pero estos son los obligatorios para los buques comunes, que no pertenecen a programas de observación meteorológica de la OMM⁴⁵.

El capítulo V del SOLAS está dedicado a la “*Seguridad de la navegación*”, y si bien es cierto que no hay regulación implícita de los aparatos de medición de las condiciones meteorológicas a nivel internacional. Pero en la Regla 3 de dicho capítulo V, se hace mención a la información que debe figurar en los mensajes de peligro, aludiendo explícitamente:

“Los mensajes de peligro deberán contener la siguiente información:

a) Hielo, derrelictos y otros peligros inmediatos para la navegación:

- 1. Naturaleza del hielo, derrelicto o peligro observado;*
- 2. Posición del hielo, derrelicto o peligro cuando por última vez fueron observados;*
- 3. Fecha y hora (tiempo universal coordinado) en que por última vez se presentó el peligro.*

b) Tempestades tropicales

- 1. Notificación de que el buque se ha encontrado con una tempestad tropical. Se interpretará esta obligación en un sentido amplio, transmitiéndose la información cuando el capitán tenga motivos para creer que se está formando una tempestad tropical o que ésta se encuentra en sus cercanías;*
- 2. Fecha, hora (tiempo universal coordinado) y situación del buque cuando se efectuó la observación;*
- 3. En el mensaje figurarán cuantos datos quepa incluir de entre los siguientes:*
 - presión barométrica, preferiblemente corregida (expresada en milibares, milímetros o pulgadas e indicando si se da corregida o no);*

⁴⁵ Organización Meteorológica Mundial, en inglés *World Meteorological Organization*.

- *tendencia barométrica (cambios registrados en la presión barométrica durante las 3 últimas horas);*
- *dirección verdadera del viento;*
- *fuerza del viento (escala de Beaufort);*
- *estado de la mar (calma, marejadilla, fuerte marejada o mar arbolada);*
- *mar tendida (pequeña, regular, grande) y dirección verdadera que lleva desde su procedencia. La indicación del período o de la longitud de la mar tendida (corta, regular, larga) es también muy positiva;*
- *rumbo verdadero y velocidad del buque*

c) Observaciones ulteriores

Es conveniente, aunque no obligatorio, que cuando un Capitán haya informado acerca de una tempestad tropical o de otra de características peligrosas, se efectúen o transmitan nuevas observaciones, hora a hora, si esto es posible, y en todo caso a intervalos de no más de 3 horas, mientras el buque siga expuesto a los efectos de la tempestad.

d) Vientos de fuerza igual o superior a 10 (escala Beaufort) respecto de los cuales no se haya recibido ningún aviso de tempestad

Se hace aquí referencia a tempestades distintas a las tropicales que se mencionan en el párrafo b) de la presente regla; ante una de estas tempestades los datos del mensaje serán análogos a los enumerados en dicho párrafo, excluidos los relativos al estado de la mar y a la mar tendida.

e) Temperaturas de aire inferiores a la de la congelación junto con vientos duros que ocasionen una seria acumulación de hielo en las superestructuras:

- *fecha y hora (tiempo universal coordinado),*
- *temperatura del aire;*
- *temperatura de la mar (si es posible determinarla)*
- *fuerza y dirección del viento. ”*

Así pues se establece la obligación de informar de la fuerza del viento, de la presión y tendencia, barométricas; durante las tres horas siguientes de haberse encontrado con una tempestad tropical. O bien de informar de la fuerza y dirección del viento, la temperatura del aire y la de la mar si es posible determinarla; en caso de encontrarse con temperaturas extremas del aire inferiores a la de congelación, junto con vientos duros que ocasionen

acumulación de hielo en las superestructuras de los buques. Todo esto implica la obligatoriedad de llevar a bordo aparatos con los cuales se puedan efectuar las oportunas mediciones (termómetro, barómetro, y anemómetro).

España al ratificar el Convenio SOLAS añadió un anexo al capítulo V, “material náutico y de ayudas electrónicas a la navegación de que deben ir provistos los buques y embarcaciones mercantes nacionales”, donde figuran los aparatos de medida que posteriormente analizo, pero que a modo de resumen incluyo en una tabla explicativa⁴⁶:

| TIPOS DE BUQUE | | BAROM | BAROG | PSICR | TERM AIRE | TERM AGUA |
|--|--|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| BUQUES DE PASAJE | Buques con más de 36 pasajeros a bordo | x | X | x | x | x |
| | Buques de pasaje con no más de 36 pasajeros | x | | | x | |
| | Buques dedicados al transporte de personas a plataformas marítimas, instalaciones fuera de la costa. | x | | | x | |
| | Viajes menores de 70' desde el punto de salida y que no se alejen más de 20 millas de la costa y que naveguen con buen tiempo y en periodos restringidos | x | | | x | |
| | Viajes con un máx. de 250 pasajeros, con buen tiempo y periodos restringidos, que no se encuentren en ningún momento a más de 15' de un puerto de refugio un a más de 3' de la costa | x | X | x | x | x |
| | Viajes dedicados a transportar hasta un máx. de 50 pasajeros en travesías no mayores de 6' y que no se alejen más de 3' de la costa (sin restricción en cuanto a época del año) | | | | | |
| | Navegación en aguas abrigadas y/o en aguas tranquilas | | | | | |
| BUQUES DE CARGA | | x | X | x | x | x |
| REMOLCADORES, LANCHAS, GABARRAS, DRAGAS, ETC. QUE SALEN A LA MAR | | x | | | x | |
| BUQUES DE PESCA Y RECREO | Local: Efectuada con embarcaciones de hasta 10 T.R.B., siempre que no rebasen los 37,5 Kw de potencia efectiva de su equipo propulsor, fuera de aguas abrigadas, sin perder en ningún momento de vista la costa y dentro de los límites de la provincia marítima | | | | | |
| | Litoral: Se practica dentro de la zona comprendida entre el litoral y la línea de 60' paralela al mismo | x | | | x | |
| | Altura: Se lleva a efecto fuera de la expresada línea de 60' y en la zona comprendida entre los paralelos 60 °N y 0° y los meridianos 10 °E y 20 °W | x | | | x | |
| | Gran altura: Se ejerce sin limitación de mares ni distancias a la costa fuera de la zona comprendida anteriormente | x | X | x | x | x |

Tabla 1: Material náutico obligatorio en buques Españoles.

⁴⁶ BOE 19-02-1986 n° 43 (Tomo I, pág. 1302-1303) – Marginal 509.

3.2.2 Instrumentación exigible a bordo para la observación

Determinadas manifestaciones meteorológicas pueden ser útiles para apreciar la situación meteorológica local y la posible predicción a corto plazo, y que además no precisan de la existencia de equipos especializados en el buque, sino que pueden evaluarse visualmente aunque tal vez se requiere un poco de práctica. Estos son por ejemplo, la visibilidad, la cantidad y altura de nubes, y la altura de olas.

Aunque son parámetros sensiblemente cambiantes entre cada cambio de guardia, he basado este punto en los equipos por medio de los cuales, el oficial de un buque puede hallar distintas variables meteorológicas acerca del tiempo existente y futuro inmediato. Para ello hago distinción entre los equipos que debe tener todo buque regulado por la normativa SOLAS y los equipos que deben llevar todos los buques de carga, de pasaje con más de 36 pasajeros a bordo o los dedicados a la pesca de gran altura, según la clasificación vista en el capítulo anterior “*Normativa relacionada*”. También incluyo un punto donde integro algunos elementos de medición, que si bien no se exige su existencia en el buque, pueden aportar más información.

3.2.2.1 Equipos mínimos para todo buque regido por la normativa SOLAS

a) Barómetro

Aparato usado para medir la presión atmosférica, definida como el peso de la columna de aire que gravita sobre la unidad de superficie. Las medidas exactas y regulares de la misma, proporcionan una evidencia directa de cómo están cambiando las condiciones en cualquier parte, y la confirmación de si el tiempo cambia tal y como se había previsto.

A nivel teórico distinguiré entre barómetros de mercurio (líquidos), eminentemente de cubeta o de sifón, o bien *aneroides* u *holostéricos*, de *tubo Bourdon* o de cápsulas de *Vidi*. A nivel práctico los más utilizados en la mar son los barómetros *aneroides* de cápsula, debido a que si bien son menos exactos que los barómetros líquidos, se evita con ellos el tener que instalarlos sobre una suspensión cardan para mantenerlos horizontales además de sufrir menores perturbaciones a consecuencia de las emisiones térmicas del propio guarda-calor del buque o externas, y las correcciones a realizar son menores.

Un barómetro aneroide normal, es completamente capaz de dar unos valores suficientemente exactos al nivel de la mar, si se le proporciona una corrección para la altura a la que esté situado. Aparte de que la única corrección a realizar a un barómetro aneroide de cápsulas será la específica de la construcción del aparato y podrá obtenerse por la simple comparación con un barómetro patrón del que se pueda disponer en las oficinas meteorológicas de los puertos.

No obstante con el tiempo se pueden presentar errores debidos a una variación en la elasticidad de los resortes conocida como “*deriva cero*” y que produce un efecto engañoso pues puede permanecer estable durante largo periodo de tiempo y cambiar de repente a otro nivel, de modo que se deberán comprobar y reemplazar regularmente.

En referencia a la altura, es importante también, tener en cuenta la altura a la que el barómetro esté situado, pues si bien en buques pequeños puede establecerse una constante de reducción de la presión al nivel del mar, en buques de mayores dimensiones pueden haber grandes variaciones durante los viajes producidas por variaciones en la carga. Para estos buques de grandes dimensiones se puede estimar una corrección cerca del nivel del mar, de 0,1 hPa por metro de elevación.



Figura 12: Detalle de un barómetro aneroide.

Existe además en lo que atañe a la presión, un conocimiento climático de las zonas orientales de los océanos y en concreto del Atlántico Norte; aunque los principios básicos son coincidentes en todo el mundo. El buen tiempo, es usualmente anticiclónico o asociado a las regiones centrales de las altas presiones y las dorsales; mientras que el tiempo tormentoso está asociado a las bajas presiones; paralelamente el mal tiempo está asociado al advenimiento o aproximación de una baja, de un frente cálido o una oclusión.

Los valores de la presión media, se pueden obtener de la información que se encuentra en la mayoría de derroteros del área en cuestión, que cubren los Océanos Atlántico, Índico Oeste, Pacífico Oeste y Este; o también se pueden encontrar en los Pilot Charts o los atlas meteorológicos que publica la Dirección del Aire Británica.

Cuanto menor sea el valor de la latitud, menos probable es que el barómetro se aparte excesivamente de los valores normales para la época, con la excepción de la llegada de tormentas tropicales; dado que las bajas vienen acompañadas de trazas erráticas en el barógrafo, siendo aún menos frecuentes a medida que nos aproximamos a los trópicos.

Respecto a lo anterior y como resumen, podemos aseverar, que la presión es un parámetro más de los que se ven afectados por la aproximación de una baja presión, debiendo el oficial de guardia, de fijarse en otros signos, antes de emitir una valoración prudente.

b) Termómetro de aire

Los buques mercantes suelen llevar dos termómetros convencionales de mercurio, uno en cada alerón. Y si bien la teoría aconseja situar los termómetros en garitas, aislados de la luz solar directa y de la radiación emitida por las cubiertas, la práctica nos muestra que no siempre es así.

Esto se debe a que la medición de la temperatura suele ser de poco interés para los marinos, salvo para aquellos que transportan cargas sensibles a la temperatura en bodegas aisladas o en contenedores. En muchas ocasiones la toma de la temperatura sólo servirá para confirmar lo que es evidente a otros observadores meteorológicos.

La humedad absoluta o relativa, puede ser un factor importante en algunos casos, debido al daño que pueden sufrir ciertas cargas por condensación de la humedad. Pero aparte de las consideraciones con la carga, en términos generales, sólo cuando los valores de la temperatura se aparten de la tónica de los patrones climáticos usuales, entonces deberemos de considerar la observación de otros parámetros para comprobar la existencia de un cambio importante.

Cuando la temperatura se desvía apreciablemente del patrón climático normal, podría ser un signo indicativo de que a menudo el tiempo no se está desarrollando como debería; y es una

herramienta útil para comprobar las previsiones meteorológicas. En las latitudes medias, es de particular importancia durante el invierno, cuando la temperatura está por encima de los valores normales, la advección de aire de latitudes más bajas, que se combina con el aire frío adyacente y rápidamente genera tormentas de brusca y rápida profundización.

Debemos dar una mayor importancia a las observaciones, es en el momento de que las diferencias entre la temperatura del aire y de la mar, empiezan a hacerse más evidentes; teniendo en cuenta las implicaciones de seguridad que precisan las embarcaciones, ya sea la visibilidad reducida, el engelamiento en invierno o para la seguridad de la tripulación en general.

No obstante existen una serie de factores relacionados con la observación de las temperaturas del aire y agua superficiales que deben de mencionarse; siendo los más básicos, el desafío de realizar medidas precisas a bordo de las embarcaciones, como primer paso. Aunque no sea un problema operativo, es importante en el momento en el que se busca la evidencia de un posible cambio climático de entre los millones de observaciones realizadas por los marinos a lo largo de un siglo y medio.

De modo que para realizar medidas a bordo, válidas para los servicios meteorológicos; éstas deben de realizarse bajo condiciones genéricas, es decir que los instrumentos deberían de estar en abrigo termométricos o de lo contrario las observaciones se verían afectadas seriamente por la radiación re-emitida por las cubiertas del buque.

Uno de los esfuerzos realizados para obtener datos fiables de medidas estandarizadas en muchos buques; son los esquemas de buques voluntarios o VOS (*Voluntary Observing Ships*), organizadas por la *WMO*, *NOOA* o el *UK Admiralty*; los cuales proporcionan un beneficio para los países participantes, a sus navieros y en general a todas las operaciones marinas. El esquema británico supone actualmente 600 buques, estructuras flotantes y unidades; mientras que para la *WMO* en general son 7300 buques mercantes.

La principal razón para mantener el esquema de los sistemas de observación es que, la exactitud de los sistemas de observación condiciona la exactitud de las previsiones del tiempo; es decir de la cantidad y calidad de los datos de observación que permitan dar los valores de inicialización a los modelos de predicción numérica.

Nunca se cuenta con suficientes observaciones de buena calidad, de manera que cada una de las observaciones precisas adicionales, es un beneficio potencial. Las observaciones costeras son tan importantes como las oceánicas. Los predictores en general, aprecian las observaciones proporcionadas por los buques, para poder ser comparadas con los productos derivados de los modelos numéricos.

3.2.2.2 Equipos que deberán llevar todos los buques de carga, los de pasaje con más de 36 pasajeros a bordo y los buques dedicados a la pesca de gran altura.

Además de los mencionados en el punto anterior, estos buques deberán llevar a bordo los siguientes elementos:

a) Barógrafo

El principio de funcionamiento es el mismo que el de un barómetro aneroide de cápsulas, pero con la diferencia de que este posee un tambor o cilindro registrador que se encarga de registrar la curva de variaciones de presión, con un período de rotación de 24 horas o 7 días (lo más común).

De esta forma se obtiene la tendencia de la presión a lo largo de un periodo dado, con lo que se deberá tener en cuenta el efecto producido por la marea barométrica. Si consideramos la curva de presión registrada a lo largo de un día obtendremos, en ausencia de perturbaciones, unas variaciones constantes en el transcurso de unas horas que constituyen la denominada marea barométrica, donde la amplitud es función decreciente de la latitud (se establecen unos 3 hPa de oscilación en el ecuador y tan sólo 0,4 hPa de oscilación en los 60° de latitud).

La hora en que se producen los máximos y mínimos suele ser regular, de forma que los máximos suelen producirse a las 10:00 y 20:00 de hora local, y los mínimos a las 04:00 y 16:00 de hora local. Esto es importante sobretodo en los trópicos, porque cualquier caída por debajo de los 3 hPa en los valores mensuales normales, después de efectuar la corrección debida a la variación diurna, significa un riesgo real de formación de una tormenta tropical en las proximidades. En el supuesto de navegar por las zonas citadas, es conveniente indicar con una línea roja, la presión media en el papel indicador del barógrafo, aparte de asegurarse que se están controlando periódicamente sus oscilaciones.



Figura 13: Fotografía de un barógrafo de cápsulas de Vidi.

b) Psicrómetro

Es una combinación de dos termómetros, uno destinado a medir la temperatura ambiente y otro húmedo, con un depósito recubierto por una muselina húmeda, para medir la temperatura de la bola húmeda y obtener el punto de rocío. El agua que empapa la muselina de este termómetro húmedo se evapora continuamente en detrimento de la humedad del aire que la rodea (también depende de la Temperatura del aire).

Por tanto, cuando está saturado la evaporación es nula, y cuando se produce la evaporación la Temperatura del termómetro húmedo disminuye haciéndose inferior a la ambiente. Con ambas temperaturas entraremos en las tablas psicrométricas para hallar la humedad del aire.

El campo de la humedad es importante sobretodo para aquellos buques que viajen de los trópicos hacia altas latitudes (o bien en que la $T_{\text{origen}} > T_{\text{destino}}$), de modo que al aumentar la latitud aumentaría la diferencia entre la $T_{\text{punto de rocío}}$ de bodegas y la del exterior, siendo mayor la primera. Esto significa que el aire podría alcanzar la condensación y mojar la carga, fenómeno que conllevaría a corrosiones. En estos casos será importante a fin de evitar el fenómeno de condensación, el ventilar las bodegas y demás espacios de carga.

De entre los diferentes tipos de psicrómetros usados en la marina, podemos diferenciar los siguientes, de *garita*, de *carraca* y el *aspiro psicrómetro*, de los cuales el primero es el más utilizado en los buques mercantes:

De garita: Ambos termómetros están colgados verticalmente de un soporte metálico, y el agua destinada a empapar la muselina puede alojarse en un recipiente de boca ancha. Obviamente el agua debe de ser destilada para evitar la precipitación de sales en la misma.

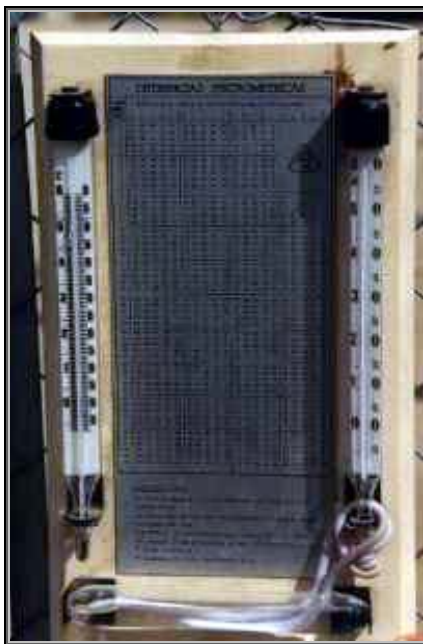


Figura 14: Fotografía de un psicrómetro tipo, usado en los buques.

De carraca: Montado sobre una envoltura robusta y provista de un eje de giro que lleva en un extremo una empuñadura y en el otro un juego de termómetros de bola seca y húmeda. Estos, están protegidos por láminas metálicas que rechazan la radiación calorífica. Una vez empapada la muselina, la evaporación se produce por centrifugación haciendo girar el instrumento.

Aspiro psicrómetro: Los 2 termómetros van protegidos por una doble vaina bruñida y en el extremo opuesto a los depósitos hay un aspirador accionado por un mecanismo de relojería que genera una corriente que renueva el aire (procedimiento parecido a la centrifugación del modelo de carraca. Este tipo de psicrómetro tiene además unas tablas psicrométricas específicas, ya que está sometido a un flujo forzado de aire que acelera la velocidad de evaporación.

c) Termómetro de la superficie del mar

Es importante distinguir entre la temperatura de la capa superior del mar y la temperatura de la capa mezcla subyacente. La primera solo puede medirse por medio de radiómetros de infrarrojos, y la segunda es de la que se ocupan los buques mercantes.

Existen diversos tipos de métodos de medición de la capa mezcla:

El método de cuchara es el más simple y probablemente el más efectivo para la toma de muestras de la capa mezcla, pero desafortunadamente este método solo puede ser utilizado a bordo de pequeños buques que se muevan despacio.

Por medio de un termómetro fijo en la aspiración del agua de refrigeración o en cualquier otra tubería de circulación de agua de mar. Es un método más cómodo e independiente de la velocidad del barco, pero tiene el inconveniente de que al efectuarse las lecturas en un local cerrado y a temperaturas más elevadas, suele dar error por exceso de algunas décimas de grado. Por otra parte las tomas de agua de cada barco están situadas a niveles diferentes, e incluso en un mismo barco la distancia varía con el estado de la carga, con lo cual las observaciones no son rigurosamente comparables.

La utilización de sensores localizados en el casco es un método más caro y que no suele estar presente en buques mercantes excepto para algunos pertenecientes a programas de observación voluntaria.

Anteriormente he mencionado que la utilización del termómetro convencional suele ser de poco interés para los marinos, pero sí será importante cuando haya diferencia entre la temperatura del aire y la del mar, puesto que podrían producirse situaciones de visibilidad reducida, heladas en invierno y afectar a la seguridad de la navegación.

3.2.2.3 Otros instrumentos complementarios

En este apartado, pretendo contemplar otros aparatos, suficientemente importantes en la observación que deberían incluirse a bordo para la mejora de la predicción, local:

a) Anemómetro

Existen dos tipos principales de anemómetro, los basados en el empuje mecánico del viento sobre un cuerpo (anemómetros de recorrido) y los basados en la modificación de la velocidad

de una corriente de aire por compresión al pasar por un tubo estrecho (anemómetros de presión), aunque los más comunes en los buques mercantes son los primeros.

También cabe diferenciar entre anemómetros fijos (normalmente utilizados en buques seleccionados o de investigación) y anemómetros de mano (utilizados por la mayoría de mercantes). Para el caso de los anemómetros fijos deberán tener el sensor ubicado en una posición seleccionada cuidadosamente con el fin de reducir la distorsión de flujo ocasionada por la superestructura, y para el caso de los anemómetros de mano se deberá realizar la medición en el costado de barlovento.

En ambos casos se deberá realizar un simple cálculo, por medio de un diagrama de vector que contenga el viento medido y la velocidad del buque, para obtener la velocidad verdadera. Y si bien parece sencilla la operación, se tiende a un proceso de automatización y cálculo automático en buques pertenecientes al programa de observación voluntaria, debido a la gran cantidad de errores producidos en el proceso de extracción de la velocidad real.

La comparación de velocidades instantáneas del viento con los valores esperados de las cartas de predicción del tiempo (con la ayuda de ábacos de viento geostrófico en función del gradiente de presión), permite comprobar si las condiciones se producen tal y como se habían predicho o no. No obstante, las mediciones realizadas suelen prestar grandes errores, sobretodo con bajas velocidades del viento, que generalmente se deberán a los efectos aerodinámicos provocados por las estructuras del buque y sus movimientos sobre las olas.



Figura 15: Detalle de un anemómetro de eje horizontal.

En cuanto a la velocidad del viento en sí, la inmensa mayoría de los registros de las intensidades del viento a bordo de los buques, corresponden a la relación empírica construida alrededor de la escala Beaufort y relacionada al estado de la Mar. Los textos generales que hablan sobre el estado de la Mar, contienen fotografías del mismo, que se corresponden a las velocidades del viento en las citadas escalas. Pero no es muy difícil advertir que dichas relaciones no son completamente correctas, y que es muy difícil de precisar cuál es el estado de la Mar en un momento dado, sobretodo si esta cambia rápidamente.

De otra forma, la habilidad para poder comparar las velocidades instantáneas del viento con los valores esperados de las cartas de predicción del tiempo (con la ayuda de los ábacos de viento geostrofico en función del gradiente de presión), permite comprobar si las condiciones se desarrollan tal y como se preveía en dicha información meteorológica, o estas cambian.

Los estudios estadísticos de las estimaciones de la velocidad del viento, utilizando las especificaciones de la escala Beaufort frente a las observaciones físicas (recomendables siempre que sea posible), sugieren que la dispersión media es un poco mayor de la mitad del rango en cualquier nivel de fuerza⁴⁷.

Esto significa que, para un grado de fuerza 1B o 2B, la exactitud es difícil de que sea superior de $\cong 1$ nudo (error entre el 20 y el 50%, para estos niveles), aunque tenga esto, poca importancia. Pero en cuanto tenemos fuerzas entre 5B y 7B, la exactitud puede ser de unos 3 nudos (error entre el 10 y el 16%). Para valores de fuerza hasta 10, el error puede alcanzar sobre el 10%.

Los anemómetros, en cualquier condición de operativa normal no proporcionan mayor exactitud, debido a que acostumbran a quedar fijos en alturas no establecidas sobre el agua y en estructuras que ejercen un significativo impacto aerodinámico sobre las lecturas finales. Como regla general no se acostumbra a dar velocidades con precisiones $\cong 4$ nudos a cualquier velocidad de viento no nula. Incluso en los estudios científicos, donde se toman precauciones importantes en lo que atañe a la calibración del equipo, los efectos aerodinámicos provocados por las estructuras del buque y sus movimientos sobre las olas; el impacto puede ser apreciable.

⁴⁷ KOREVAAR.C.G. (1990) "North Sea Climatology". Kluwer Academic Press. Rotterdam.

b) Higrómetro

Existen diferentes tipos de higrómetros, con los cuales podemos medir diferentes parámetros, como son:

Químico: Se obtiene el valor de humedad absoluta (densidad del vapor de agua).

De absorción: Se obtiene directamente la humedad relativa (cociente entre tensión efectiva del vapor y la máxima o saturante). Como máximo vale 1 en estado de saturación.

De condensación: Se obtiene la Temperatura del punto de rocío

c) Pluviómetro

Con él mediremos la cantidad de lluvia caída durante un intervalo de tiempo determinado, pero a bordo su importancia o interés es bastante discutible aparte de los fines de observación científica.



Figura 16: Fotografía de un pluviómetro marino.

d) Radar de banda X

Radar es el acrónimo de “Radio Detection and Ranging”, y se trata de un dispositivo capaz de transmitir una señal electromagnética y captar el retorno de la misma (eco) como consecuencia del impacto de la primera con un objeto capaz de reflejarlas, pudiendo el mismo aparato determinar a través del procesamiento de la señal recibida, diversos parámetros de dicho objeto. Pero para poder detectar objetos en todo el horizonte, el haz de energía transmitida debería de dispersarse también por todo el horizonte, y por tanto la antena emisora incorporará

unos servomotores azimutales que permitirán su movimiento en el plano horizontal. Para evitar el trabajo de sincronización entre el movimiento de las antenas emisoras y las receptoras, se usa la misma antena para la recepción y la emisión.

Desde la perspectiva meteorológica, no es suficiente conocer la existencia de los blancos, sino además su posición (dirección, distancia, azimut y elevación) y velocidad.

Principio de funcionamiento

El radar meteorológico, utiliza un haz de energía en forma de radiofrecuencia, para barrer una sección de la atmósfera. Este actúa sobre una frecuencia portadora que tiene superpuesta en la misma una modulación (la portadora es la señal original generada por el transmisor, que tiene como característica principal la frecuencia portadora que tiene superpuesta en la misma una modulación (la portadora es la señal original generada por el transmisor, que tiene como característica principal la frecuencia en la que opera el radar y se elige en función de la utilidad y características del canal de transmisión).

La energía emitida en una dirección determinada incide sobre las partículas que encuentra en su camino, como polvo, gotas de lluvia, granizo o sobre la superficie de la mar los rociones y las olas. Retorna entonces una cierta cantidad de energía en la misma dirección de incidencia, que puede ser captada por la antena del radar. A partir de esta señal de retorno, se obtiene un nivel de reflectividad (Z) de las partículas detectadas, que se acostumbra a medir en decibelios (dBZ) que en buena parte se ve afectada por la humedad y la forma, de la partícula.

La utilización del radar en la observación de los fenómenos meteorológicos, suministra dos tipos de información:

1. La señal procedente de una región pequeña, definida por el volumen de resolución del pulso, proporciona información cuantitativa de las propiedades de reflectividad y velocidad del medio.
2. Todas las señales procedentes de diferentes puntos del espacio que hacen posible definir el contorno de los blancos y dentro de los mismos la distribución de las cantidades mensurables (estructura a pequeña y mediana escala, evolución o movimiento).

El radar es un potente instrumento para la investigación en la meteorología en frecuencias superiores a 1GHz. De hecho, permite obtener gran cantidad de datos en las tres dimensiones del espacio de la estructura de la atmosfera, de una forma flexible, rápida y eficiente. Estos datos pueden ser utilizados para describir fenómenos atmosféricos y en el estudio de la radiopropagación además de en la previsión por medio de estadísticas.

Para observaciones radar a distancias medias y pequeñas, de deben de tener en cuenta una serie de restricciones:

- El aire es una fase gaseosa compuesta de oxígeno y vapor de agua que interactúa con la radiación (los otros constituyentes del aire no se tienen en consideración).
- Las nubes y partículas de precipitación en su forma líquida y sólida, absorben y reflejan las ondas en todas direcciones y en particular en la del radar.
- Las variaciones en el índice de refracción del aire no afectan significativamente a las frecuencias de microondas de trabajo.

La aplicación cuantitativa más importante del radar meteorológico es la medida de campos de precipitación. Aunque en el caso de la navegación y como equipo a bordo, la utilidad principal es la de detectar el oleaje existente en la proa del buque.

3.2.3 Equipo radioeléctrico a bordo

Si nos remitimos al capítulo IV del SOLAS, dedicado a las “Radiocomunicaciones”, en su parte tercera el “Equipo prescrito para los buques”, se detalla una serie de aparatos obligados para la navegación de los buques, en función de la zona por la que el buque navegue. Puesto que el propósito principal de la presente tesis versa sobre la meteorología, solamente haré referencia a los aparatos que pueden servir a los buques para la obtención de información meteorológica o bien para la difusión de la misma.

- a) Todos los buques deben llevar un receptor Navtex⁴⁸ homologado⁴⁹, y en el caso de navegar por áreas en las que no exista un servicio Navtex, se llevará una instalación radioeléctrica para recibir información de seguridad marítima (MSI) por el sistema de llamada intensificada a grupos de INMARSAT (EGC⁵⁰ en 1,6 GHz) o instalación de telegrafía de impresión directa (IDBE) en ondas decamétricas (HF).
- b) Una instalación radioeléctrica de ondas métricas⁵¹ (VHF) capaz de transmitir y recibir mediante radiotelefonía en las frecuencias 156,8 MHz (canal 16), 156,65 MHz (canal 13) y 156,3 MHz (canal 6), y mediante LSD en la frecuencia 156,525 MHz (canal 70. Este equipo deberá permitir además, la escucha continua de LSD en el canal 70. En el caso de navegar fuera de la zona marítima A1 (zona a 20 ó 30 millas de la costa), se amplían las prescripciones.
- c) Zona marítima A2 (hasta 100 o 150 millas aproximadamente): el buque deberá llevar además, una instalación radioeléctrica en ondas hectométricas (MF) que pueda transmitir y recibir, a efectos de socorro y seguridad, en las frecuencias de 2187,5 Khz. utilizando LSD y 2174,5 Khz. utilizando radiotelefonía, y que pueda mantener escucha continua en 2187,5 Khz. Deberá también, llevar un equipo para poder transmitir y recibir radiocomunicaciones generales utilizando radiotelefonía o telegrafía de impresión directa que funcione en las frecuencias de trabajo comprendidas entre 1.605 Khz. y 4.000 Khz. ó entre 4.000 Khz. y 27.000 Khz., o bien mediante una estación terrena de buque de INMARSAT.
- d) Zona marítima A3 (entre los 70°N y los 70°S): El buque deberá llevar además de lo anterior, una estación terrena de buque de INMARSAT tanto para comunicaciones de socorro y seguridad como también para comunicaciones generales.
- e) Zona marítima A4 (incluye regiones polares): El buque deberá llevar además de lo anterior, un equipo que pueda transmitir y recibir en todas las frecuencias de socorro,

⁴⁸ SOLAS Regla IV/7.1.4, Resolución MSC.36(63) de la OMI 14.6.1.4 (Código 1994 HSC), Resolución A.525 (13) de la OMI, Resolución A.694(17) de la OMI, UIT-R M.540-2 (06/90), UIT-R M.625-3 (10/95).

⁴⁹ SOLAS Regla IV/14, regla X/3.

⁵⁰ SOLAS Regla IV/7.1.5, Resolución MSC.36 (63) de la OMI 14.6.1.5 (Código 1994 HSC), Resolución A.570 (14) de la OMI, Resolución A.664 (16) de la OMI, Resolución A.694 (17) de la OMI.

⁵¹ SOLAS Regla IV/7.1.1, Resolución MSC.36 (63) de la OMI 14.6.1.1 (Código 1994 HSC), Resolución A.385 (X) de la OMI, Resolución A.524 (13) e la OMI, Resolución A.803 (19) de la OMI en su versión enmendada por la Resolución MSC.68 (68) de la OMI, anexo 1, Resolución A.694 (17) de la OMI, UIT-R M.489-2 (10/95), UIT-R M.493-9 (10/97), UIT-R M.541-8 (10/97), UIT-R M.689-2 (11/93), MSC/Circ.862 de la OMI.

pudiendo usar LSD, Radiotélex y Radiotelefonía. Y también llevará una instalación radioeléctrica para el servicio de escucha en LSD en las frecuencias de 2187,5 KHz y 8414,5 KHz.

- f) Facsímil. **No hay normativa** que obligue a los buques a llevar este equipo receptor a pesar de su gran versatilidad. Hoy en día los facsímiles modernos pueden incluso incorporar la función de NAVTEX. El principio de funcionamiento del mismo, se basa en la impresión sobre un papel térmico de las cartas de tiempo emitidas por las estaciones costeras, siendo ofrecidos principalmente tres tipos distintos: de la capa de aire al nivel de 500 hPa, de presión en superficie, y del estado de la mar. Otros tipos pueden incluir temperaturas en la superficie de la mar, análisis de superficie, e imágenes de satélites meteorológicos.

3.2.4 Formación de la tripulación en aspectos meteorológicos

La normativa más reciente acerca del nivel mínimo de formación en profesiones marítimas es la directiva 98/35/CE del Consejo de 25 de mayo de 1998, que modifica a la normativa 94/58/CE del consejo de 22 de noviembre de 1994. En esta se da absoluta referencia al Convenio de formación, titulación y guardia para la gente de mar (Código STCW'95) aprobado en 1994⁵².

3.2.4.1 Normativa internacional

En el capítulo II del Convenio de Formación, "*El capitán y la sección de puente*", aparecen los requisitos mínimos que debe cumplir cualquier Capitán, oficial y marinero para desempeñar correctamente su trabajo.

Hay cuatro reglas de las cuales sólo interesan a efectos de la presente tesis, las tres primeras, ya que la última hace referencia a los marineros, quienes no tienen responsabilidad alguna respecto a conocimientos en meteorología.

⁵² En España se debe acudir al BOE 20-5-1997 en el que aparecen las enmiendas del 95 al Anexo del convenio del 78.

Se hace diferencia en cuanto a conocimientos requeridos en función de si el buque es mayor o igual a 500 TRB (dentro de esta clasificación se diferencia Capitán de oficiales) o bien si el buque es menor de 500 TRB (diferenciando entre viajes próximos o no a la costa).

a) Buques de arqueo bruto mayor o igual a 500

- a.1) Los oficiales encargados de la guardia deberán haber completado una educación y formación reconocidas y satisfacer las normas de competencia que se establecen en la sección A-II/1 del Código de formación
- a.2) El capitán y primer oficial de puente de buques de navegación marítima de arqueo bruto igual o superior a 500 deberán haber completado una educación y formación reconocidas y satisfacer las normas de competencia que se establecen en la sección A-II/2 del Código de Formación (el código hace una diferenciación aquí entre buques de arqueo comprendido entre 500 y 3000 o bien mayores, pero los conocimientos requeridos en cuanto a meteorología se refiere son los mismos)

b) Buques de arqueo bruto inferior a 500

- b.1) Buques no dedicados a viajes próximos a la costa: Los Capitanes y los oficiales encargados de la guardia de navegación, deberán tener un título idóneo que les habilite para el cargo en buques de arqueo bruto igual o superior a 500. Deben por tanto, cumplir con los requisitos de los cuadros A-II/2 y A-II/1 respectivamente.
- b.2) Buques dedicados a viajes próximos a la costa: Los Capitanes y los oficiales encargados de la guardia de navegación deberán haber completado una educación y formación reconocidas y satisfacer las normas de competencia que se establecen en la sección A-II/3 del Código de formación

En caso de que la Administración considere que las dimensiones del buque y condiciones del viaje son tales que la aplicación de la totalidad de los requisitos de la presente regla y de la sección A-II/3 del Código de Formación no parecen ni razonables ni factibles podrá eximir en algunos casos en la medida en que se den las circunstancias, teniendo presente la seguridad de todos los buques que puedan operar en las mismas aguas.

A continuación añado un resumen de los cuadros que aparecen en el código de formación, con el cual se ve claramente la diferencia de requisitos de conocimientos en meteorología

Cuadro A-II/1

Competencia

- Planificar y dirigir una travesía y determinar la situación

Conocimientos, comprensión y aptitud

- Aptitud para interpretar y utilizar la información obtenida con los instrumentos meteorológicos de a bordo
- Conocimiento de las características de los diversos sistemas meteorológicos, procedimientos de transmisión de partes y sistemas de registro
- Aptitud para aplicar la información meteorológica disponible

Criterios de evaluación de la competencia

- Las mediciones y observaciones meteorológicas son exactas y apropiadas para la travesía
- La información meteorológica se interpreta y aplica correctamente

Cuadro A-II/2

Competencia

- Pronosticar las condiciones meteorológicas y oceanográficas

Conocimientos, comprensión y aptitud

- Aptitud para entender e interpretar una carta sinóptica y para pronosticar el tiempo de una zona, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas locales y la información recibida por medio de facsímil meteorológico.
- Conocimiento de las características de los diversos sistemas meteorológicos, incluidas las tempestades ciclónicas tropicales, y el modo de evitar el vórtice del ciclón y los cuadrantes peligrosos.
- Conocimiento de los sistemas de corrientes oceánicas.
- Aptitud para calcular los estados de las mareas.

- Utilización de todas las publicaciones náuticas pertinentes sobre mareas y corrientes.

Métodos de demostración de la competencia

- Examen y evaluación de los resultados obtenidos en una o más de las siguientes modalidades formativas:
- Experiencia aprobada en el empleo
- Formación aprobada con equipo de laboratorio

Criterios de evaluación de la competencia

- Las condiciones meteorológicas pronosticadas para un determinado periodo de tiempo se basan en toda la información disponible
- Las medidas tomadas para mantener la seguridad de la navegación reducen al mínimo, todo riesgo para la seguridad del buque
- Las medidas propuestas se basan en datos estadísticos y en observaciones de las condiciones meteorológicas

Cuadro A-II/3

Competencia

- Planificar y dirigir una travesía costera y determinar la situación

Conocimientos, comprensión y aptitud

- Aptitud para interpretar la información obtenida con los instrumentos meteorológicos de a bordo
- Conocimiento de las características de los diversos sistemas meteorológicos, procedimiento de notificación y sistemas de registro
- Aptitud para aplicar la información meteorológica disponible

Criterios de evaluación de la competencia

- Las mediciones y observaciones de las condiciones de tiempo son exactas y apropiadas para la travesía
- La información meteorológica se evalúa para mantener la seguridad de la travesía

3.2.4.2 Normativa nacional

En el BOE del 20-5-1997 nº 120 (pg. 16636) – Marginal RCL 1997\1225- aparecen las enmiendas de 1995 al anexo del convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar, 1978.⁵³

En esta se añaden unos puntos a los tres cuadros mencionados anteriormente relativos a los requerimientos de formación de los oficiales y Capitanes:

- a) En el cuadro A-II/1 se añaden los siguientes puntos:
 - Las mediciones y observaciones meteorológicas son exactas y apropiadas para la travesía
 - La información meteorológica se interpreta y aplica correctamente

- b) En el cuadro A-II/2 se mantiene el primer punto y se sustituyen los demás por el siguiente:
 - Examen y evaluación de los resultados obtenidos en una o más de las siguientes modalidades formativas:
 - Experiencia aprobada en el empleo
 - Las condiciones meteorológicas pronosticadas para un determinado período de tiempo se basan en toda la información disponible

- c) En el cuadro A-II/3 se añaden los siguientes puntos:
 - La elección de la modalidad de gobierno del buque es la más adecuada para las maniobras previstas, habida cuenta del tiempo, el estado de la mar y las condiciones del tráfico
 - Las mediciones y observaciones de las condiciones del tiempo son exactas y apropiadas para la travesía
 - La información meteorológica se evalúa y aplica para mantener la seguridad de la travesía

⁵³ En proceso de implantación, las enmiendas contempladas en el BOE de 25 de septiembre del 2002.

3.3 Análisis de las variables meteorológicas

La obtención de datos de las variables meteorológicas que puedan ser utilizadas en las predicciones del tiempo capaces de ayudar al marino durante sus navegaciones tiene algunas limitaciones que impiden en ocasiones que puedan ser aprovechados, pero debemos tener en cuenta que algunos datos que no son de utilidad para la navegación, si son valiosos en la confección de previsiones para tierra. El análisis de variables, realizado en éste párrafo se hace para precisamente seleccionar los datos utilizados por los marinos.

Para seleccionar las variables que serán objeto de análisis, tendremos en cuenta primero los datos accesibles a bordo, los parámetros que procesan los Institutos Meteorológicos y Oceanográficos que preparan los pronósticos que se envían a los usuarios⁵⁴, y por último también se considerarán los datos y la forma de tratarlos de las empresas comerciales que preparan información específica para los marinos. Toda la información preparada para los usuarios, significa el procesamiento de innumerables variables en unos casos y de un menor número en otros casos, que son necesarias para dar forma a los documentos usados para la prognosis.

3.3.1 Presión

Uno de los parámetros más importantes de entre las variables meteorológicas, es la presión, ya que la exacta y regular medida de la misma, proporciona una evidencia directa de cómo están cambiando las condiciones meteorológicas en cualquier lugar y la confirmación además de si el tiempo cambia como estaba previsto.

La unidad apropiada en sistema internacional para la presión en oceanografía es $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ donde Pa es un Pascal que es igual a 1 Newton por metro cuadrado. Otra unidad más usada es el bar el cual es aproximadamente igual a 1 atmósfera (la presión atmosférica se mide con un barómetro y se puede leer en hectopascales).

Un barómetro aneroide normal, es capaz de medir valores suficientemente exactos al nivel de la mar, si se le proporciona una corrección por la altura a la que esté situado (cerca del nivel de

⁵⁴ Los usuarios de la información son desde las TV y diarios, pasando por las emisoras de radio y terminando en un ciudadano que quiere ciertos datos para realizar su viaje o plantar sus cosechas.

la mar, la corrección es de 0,1hPa por metro de elevación, de forma que un buque que tenga el puente a 30 metros de altura, debe de aplicar una corrección importante). De hecho, es conveniente realizar comprobaciones periódicas con un barómetro patrón, del que podamos disponer en las oficinas meteorológicas en los puertos. Esto permite controlar cualquier desvío que pueda sufrir el aparato, evitando medidas inexactas, que son demasiado comunes en los buques, debido a simples problemas de calibración.

De entre los datos interesantes que nos proporciona el barómetro, la interpretación de los cambios de la presión que indica en el contexto de la predicción, existe un hecho importante como es la variación regular, variación diurna o marea barométrica, la cual se superpone a las variaciones que inducen las fluctuaciones, consecuencia de los cambios de tiempo. En las latitudes medias y altas, las variaciones están enmascaradas por los sistemas de tiempo que se aproximan, pero en los trópicos se produce una clara regularidad entre los conocidos máximos y mínimos de presión a lo largo del día.

La amplitud de la curva diurna de la presión, oscila desde unos 3hPa en el ecuador a sólo unos 0,4hPa en latitudes de 60°N y S, reflejándose los máximos a las 10:00 y 22:00 horas de tiempo local y los mínimos a las 04:00 y 16:00 horas. La importancia de seguir estas variaciones, reside en el hecho de que en los trópicos la presión se mantiene constante, siempre que no pase un ciclón tropical por la zona. De forma que cualquier caída por debajo de los 3hPa de los valores mensuales normales, después de la corrección debida a la variación diurna, significa un riesgo real de una próxima formación o formación avanzada, de una tormenta tropical en las proximidades.

Si la presión registrada por el barómetro en las latitudes intermedias, llega a 4 hPa o más por debajo de la media en la zona y por la época, y este valor se mantiene o cae, la probabilidad de que las próximas horas sean de buen tiempo o incluso de viento moderado; es poca.

De hecho, en general el tiempo será variable si la presión es baja y si además, la presión cae, la intensidad del viento puede aumentar con muchas probabilidades.

Si el valor del barómetro está 4 hPa por encima de la media y se mantiene o aumenta lentamente, hay poca probabilidad de que el estado del tiempo se deteriore en las próximas 12 horas, pudiendo aventurar la predicción a 24 horas si el barómetro está 8 hPa por encima de la media y sube suavemente.

Ocasionalmente, un cinturón de niebla o de nubes bajas, puede aparecer cerca del centro del anticiclón en combinación con un frente, por ejemplo, como podría ser el caso de una área de altas presiones con dos centros bien definidos (como un huevo con dos yemas), en cuyo centro se producen los cinturones de niebla o nubes bajas antes citados.

Un barómetro con valores ascendentes, indica buen tiempo, mientras que un valor descendente implica un deterioro del tiempo; si en cambio el aumento o la caída de los valores es rápida, el cambio será de poca duración por que seguramente el observador está en la derrota de la baja presión, detrás o delante de la misma. También es posible que, la baja cerca de la que nos hallemos, sea una entre una serie de otras (ya que a menudo se desplazan en familias) y el observador no tardará mucho en hallarse bajo la siguiente.

Paralelamente, si la presión desciende lentamente (respecto de los valores normales) pero de una forma mantenida, muy probablemente el observador está pasando por fuera y lejos de una alta presión, y aproximándose a una zona de bajas presiones, y a la inversa.

Pero de todos modos, la velocidad de a la que los valores de presión disminuyen, no es una guía tan fiable, como la que puedan insinuar la intensidad de los vientos esperados. Es decir, el valor indicado por el barómetro puede descender mucho más rápidamente, si estando delante de una baja, nuestro buque navega proa a la misma, que no cuando estamos parados o nos alejamos de la baja. Además, si una baja está ocluida, ésta se mueve lentamente aunque pueda tener asociadas tempestades.

El gradiente de presión y por consiguiente la intensidad del viento se puede incrementar, por la subida de la presión a una banda del observador, mientras que en la banda opuesta, el viento puede remitir aunque los valores del barómetro se mantengan relativamente altos.

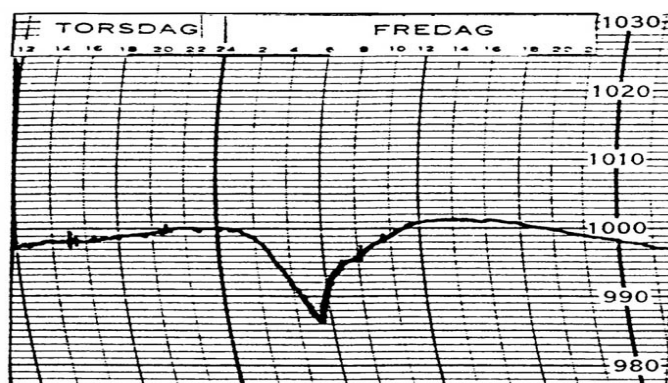


Figura 17: Traza del barógrafo del aeropuerto de Kastrup (Copenhague), que muestra el paso de la baja polar del 29 de marzo de 1985. Fuente Royal Meteorological Society.

Este caso, es el clásico en el que una tormenta no siempre se anuncia mediante la caída de los valores de la presión; como ejemplo de esta situación tenemos el caso del mes de Junio de 1944, cuando una tormenta del NE apareció en las playas de Normandía⁵⁵, mientras que los barómetros en Inglaterra, no dieron mayor indicación de su llegada.

En el caso de la oceanografía, la presión del agua se expresaría en decibares, 10 de estos equivaldrían a 1 bar. Un decibar es igual a cerca de 1 1/2 libras por pulgada cuadrada. Dicha unidad se comenta por que es aproximadamente la presión que ejerce una columna de 1 metro de agua. De modo que la presión en decibares es aproximadamente la misma que la profundidad en metros, la unidad de profundidad.⁵⁶

Aunque virtualmente todas las propiedades físicas del agua marina se ven afectadas por la presión, el efecto no es tan grande como el de la salinidad y la temperatura. La presión es de particular importancia para los submarinos por el esfuerzo que obliga a soportar a su casco y estructuras y de una forma indirecta por su efecto en la flotabilidad.

Las aportaciones que considero interesantes proponer en la variable de la presión, para ser aplicadas en la estación de planificación de derrotas, que ayuden a mejorar la exactitud y comprensión de la evolución del tiempo, son las siguientes:

- Corrección por la posición del barómetro respecto al nivel de la mar: Entrando el valor del calado en la estación meteorológica, y estando programada en la estación los valores del francobordo de verano más la altura del alerón del puente; la altura total del barómetro al nivel de la mar, nos la calculará el programa que además nos proporcionará la reducción a aplicar. De modo que.

$$\textit{Altura del alerón s/ cubierta francobordo} + \textit{francobordo actual} = \textit{altura total}$$

Conversión altura en hPa, 10 metros/ 1 hPa.

⁵⁵ ⁶ BURROUGHS, W. (1998) “*Mariners weather and climate*”. Ed. Whitherby. Londres.

⁵⁶ American Practical Navigator. Bicentennial edition. 2002. DoT. US Government.

- Corrección por temperatura, en el caso de los barómetros de mercurio, se programa la tabla de conversión de las diferentes temperaturas, con la de dilatación del mercurio y de la escala metálica. Estos valores deberán introducirse para cada barómetro.
- Comparación gráfica con la curva de marea barométrica diaria, de la evolución de la presión a lo largo del presente día. Lo cual nos lleva a la deducción de las variaciones que sobre una curva estadística, obtenida a partir de los valores registrados durante diferentes viajes por una misma zona, nos permitiría obtener la próxima aparición de una baja.
- Comparativa de lo anterior con la tendencia y característica barométrica, a lo largo del día.
- Seguimiento y registro en la estación de trabajo, de la evolución de los centros de bajas presiones que se forman en la cuenca oceánica por la que navega el buque, lo que permitiría justificar los cambios en los valores de presión detectados anteriormente y además superpuesto a la derrota del buque, nos permitiría situar relativamente dichos centros con la situación del propio barco.

3.3.2 Vectores del viento

Actualmente, las estimaciones del viento en superficie a gran escala se obtienen principalmente desde análisis de modelos de predicción numérica. Esto incluye análisis de la temperatura en la superficie, observaciones meteorológicas desde VOS y datos de boyas. La información de la intensidad y dirección del viento, se usa a su vez de nuevo, en la alimentación de los modelos de predicción numérica.

Los modelos de predicción numérica y las predicciones basadas en datos previos son una importante vía de información indirecta, al igual que otros datos atmosféricos y de la superficie del océano, de modo que las estimaciones directas todavía son esenciales, particularmente en los trópicos donde se utilizan las boyas de la serie TAO.

La problemática existente en la medición del parámetro viento a bordo, no sólo se reduce a su reducción al nivel estándar de los 10 metros de altura, sino que proviene de su propia

medición. Es sabido que la toma del valor de su intensidad y dirección se realiza muchas veces con prisas y sin prestar la atención que debiera, sobretodo en el momento de convertir el viento relativo en real.

Tras evaluar dicha problemática y en concordancia con el epígrafe posterior sobre los errores de medición, propongo la toma de los datos mediante una simple grímpola y anemómetro, situados en la cruceta más elevada posible del palo situado sobre la superestructura, alejado y en todo caso a proa de la chimenea, que tomará la información relativa al viento y la transmita a la estación de trabajo de navegación y la de planificación de derrotas.

Dichas estaciones de trabajo, deberán recibir los valores de rumbo y velocidad, efectivos del buque preferiblemente del GPS, que nos ofrece una lectura más fiable desde el momento en que estamos sometidos al efecto de corrientes marinas. En ese supuesto el valor y dirección de la corriente se introduciría manualmente en la estación, tras consultar los pilot charts o la información en las cartas náuticas. Pudiendo el propio sistema realizar un cálculo vectorial sobre el efecto real de las mismas.

La optimización de la medición desde un punto de vista sinóptico, pasa por potenciar mejoras a base de tecnología automatizando las mediciones recogidas por el conjunto de buques participantes en el programa VOS. La fuerza del viento podría ser obtenida mediante los datos satelitarios de velocidad del viento, desde altímetros radares o radiómetros de microondas pasivas, pero existe la limitación de la cobertura espacial y la exactitud.

Teniendo en cuenta el tipo de aplicación que se le va a dar a los valores del viento, se necesitará una mayor exactitud y resolución, por ejemplo, en aplicaciones climáticas se requiere una exactitud de 0,5 a 1m/s con una resolución espacial de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ y una resolución temporal de 1 a 2 días. Para las aplicaciones costeras y de meso escala, se utiliza diariamente una resolución espacial de 50 Km² con una exactitud de 1 a 2m/s

3.3.3 La mar. Apreciación del oleaje

Las condiciones climatológicas que se pueden encontrar en una determinada zona de la mar afectan a la navegación, entre éstas las olas que se producen por el efecto sobre la superficie marina del viento, tienen una incidencia directa sobre el casco del buque y en la seguridad de

la navegación. Podemos considerar varios tipos⁵⁷ de olas, no obstante la que nos interesa desde el punto de vista del marino, cuando está su buque en medio de grandes masas de agua, es la ola producida por el viento.

Las olas, pueden clasificarse entre olas de viento que son generadas y mantenidas por él, y las olas de marejada, que son olas de viento que se desplazan desde el lugar de formación llegando a zonas en calma o de viento menos intenso, disminuyendo gradualmente de tamaño al moverse. Las primeras pertenecen al tipo de ondas oscilatorias progresivas, pues se propagan a través del agua originando un movimiento oscilatorio.

Los parámetros de las olas que permiten realizar cálculos para valorar su poder son, la altura de la ola⁵⁸, el período⁵⁹, longitud⁶⁰, y la velocidad⁶¹. Otros valores como dirección⁶², pendiente o edad, también podrán ser utilizados en los cálculos. Por último en algunos casos será necesario considerar la cantidad de energía recibida por la ola, ya que de ello dependerá que la ola alcance o no el máximo tamaño.

Formación de las olas

El conocimiento de la formación de las olas y los valores de los parámetros implicados en ella son los puntos de partida para obtener conclusiones que nos llevan a diseñar derrotas meteorológico-oceanográficas seguras que son de gran ayuda al marino, no obstante en el apartado correspondiente se indicarán una serie de medidas que servirán al marino para contrastar la información procedente de tierra.

Si sobre una mar en calma empieza a soplar una ligera brisa, sobre la superficie del agua aparecen irregularidades en forma de ondas. Si el viento cesa, las pequeñas olas se deshacen porque son más débiles que la tensión superficial del agua marina, pero si el viento sigue soplando las hace crecer y cuanto mayores son, mayor es el agarre del viento y se forman las

⁵⁷ Las olas que se pueden observar son generalmente producidas por el viento, no obstante hay "olas de marea" causadas por grandes perturbaciones geológicas del fondo submarino, por ejemplo, terremotos, y erupciones volcánicas. Estas olas, denominadas "Tsunamis" no son predecibles, por lo cual sus efectos son desastrosos.

⁵⁸ Distancia vertical entre el seno y la cresta.

⁵⁹ Tiempo transcurrido entre el paso de dos crestas consecutivas por un punto fijo.

⁶⁰ Distancia entre dos crestas o senos consecutivos, expresada en metros.

⁶¹ Velocidad con la que la ola avanza sobre la superficie del agua medida en metros por segundos o nudos.

⁶² Es un parámetro valorado en las olas de interferencia que se origina cuando varias olas se encuentran según ángulos distintos, es un fenómeno muy frecuente y característico en el centro de ciclones y tifones.

olas, es decir, que la incidencia persistente del viento sobre la superficie de la mar es la que origina las olas.

Teniendo en cuenta que estamos valorando las olas en aguas abiertas, cuando el fondo de la mar está a una profundidad igual o inferior a la mitad de la longitud de la ola, el fondo marino estará afectado por la dinámica producida por el oleaje, siendo más fuerte la acción cuando para una misma longitud de ola disminuye la profundidad. La conclusión es que la ola al tener un rozamiento sobre el fondo, pierde parte de su energía, que es utilizada en remover y erosionar el fondo marino. Empíricamente los valores del golpe superficial de una ola queda reducido al 15 por ciento a 25 metros y sólo llega a ser un 2 por ciento a los 50 metros.

Una vez formada, la ola ya no depende del viento, sino del tren de olas formadas y del efecto de la gravedad, ya que cuando una ola cae en el seno de la que le precede y se propaga sin perder casi energía, ya que no mueve masa de agua. Si el viento aumenta su velocidad, las elevaciones son mayores, crece la distancia entre las crestas y además la velocidad de propagación. El tamaño de las olas no aumenta linealmente con la velocidad del viento sino de forma exponencial por ejemplo, las olas generadas por un viento de 40 nudos no son el doble de tamaño que las producidas por un viento de 20 nudos, sino 17 veces mayores. Cuando la intensidad del viento aumenta, se produce una disminución de la distancia entre crestas y los frentes se hacen más pendientes.

Cuando la altura de la ola alcanza la séptima parte de su longitud, la ola no es capaz de mantenerse, se rompe porque no aguanta su propia masa de agua, y es cuando toda la energía cinética acumulada a lo largo de muchas millas por el viento se transforma en transporte. La cantidad de energía liberada es grande y es la que ocasiona las averías al buque.

Altura de ola, período y dirección

Las observaciones a bordo, de las alturas de ola se llevan a cabo siempre a la vista. Esta no es una forma fácil de medir y menos con mares levantadas. Las medidas se hacen mejor a crujía donde el efecto del balance y el cabeceo del buque puede ser minimizado. De modo que, aún no siendo una ciencia exacta, conociendo la altura sobre la que se encuentra la vista del observador sobre la mar, es posible evaluar la altura de las olas más significativas. Los estudios comparativos entre las alturas de ola aproximadas y las alturas medidas físicamente; son testimonio de que en el caso de olas pequeñas la valoración subestima su tamaño; mientras

que en el caso de olas más altas, se sobreestima su tamaño⁶³. El punto de inflexión en esta tendencia se halla en los 8 metros, lo que implica que la mayoría de estimaciones visuales, es demasiado pequeña.

El período de las mismas en cambio, puede medirse contando el número de olas que llegan al barco, aunque el avance del propio buque, introduce un movimiento relativo que complica en extremo la correcta evaluación del citado período. Si la velocidad de desplazamiento de las olas es tres veces el período en segundos, el rango que encaja entre los 4 y 7 segundos de período, están por tanto navegando a mayor o la misma velocidad que la mayoría de embarcaciones.

Como consecuencia de ello, los períodos reportados por los propios oficiales de a bordo, se han encontrado más cortos que los reales, que implica un abanico de error considerable.

Parecidas dificultades se han encontrado con las estimaciones de la dirección de las olas. Normalmente las olas de viento coinciden en dirección con la mar de viento. Pero incluso en este caso, pueden llegar a haber diferencias de hasta 20° en la dirección de su punta de energía, respecto a la dirección del viento local. Mientras que para la mar de fondo, esta puede llegar de cualquier dirección según donde se hayan generado por sistemas distantes de tiempo.



Figura 18: Fotografía de una ola extrema. Fuente NWS.

Acción de los temporales

⁶³ BURROUGHS, W. (1998). *Marine weather and climate*. Ed. Whitherby. Londres.

La fuerza con la que las olas se estrellan contra el casco del buque eleva el agua por encima de las estructuras del buque. Su acción provoca destrozos en la carga, pérdidas en la misma o incluso del propio buque. Los valores que puede alcanzar la altura máxima de una ola, siempre van a depender de la duración del temporal y la fuerza con la cual sopló el viento.

Los grandes temporales, producen intensas fuerzas contra la pequeña isla que es el buque en medio de una tormenta. Estos valores cuantificados de forma estimativa son tenidos en cuenta por los constructores y diseñadores cuando preparan el proyecto de un buque, el marino debe conocerlos y cuando se presenten circunstancias adversas de este tipo, se realizarán las maniobras evasivas necesarias.

Las olas aumentan su tamaño con la velocidad del viento, la duración de dicho viento y la distancia recorrida en mar abierto antes de encontrar el obstáculo de una costa. Este último factor es el denominado *fetch* y se pone de manifiesto su acción, por ejemplo, cuando una tormenta lejana originada en Terranova, crea olas que se desplazan en dirección a Europa. Los trenes de olas se empujan unos a otros sumándose y acumulando energía. Los marinos las conocemos como las Tres Marías, son muy inestables y pueden alcanzar la costa rompiendo al tocar la plataforma continental.

Además la mar, es considerada con frecuencia como la línea de avanzadilla de una tormenta, aunque realmente esta aseveración se puede considerar cierta, sólo si :

- (a) Se trata de una tormenta tropical en latitudes bajas, ya que las tormentas tropicales normalmente se mueven lentamente en comparación con la velocidad de los vientos alrededor de la misma;
- (b) Se trata de una depresión ocluida, moviéndose lentamente y además nos acercamos a ella.

Sabemos que la mar viaja a la mitad de la velocidad del viento que la genera, y en el caso de una baja extra-tropical aproximándose, así lo hace (si no está ocluida) con una velocidad cercana a los vientos más intensos asociados a la misma, es decir que la baja puede llegar antes que la mar, que está viajando en la misma dirección.

Se sabe también, que una mar muy tendida y baja, puede ser la antecesora de una baja presión debido a su mayor velocidad de desplazamiento, pero siendo esta ondulación tan imperceptible que sólo mediante registradores muy sensibles pueden ser apreciados por el ojo humano. La

mar concluimos entonces que, precede a la tormenta que la genera, cuando ésta se mueve relativamente más lenta que la velocidad del viento que comporta. Las tormentas que se mueven muy rápidamente (latitudes intermedias), en cambio dejan la mar detrás de las mismas.

El fenómeno de las olas solitarias, creadas por acumulación de varias más pequeñas, está presente en todos los mares abiertos del mundo y pueden aparecer en un océano aparentemente tranquilo. Si además se encuentran con una corriente contraria, entonces se acorta la longitud de onda y se elevan peligrosamente. Un ejemplo de estos casos extremos aparece en el encuentro de la corriente de las Agujas con las olas de los temporales antárticos que recalán frente a Durban y East London.

En un somero estudio de este parámetro, considero que el marino debe de conocer la altura significativa y el barlomar del oleaje de viento y de fondo, para tomar las medidas pertinentes y evasivas si se da el caso. Por tanto la exacta y pronta información a bordo, de la altura del oleaje, recibida a través de información radiada o de los satélites de observación, con sensores de tipo SAR, considero que se podría presentar en la estación de trabajo pertinente, lo cual en el caso de buques con una limitación operacional en función de una altura determinada de la ola,⁶⁴ podría ayudarles a tomar la mejor determinación posible

3.3.4 La temperatura

Las posibles aportaciones que propongo en la variable de la temperatura, son las siguientes:

- Toma y registro en una curva de los valores de los termómetros exteriores de ambas bandas el buque, y obtención de su promedio. Este valor se registrará y se trazará una curva que permitirá por comparación a registros anteriores; apreciar la similitud o variación respecto a la curva de variación diaria de la temperatura, para la zona de navegación y época.
- Toma de los valores de temperatura de termómetros de bola seca y bola húmeda. Dichos valores los interpolaría el programa de la estación, para obtener la humedad

⁶⁴ Como los buques de alta velocidad, or lo liviano de sus cascos y la tremenda potencia que despliegan para alcanzar la velocidad de crucero; lo que sone un embate directo contra la pared de agua, causada por el oleaje.

relativa y la temperatura de punto de rocío. Trazado de curva de la temperatura actual y del punto de rocío.

- Con dicha información, y la temperatura del agua de la mar, obtenida a partir de los colectores de la máquina, obtiene una tercera curva de temperatura que nos permitirá comparar con la temperatura de punto de rocío, el posible riesgo de entrar en niebla.

3.3.5 Otras observaciones complementarias

En este apartado, pretendo resaltar las observaciones que corroboran o aclaran los datos obtenidos mediante los sensores citados anteriormente:

3.3.5.1 La nubosidad

Las nubes en sí mismas, son el dato más confuso para los predictores del tiempo. Posiblemente la guía más útil para la predicción, es la típica secuencia de nubes que precede a un frente cálido o una oclusión, siempre que el cielo no esté cubierto por nubes bajas, tal y como ocurre con vientos de poniente. Si aparecen trozos de Cirrus, aumentando en cantidad y dando paso eventualmente a una capa blanca de Cirroestratos que a la vez van bajando y espesándose, convirtiéndose en Altostratus; no hay duda de que nos acercamos a un frente.

Si nos hallamos bajo el extremo más exterior del frente, no tendremos lluvia (muy probablemente) y el viento aumentará ligeramente. Pero hallándonos dentro del frente, experimentaremos una fuerte lluvia y sólo viento, si éste rola alrededor de 4 cuartas y el barómetro cae por debajo de la media de la época y zona donde estamos (si el barómetro no cae, posiblemente estemos bastante lejos del centro de la baja, para afectarnos demasiado).

La posibilidad de apreciar un halo entre el observador y el sol o la luna, mientras este esté cubierto por un velo de Cirroestratos es muy alta, seguida del comienzo de precipitación en menos de 24 horas con probabilidades del 50% en Europa del Norte. Ocasionalmente se puede ver el halo detrás de un frente frío, debido a que en algunos casos son susceptibles de intercalarse Cirrus entre el propio frente y el cielo abierto; hecho muy común entre las

vaguadas de aire polar precedidos por Cumulus. En este caso, el halo obviamente no se ve acompañado de lluvias aparte de los chubascos propios del frente.

Los Cirrus en general son mal considerados. Crestas o parches irregulares de Cirrus se ven a menudo con buen tiempo, desapareciendo para volver a aparecer súbitamente en cualquier parte por poco tiempo. En estas circunstancias, las tonalidades de las puestas y salidas del sol, son caprichosamente coloreadas con buen tiempo. Largas franjas paralelas de Cirrus, trozos y colas de caballo persistentes y en aumento, tienen en muchas partes del mundo la fama de indicadores de cambio en el tiempo a variable y de viento arreciando.

Un cielo aborregado, acompañado de una forma de Cirrocúmulos poco común, es conocida como la antesala del mal tiempo; siendo una guía infalible en la Europa Septentrional y útil en el Mediterráneo, aunque no se disponga de datos cuantitativos al respecto.

Es bastante cierto que mientras los Cirrus y Cirrocúmulos no son seguidos por el mal tiempo, suponen una alerta durante al menos 12 horas antes de desaparecer.

Otra creencia popular, parcialmente justificada, es la imagen en la que las nubes tapan las cimas de las montañas durante el alba y se derraman por las laderas, la lluvia se anuncia, pero si las nubes se elevan o se dispersan, entonces el tiempo mejora. En ambos hemisferios, es generalmente considerado y de hecho sólo visible de día, cuando las masas de aire están o bien se secan o se mantienen húmedas, la insolación incidente las elevará. Pero si el techo de nubosidad desciende, significa que el aire está captando más humedad.

Por ejemplo, la lluvia que precipita desde la superficie de un frente cálido, pero delante de la misma, se va evaporando a medida que precipita, aumentando el contenido de humedad relativa y haciendo que la altura de la nube sea menor y la visibilidad se deteriore a medida que el frente se aproxima.

En cambio, el significado del desarrollo en torres de los *Cb* y de los *Alto cúmulos castellatus*, no es más que la ascendencia de las masas de aire de una forma casi vertical, que van condensando la humedad sobrante y cediéndola al ambiente, a medida que se enfrían adiabáticamente volviéndose más secas a la par que se elevan.

Finalmente una puesta de sol, cuando está bajo y se sitúa delante de franjas de nubes, es un signo indicador de buen tiempo (si hubiera más nubes de altura media y alta, interpuestos delante del sol y a unas 100' del observador, éste no vería la puesta). Por otro lado una puesta

alta con el sol situado detrás de un banco de nubes, es probablemente un mal signo y la lluvia puede desencadenarse durante la noche. En el supuesto de que el sol quedara escondido detrás de la única nube que haya en el cielo, la citada regla pierde valor.

3.3.5.2 Los colores del cielo

La razón de ser de los colores del cielo, es un indicativo del contenido de humedad de la atmósfera, aunque su posición en el cielo, influye en función de la refracción de todos o sólo uno de los colores de la luz en el horizonte. De hecho, una coloración delicada y mate del cielo durante la puesta o salida del sol con pocas nubes, es signo de una atmósfera seca y tiempo estable. Estas condiciones se asocian a situaciones anticiclónicas y de valores altos en el barómetro, pero no sabemos sin más datos; qué duración tendrán estas condiciones. Podemos aventurar una situación igual durante 24 horas, si no estamos navegando a velocidad hacia el exterior del área de buen tiempo.

Si el color dominante a la salida o puesta del sol es de un encendido o cúprico color rojo, acompañado de un buen número de nubes, es un signo indicador de la existencia de mucho vapor de agua en la atmósfera y la probabilidad de que el tiempo es variable y la lluvia no está lejos.

3.4 Parámetros oceanográficos

Las variables y parámetros que influyen sobre el contenido y características de los mares y océanos son numerosas, por lo cual se seleccionan algunas de ellas y se presentan los datos más relevantes de las mismas.

3.4.1 Temperatura y Salinidad

Los datos obtenidos de las variables de temperatura y salinidad, se valorarán teniendo en cuenta dos áreas, una que será una extensión determinada en la superficie del mar y otra en zonas a diferentes profundidades. La obtención de datos en cada área oceánica nos servirá para

realizar un análisis de las condiciones que podemos tener en ellas respecto a temperatura y salinidad, comprobando su incidencia en la navegación.

Temperatura

Los sistemas de análisis de los equipos de medición nos facilitan la temperatura puesto que es un dato más sencillo de observar que de predecir, además su medición puede obtenerse por el nivel de radiación mediante sensores. Actualmente, la temperatura de la superficie se obtiene utilizando mediciones desde los sistemas AVHRR de los satélites, combinado con observaciones *in situ* de VOS equipados con sensores de temperatura mejorados. Otra opción es la toma desde boyas fijas o a la deriva, ya que el sistema necesita la aportación de observaciones para la calibración de los radiómetros. La temperatura del sensor ATSR debería utilizarse para establecer la transmisión de errores en los datos satelitarios⁶⁵.

En ciertas regiones, las observaciones satelitarias de la temperatura en superficie son inadecuadas por la cobertura de nubes o interferencias de la señal y deben ser incrementadas mediante observaciones *in situ* para proporcionar mayor exactitud y resolución.

El hecho de que fenómenos como El Niño, el cual afecta a gran parte de la población mundial, se hayan predicho, demostró que la medición constante de la temperatura de los océanos es una forma eficaz de pronosticar y prevenir condiciones climatológicas mundiales, y los desastres que éstas puedan causar. Una forma de obtener datos es la realización de muestreos, por ejemplo para temperaturas en superficie, las condiciones ideales podrían ser:

- Utilización de datos procedentes de satélites de órbita polar y geostacionaria para reducir los errores en la adquisición de datos, con unos requerimientos en cuanto a la exactitud de 0,1°C a 0,3°C para una resolución espacial de 10Km² y una resolución temporal de 3 a 6 horas para reducir errores.
- El muestreo de observaciones *in situ* es controlado por la necesidad de eliminar errores en los datos satelitarios, principalmente para aplicaciones del cambio climático, pero también para el caso de que aparezcan interferencias inesperadas de aerosoles. La exactitud en las

⁶⁵ Los requisitos mínimos de las mediciones de Temperatura y Salinidad son: SST desde AVHRR. SST desde ATSR. SST desde un VOS con sensores mejorados. SST desde boyas a la deriva en áreas de datos escasos. Conductividad y SST desde boyas fijas.

observaciones *in situ* es de 0,2 a 0,5°C con una resolución espacial de 500Km² y una resolución temporal de una semana.

Para temperaturas en el caso de aguas profundas:

- Si se trata de aplicaciones de variabilidad climática, se requiere una resolución horizontal de 1,5° de latitud por 5° de longitud y una resolución vertical de 500 m, obteniendo de forma mensual los datos con una exactitud de 0,2 a 0,5°C.
- Cuando son aplicaciones de la meso escala, se requiere una resolución horizontal de 25 a 50 Km y una resolución vertical de 500m en las mediciones realizadas en periodos de 10 días y con una exactitud de alrededor de 0,2°C.

La temperatura en el océano es un dato que varía ampliamente tanto en superficie horizontal como en masas verticales. Los máximos valores, alrededor de 32°C se han registrado en la superficie de las aguas del golfo Pérsico en verano, siendo los menores obtenidos de alrededor de -2°C (la temperatura mínima usual de congelación del agua marina) en las regiones polares.⁶⁶

A excepción de las regiones polares, la distribución vertical de la temperatura en la mar, muestra una disminución con la profundidad, puesto que el agua fría es más densa (asumiendo la misma salinidad), se hunde por debajo del agua más cálida. Esto supone una distribución de la temperatura inversa a la de la corteza terrestre, en la que la temperatura incrementa con la profundidad. Algunas particularidades de la distribución de las temperaturas en la mar son las siguientes:

- En la mar, existe usualmente una capa mezclada de agua isoterma bajo la superficie, donde la temperatura es la misma que en superficie. Esta capa debe su existencia a dos procesos físicos: la mezcla por el viento y el flujo convectivo debido que el agua superficial se enfría y se vuelve más densa. Esta capa está mejor desarrollada en las regiones árticas y antárticas, y en mares como el Báltico y el Mar del Japón durante el invierno, donde se puede extender hasta el fondo del océano.

⁶⁶ American Practical Navigator. Bicentennial edition. 2002. DoT, US Government.

- En los trópicos, la capa mezclada por el viento puede llegar a profundidades de 125 metros, pudiendo mantenerse durante todo el año. Por debajo de esta capa, la temperatura decrece rápidamente, a lo que se denomina termoclina. A profundidades mayores de 400 metros, la temperatura en cualquier punto es menor de 15°C. En las capas más profundas, alimentadas por aguas frías que se han hundido desde la superficie en el ártico o antártico, se pueden rozar los -2°C.
- En las regiones más frías, el enfriamiento crea el flujo convectivo y por tanto la capa de agua isoterma, pero en verano se crea una capa termoclina debido a que el agua superficial se calienta.

La temperatura se mide tanto con termómetros de resistencia de platino o cobre o un termistor (aparatos que miden el cambio de conductividad de un semiconductor mediante los cambios de temperatura).

El *CTD (conductivity-temperature-depth)* es un instrumento que transmite una señal continua a los sensores que equipa a medida que es sumergido en el océano, la temperatura se determina mediante un termómetro de resistencia de platino, la salinidad por conductividad y la profundidad por presión. Dichas señales se transmiten a la superficie a través de un cable y son grabadas, la exactitud de la medida de temperatura es de 0.005°C.

Para medir los perfiles de temperatura desde la superficie en un buque en navegación, se utiliza el bati-termógrafo desechable o *expendable bathythermograph (XBT)*. Éste usa un termistor que conecta con el buque mediante un fino alambre. El alambre está devanado alrededor del aparato sensor, se va largando a medida que el bati-termógrafo cae hasta que se suelta. La profundidad que se anota en cada lectura de la temperatura, se deduce por el tiempo transcurrido y la velocidad de hundimiento conocida del aparato. Obviamente, el abanico de profundidades se determina por la cantidad de alambre almacenado, siendo el alcance más común el de 450 metros.

Al final de la caída, el alambre se rompe y el aparato cae al fondo del océano. Si el instrumento se manda desde un avión; los datos son mandados al avión desde una boya que queda firme al alambre del XBT. La exactitud y precisión de un XBT oscila alrededor de los 0.1°C.

De hecho y a efectos de la normal operativa de un buque mercante, no se precisan los datos de la temperatura del agua marina, mas que los superficiales. Este dato puede obtenerse a partir de las imágenes que proporcionan determinados satélites y cuya obtención puede ser directa a bordo, o mediante sensores adosados al casco. La problemática de las tomas de refrigeración de la máquina, radica en que no se encuentran al nivel de la superficie marina, sobretodo en buques de gran calado. Posteriormente esta información se podría transmitir a la estación de trabajo donde se trazaría la curva de evolución pertinente.

Salinidad

Los datos que se necesitan para conocer el parámetro de la salinidad, variarán según de la zona que se trate, en general, precisaría una muestra por cada área de 210 Km² en una escala temporal de 10 días y con una exactitud de referencia de 0,1 PSU. Para estudios climáticos a gran escala se requiere una mayor exactitud en las mediciones de salinidad, es decir, de 0,01 PSU, con una resolución vertical de 30m y una resolución horizontal de 3° por 3°.

Si disponemos de los datos de las precipitaciones puede obtenerse de un modo indirecto la salinidad en superficie. Aunque la cobertura global de las mediciones de salinidad no es factible actualmente, el desarrollo y la utilización de termosalinógrafos en los VOS y sensores de conductividad en boyas a la deriva podrían proporcionar mejoras en los datos.

Es importante que el esfuerzo del sistema de observación se centre en mejorar el conocimiento del ciclo anual de salinidad, particularmente en altas latitudes. Aunque existen instrumentos que ofrecen gran precisión en la adquisición de datos a un coste razonable, deberían utilizarse los VOS para mejorar las muestras de la salinidad de la capa superior del océano, a efectos científicos.

La salinidad, es la medida de la cantidad de sólidos disueltos en el agua, y se define como la cantidad total de material sólido en gramos contenidos en 1 Kilogramo de agua marina, contemplando el total de sulfatos, cloruros y carbonatos. Se expresa en partes por mil (en peso), la salinidad media del agua marina es de 35 gramos por kilogramo, que se podría escribir como “35 ppt” o “35 ‰”. La amplitud total de la salinidad en el océano abierto va desde 33 a 38 ppt, siendo su distribución ni uniforme ni constante, variando tanto vertical como horizontalmente, incluso en un mismo punto del océano varía con el tiempo. Sin embargo cuando el agua está diluida como en la desembocadura de los ríos o después de un

episodio de fuertes precipitaciones, la salinidad disminuye; y en las áreas donde se produce una evaporación excesiva, la salinidad puede alcanzar las 40 ppt; siendo casos extremos en el *Great Salt Lake* en Utah o en el Mar Muerto, donde se puede superar fácilmente dicho máximo.

Históricamente, la determinación de la salinidad, ha sido un proceso difícil y laborioso, mientras que la cantidad de iones cloruro (más la clorina equivalente del bromuro y yoduro), llamada clorinidad⁶⁷ puede ser hallado fácil y exactamente por medios químicos con nitrato de plata. La salinidad se obtiene a partir de la clorinidad en base a la relación calculada de la última sobre el total de sustancias disueltas en el agua.

$$\text{Salinidad} = 1.80655 \times \text{Clorinidad}$$

Este valor se denomina salinidad absoluta, (SA). Mediante técnicas químicas la salinidad se puede obtener con una precisión de hasta 0,02 partes por mil.

Actualmente la definición de salinidad, ha sido sustituida por la Escala Práctica de Salinidad, (S); mediante esta escala, la salinidad de una muestra de agua marina, se define como la relación entre la conductividad de dicha muestra y la conductividad de una muestra estándar de cloruro de Potasio (KCl).

Como la escala de salinidad es una relación sin unidades físicas, se usa el término de unidades de salinidad prácticas o psu. La escala práctica de salinidad combinada con las modernas células de conductividad y salinómetros de mezcla, proporciona medidas de la salinidad de magnitudes más exactas de 003 psu, respecto al proceso químico.

La salinidad absoluta y la salinidad, son valores numéricos muy parecidos. De todos modos, se ha descubierto que la conductividad eléctrica está más relacionada con la densidad que con la clorinidad. Como una de las razones para obtener la salinidad es la de deducir la densidad, ello supone un tanto a favor de la escala práctica de salinidad.

⁶⁷ Clorinidad: Gramos de cloruro en 1000 gramos de agua de mar.

3.4.2 Otros parámetros oceanográficos

a) Densidad.

La densidad es el cociente de la masa por unidad de volumen. Siendo sus unidades en sistema internacional el kilogramo por metro cúbico. La densidad del agua marina depende de la salinidad, temperatura y presión. A temperatura y presión constantes, la densidad varía con la salinidad.

La temperatura de 0°C y presión atmosférica, se consideran condiciones estándar para la determinación de la densidad. Los efectos de la expansión y compresibilidad termal, se usan para determinar la densidad a otras temperaturas y presiones. De hecho los pequeños cambios de densidad en la superficie del agua, no afectan al calado o trimado de un buque, aunque si se presenta un cambio perceptible cuando un buque pasa de agua salada a dulce.

Los cambios de densidad a cierta profundidad bajo la superficie, afectan la flotabilidad de los submarinos por que éstos están lastrados para flotar de una forma neutral ($C=G$). Para los oceanógrafos, la densidad importa a causa de su relación con las corrientes oceánicas. Valores normales de densidad en mar abierta oscilan entre 1,021 kilogramos por metro cúbico en superficie, hasta 1,070 kilogramos por metro cúbico a profundidades de 10,000 metros.

Un hecho que destacar es la definición de densidad anómala dada al valor de densidad menor de 1,000 kilogramos por metro cúbico. De forma que cuando se habla de una densidad de agua marina de 25 kilogramos por metro cúbico, se trata de una densidad de 1,025 kilogramos por metro cúbico.

Los mayores cambios en la densidad del agua marina ocurren en superficie, donde el agua está sujeta a influencias que no existen en profundidad. En superficie, la densidad disminuye a causa de la precipitación, desagües desde tierra, hielo fundido o calentamiento. Cuando el agua superficial se vuelve menos densa, tiende a flotar por encima de del agua más densa por debajo.

La densidad del agua de superficie se incrementa por la evaporación, formación de hielo marino y por enfriamiento. Si el agua superficial se vuelve más densa que la inferior, se inicia un proceso convectivo que produce una mezcla en vertical. El agua más densa de superficie se

hunde y mezcla con el agua menos densa inferior. La capa de agua resultante es de una densidad intermedia. Este proceso continua hasta que la densidad de la capa mezclada es menor que la del agua inferior. La circulación convectiva establecida como parte de este proceso puede crear capas mezcladas uniformemente muy profundas. Si el agua superficial se vuelve suficientemente densa, se hunde siempre, si esto ocurre en un área donde el flujo horizontal no está obstruido, el agua que ha descendido se disemina en otras regiones, creando una capa de aguas densas en el fondo.

Como el mayor incremento en densidad ocurre en las regiones polares, donde el aire es frío y se forman grandes cantidades de hielo conforma la fría y densa agua polar, que se hunde y se disemina a latitudes más bajas. En la región del océano ártico, el agua fría y densa se confina entre el estrecho de Bering y la dorsal submarina que existe entre Groenlandia Islandia y Europa. En el antártico sin embargo, no existen tales barreras geográficas y las grandes cantidades de agua fría y densa fluyen hacia el norte por el fondo del océano. Este proceso ha continuado por un tiempo suficientemente largo como para que todo el fondo del océano se vea cubierto por esta capa de agua, lo que explica la existencia de una capa de agua fría a grandes profundidades en todos los océanos.

b) Compresibilidad.

El agua marina casi se puede considerar que es incompresible, ya que su coeficiente de compresibilidad es de sólo 0.000046 por bar en condiciones normales. Este valor cambia ligeramente según los valores de la salinidad o temperatura. El efecto de la compresión es el de forzar a las moléculas de una sustancia a estar más cercanas, lo que las vuelve más densas. Incluso aunque la compresibilidad sea baja, su efecto total es considerable debido a la cantidad de agua existente en la mar, si fuera cero, el nivel de la mar sería unos 28 metros más alto.

La compresibilidad es inversamente proporcional a la temperatura, es decir que el agua fría es más compresible que el agua caliente. Las aguas que fluyen desde el Mediterráneo y el mar de Groenlandia al Atlántico, son iguales en densidad, pero en el segundo caso es debido a su menor temperatura, siendo más compresibles y siendo más densas en profundidad.

c) Viscosidad

La viscosidad es la resistencia a fluir. El agua marina es ligeramente más viscosa que el agua dulce. Su viscosidad incrementa cuanto mayor es su salinidad, pero el efecto no es tan acusado como el debido a un decremento de la temperatura. La relación no es uniforme, llegando a ser mayor a medida que la temperatura decrece. Debido al efecto de la temperatura en la viscosidad, un objeto incompresible podría hundirse a una velocidad mayor en aguas superficiales cálidas que en las aguas más profundas y más frías.

Sin embargo para la mayoría de objetos, este efecto puede ser modificado por la compresibilidad del propio objeto. Aunque el efecto resultante es mucho más complejo debido a la existencia de los movimientos turbulentos dentro de la mar. Dicha perturbación se denomina viscosidad de vórtice.

3.4.3 Tabla de variables climáticas

El propósito de fijar unos requisitos mínimos recomendados por la organización OOSDP, para la toma de información y desde el punto de vista del estudio de las variables oceanográficas, es la razón por la cual se diseñó la tabla que se muestra a continuación. En función de cada aplicación, encontramos unas condiciones mínimas de estudio que no son necesarias desde el punto de vista del usuario del transporte marítimo.

Esta tabla resume los requisitos que deben cumplirse en la medición de las distintas variables climáticas, en cuanto a exactitud y resolución, para la observación global del océano. Está basada en los propósitos que el OOSDP estableció en 1995 y con las modificaciones apropiadas del OOPC.

| Aplicación | Variable | Resolución Horizontal | R ^{on} Vertical | R ^{on} Temp. | Nº Muestras | Exactitud |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|---|---------------------|
| NWP, clima, mesoscala | SST Remota | 10Km ² | - | 6 horas | 1 | 0,1-0,3°C |
| Corrección errores, tendencias | SST in situ | 500Km ² | - | 1 semana | 25 | 0,2-0,5°C |
| Variabilidad Climática | Salinidad en superficie | 200Km ² | - | 10 días | 1 | 0,1 |
| Predicción y variabilidad climática | Viento en superficie | 2° × 2° | - | 1-2 días | 1-4 | 0,5-1m/s |
| Mesoscala, costa | Viento en superficie | 50 Km ² | - | Diario | 1 | 1-2 m/s |
| Clima | Flujo de calor | 2° × 5° | - | Mensual | 50 | 10 W/m ² |
| Clima | Precipitación | 2° × 5° | - | Diario | Diversas | 5cm/mes |
| Tendencia cambio climático | Nivel del mar | 500Km ² | - | Mensual | 30-50 con altimetría. 100 sin altimetría | 1-2mm por año |
| Variabilidad climática | Anomalías nivel del mar | 100-500 Km ² | - | 10-30 días | ~10 | 2 cm |
| Variabilidad mesoscala | Anomalías nivel del mar | 25-50 Km ² | - | 5 días | 1 | 2 - 4 cm |
| Predicción clima, corto plazo | Velocidad hielos | ~200Km ² | - | Diario | 1 | ~cm/s |
| Clima | Volumen, espesor hielos | 500Km ² | - | Mensual | 1 | 20cm |
| Clima | PCO2 en sup. | 25 – 100Km ² | - | Diario | 1 | 0,2-0,3 µatm |
| Variabilidad climática | T(z) | 1,5° × 5° | 500m | 1mes | 1 | 0,2°C |
| Mesoscala oceánica | T(z) | 50Km ² | 500m | 10 días | 1 | 0,2°C |
| Clima | S(z) | 3° × 3° | 30m | mensual | 1 | 0,01 |

Tabla 2: Resolución y exactitud, necesarias de las variables climáticas

3.5 Precisión de las observaciones

La información obtenida a partir de las plataformas de superficie, son utilizados aparte de la propia aportación de información, para fines tales como permitir la detección de variaciones en la calibración de los sensores de los satélites, análisis y predicción del clima. Todo ello implica la necesidad de minimizar los errores en las observaciones presentes.

Los errores producidos pueden clasificarse en diversos tipos⁶⁸:

3.5.1 Errores ocasionales:

Pueden ser determinados por la comparación en las observaciones de dos barcos, estableciendo la *diferencia en el valor de temperatura del aire* transmitido, de acuerdo a la distancia que los separa. Si hay suficientes observaciones puede obtenerse una diferencia significativa con separación cero por extrapolación. Utilizando este método de cálculo, Kent E.C. (1999) analizó las observaciones de buques participantes en el programa VOS durante un periodo de 4 meses y calculó el error significativo para áreas de $30^\circ \times 30^\circ$, con lo que obtuvo los siguientes resultados:

| Campo observado | Error ocasional | | |
|---|-----------------|------|---------------|
| | Min. | Máx. | Significativo |
| <i>Velocidad del viento en superficie(m/s)</i> | 1,3 | 2,8 | 2,1 ± 0,2 |
| <i>Presión (mb)</i> | 1,2 | 7,1 | 2,3 ± 0,2 |
| <i>Temperatura del aire (°C)</i> | 0,8 | 3,3 | 1,4 ± 0,1 |
| <i>Temperatura de la superficie de la mar(°C)</i> | 0,4 | 2,8 | 1,5 ± 0,1 |
| <i>Humedad específica (g/kg)</i> | 0,6 | 1,8 | 1,1 ± 0,2 |

Tabla 3: Errores producidos por los buques VOS. Fuente NWS.

En dicho estudio Kent dio unas posibles razones a este error para cada uno de los casos:

- a) *Velocidad del viento*: La mayor causa de error en esta medición se localiza en el cálculo de la intensidad y dirección del viento verdadero. Posteriormente Gulev (1999) pasó un cuestionario a 300 oficiales de buques y solo el 27% de ellos utilizaban un método correcto de cálculo del viento verdadero. Smith (1999) confirmó mediante el “*World Ocean Circulation Experiment*” que no solo los buques VOS cometen este error sino también los dedicados a la investigación.
- b) *Presión del aire*: Kent observó que los errores eran significativamente pequeños en las regiones tropicales, y lo justificó diciendo que la presión cambia menos rápidamente con

⁶⁸ P. TAYLOR y E. KENT - *The accuracy of meteorological observations from voluntary observing ships –present*

el tiempo y que las lecturas están menos afectadas por los movimientos verticales de los buques en áreas tropicales.

- c) *Temperatura del aire*: Observó un incremento del error en regiones frías.
- d) *Temperatura de la superficie de la mar*: Observó un incremento del error en regiones de altas latitudes.
- e) *Humedad específica*: Los mayores errores ocurrían en regiones tropicales donde el aire es caliente. Actualmente los buques transmiten la temperatura del punto de rocío.

3.5.2 Errores sistemáticos:

Este tipo de error resulta más difícil de detectar que el anterior. El proyecto VSOP-NA fue diseñado para cuantificar los errores sistemáticos cometidos en los datos de los VOS. Participaron 46 buques pertenecientes al programa VOS, y se compararon los resultados con otros medios de obtención de datos.

Los resultados apuntaban al tipo de instrumento y exposición, tipo de buque y otros factores.

- a) *Velocidad del viento en superficie*: Se llegó a la conclusión de que para vientos mayores de 7m/s los anemómetros de mano no servían, y que en función de la superestructura del buque podía encontrarse un error mayor o menor⁶⁹. También se encontró que en muchos casos la conversión de la escala Beaufort a velocidades de viento cuantitativas se realizaba de forma inapropiada.
- b) *Presión*: Los barómetros aneroides de precisión (digitales) mostraban menos error que los analógicos, pues en los segundos se redondeaba al grado próximo. Y también se dieron cuenta de que el calado podía variar unos 5 metros en función de la carga, de modo que también variaba la altura del barómetro y que si bien es

status and future requirements (<http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/MET/PDF/AthensVOS.pdf>)

⁶⁹ Research Topics: *Airflow distortion studies - Merchant ships*
(http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/MET/ciu_merchant.pnps)

cierto que algunos oficiales hacían las apropiadas correcciones (a partir de 1 metro de variación) otros las ignoraban.

- c) *Temperatura del aire*: La exposición de los termómetros puede ser buena, suspendidos en garitas fuera de los alerones, o mala, situados en el interior de una caja de madera de castaño barnizada y encajada al lado del timón en el costado de babor. Este efecto puede llegar a producir grandes errores durante el día como se observa en la siguiente figura:

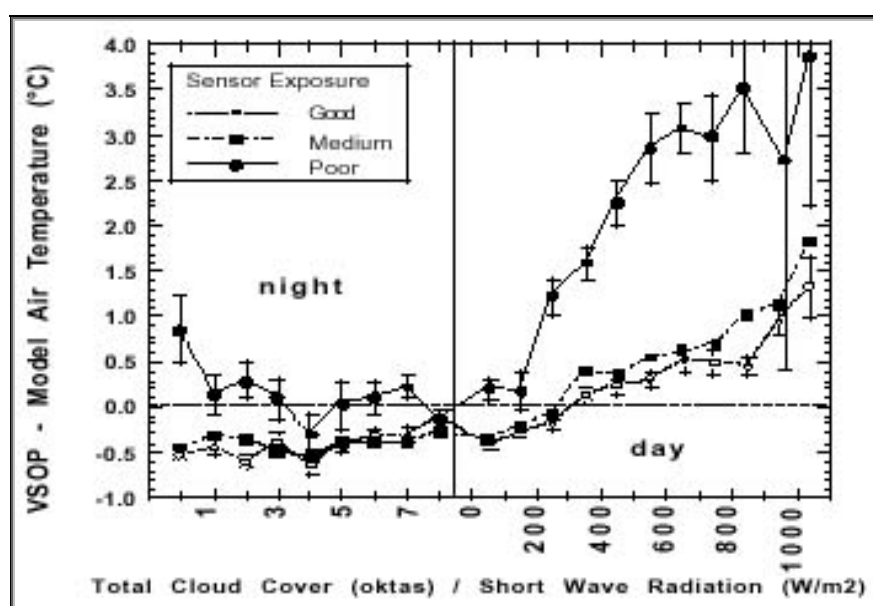


Figura 19 : Errores de temperatura. Fuente NWS.

- d) *Humedad*: Los psicrómetros mostraron alta precisión en las lecturas del punto de rocío, mejorando las lecturas de temperatura.
- e) *Temperatura de la superficie de la mar*: Utilizando los modelos de predicción atmosférica como comparación estándar se llegó a la conclusión de que los datos de los sensores de cuchara y sensores instalados en el casco (que transmiten los datos al puente por vía acústica) eran similares por la noche, mientras que los de toma de datos por máquinas eran comparativamente altos. El mejor de los tres métodos era el de adquisición de datos por sensor en contacto con el casco, seguido del método de cuchara.

3.5.3 Otros errores:

Entre los diversos errores que se pueden encontrar es importante hablar del error en la codificación de la posición. Suelen haber errores de 10° o de cuadrante. Son errores potencialmente importantes sobretodo para el caso de buques situados en áreas de datos escasos, donde la validación de los datos no puede ser confirmada con otros buques cercanos. Es importante por tanto, la correcta codificación de la posición.

3.6 La información meteorológica integrada en el centro de control

Hoy en día, la información meteorológica procedente del exterior, se recibe mientras se navega dentro de sus respectivas coberturas, por medio del NAVTEX, a través de VHF desde las estaciones costeras, mediante mensajes satelitarios y por medio de radio-facsimil en forma de partes de análisis y previsiones futuras.

Hasta hace poco tiempo, el formato de presentación de dichos datos consistía en la impresión en papel térmico o en la visualización desde una pantalla aparte al sistema de navegación. Actualmente, el formato de dichos datos es compatible para un sistema ECDIS, hecho que supone el trazado de la carta de superficie en la pantalla del ECDIS y obviamente, con la inclusión de la posición del buque en relación a las isobaras y frentes trazados. Dicha información se podría corroborar con la obtenida a bordo con los sensores meteorológicos. La inclusión de datos oceanográficos sobretodo en zonas de alta incidencia de mareas o en navegación fluvial, supondría una útil capa de información adicional.

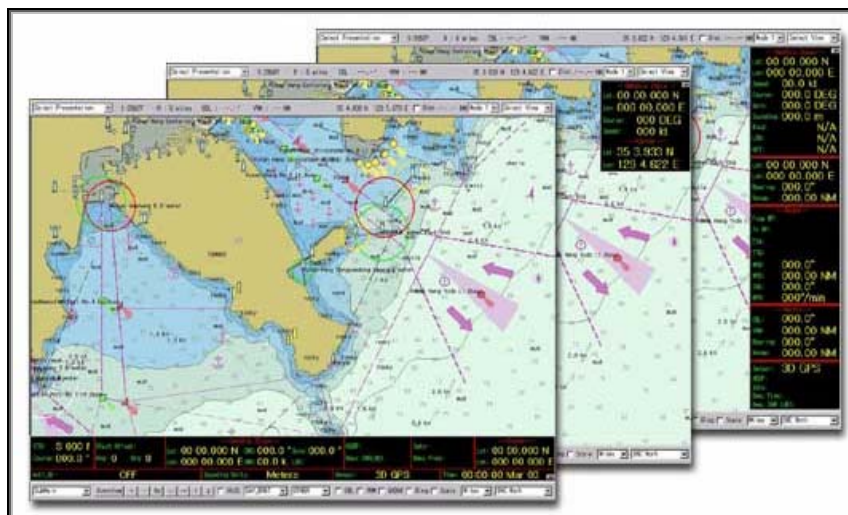


Figura 20 : Pantallas de un programa de cartografía electrónica. Fuente Transas.

Disponiendo de la información ofrecida por todos los dispositivos anteriormente citados, el siguiente paso es establecer el conjunto de datos de los mismos, para el diseño de un sistema de ayuda a la navegación, que teniendo en cuenta la coyuntura meteorológica, oceanográfica y de tráfico a la que está sometido el buque, permita la integración de la información de procedencia tanto externa como interna del buque, en una sola pantalla donde a voluntad del piloto, se gestionen las capas de información que se precisen en cada momento y en la escala seleccionada en la carta.

Hasta el momento, la información de este cariz debe obtenerse mediante tablas publicadas o por las transmisiones en radio de las autoridades portuarias, mediante simulaciones por programas informáticos y más recientemente por medio de la superposición de una capa de información de mareas dinámica sobre la base del sistema ECDIS.

En zonas críticas la capa de información de marea puede provenir del puerto más cercano afecto a las mismas, ya que a menudo estas cotas dependen de condiciones meteorológicas y oceanográficas a corto plazo.

La información meteorológica es de primera importancia para el navegante, y en este sentido la Organización Meteorológica Mundial, discutió los parámetros meteorológicos y oceanográficos que deberían ser presentados en un sistema ECDIS. Siguiendo los requerimientos básicos del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSSM) y los estándares de la OMM, debía mostrar el viento, estado de la mar, visibilidad y tiempo

significativo. Es posible que las imágenes gráficas se presenten sin variación, pudiendo en la actualidad el sistema ECDIS, producir información dinámica de viento y movimiento de frentes junto a otros datos. Se prevé una capa de información independiente para hielos.

Actualmente, la existencia de objetos flotantes a la deriva, es comunicada vía radio por parte de los buques que las avistan, pero escasamente se realiza algún tipo de seguimiento posterior. La posibilidad de aplicar modelos de predicción numérica a dichos objetos, permitiría obtener la deriva posible de los mismos en diferentes condiciones meteorológicas.

En el ámbito internacional, la Dirección General de Transporte y Energía de la Comisión Europea⁷⁰ en sus 4º y 5º Programas Marco, está cubriendo muchas de las líneas de investigación relacionadas con la industria marítima. De esta forma, proyectos como ATOMOS (I – IV), DISC (I – II) y MASIS (I – II), estudian muy directamente la Integración y el Control de buques⁷¹.

Durante los últimos años, la integración se ha consolidado como una de las tecnologías capaces de ofrecer un impacto muy positivo en la situación actual en términos de aumento de independencia, seguridad, eficacia e incluso competitividad. El diseño futuro de un sistema integrado, permitirá dar soporte a la tripulación del buque y especialmente a los oficiales del puente con relación a la navegación, comunicaciones, monitorización de los sistemas del buque y carga, respuestas de emergencia y mantenimiento.

La automatización de las observaciones ha avanzado sustancialmente hasta el uso de ordenadores personales y comunicaciones vía satélite. Los programas informáticos son específicos y facilitan entre otras cosas:

- Cálculo de la dirección del viento, presión a nivel del mar y punto de rocío.
- Verificación de datos comparando las observaciones con casos extremos.
- Almacenamiento de observaciones en código SHIP en soporte informático para su transmisión.

⁷⁰ DG TREN *Waterborne Transport Research and Development*

⁷¹ MARTÍNEZ de OSÉS, X; CORBERA, J.(2001). *Meteorological and oceanographical information system on board: the ship control center as an integrated platform for data acquisition. Ponencia. 1st International Congress on Maritime Transport. Barcelona.*

Otros sistemas de recogida automática de datos como el *Marine Data Collection Platform*, basado en un ordenador portátil, equipado con diversos sensores que miden la temperatura del aire y presión atmosférica y un transmisor que envía dicha información codificada a través de los satélites Argos.

La posibilidad de integrar los datos provenientes de los aparatos para la ayuda a la navegación, tales como el Radar o la Sonda; abren unas perspectivas mucho más amplias, ya que permitirían la conjugación de la información relativa (respecto al propio buque) en un contexto absoluto como es la carta e incluso utilizarla para acoplar áreas o anillos de alarma o guardia, permitiendo al navegante centrarse en la guardia visual y auditiva, en lugar de obtener dichos datos en bruto y traducirlos a la escala de la carta.

Si agregamos la recepción de datos exteriores como los meteorológicos proporcionados por los satélites de cobertura permanente en las zonas más usuales de navegación (entre los paralelos de 60° en cada hemisferio), o el propio estado de la mar en cuanto a temperatura, altura y período del oleaje, disponemos en un único terminal de una información traducida a una escala y contexto homogéneos que resulta de vital importancia para obtener de forma más segura y económica, la mejor derrota en un buque⁷².

Los futuros métodos de predicción numérica, generarán algoritmos más precisos de seguimiento de fenómenos meteorológicos y oceanográficos, y la integración de los datos recogidos por el buque se gestionará de una forma más rápida y segura, proporcionando una interfaz de trabajo mucho más ilustrativa e intuitiva. Las nuevas tecnologías llegan a bordo para ofrecer lo expuesto.

⁷² MARTÍNEZ de OSÉS, X; CORBERA, J. (2000). *Sistema de integración de información para la optimización de la navegación en las cartas electrónicas. Ponencia. 4ª Semana Geomática Sitges(Barcelona).*

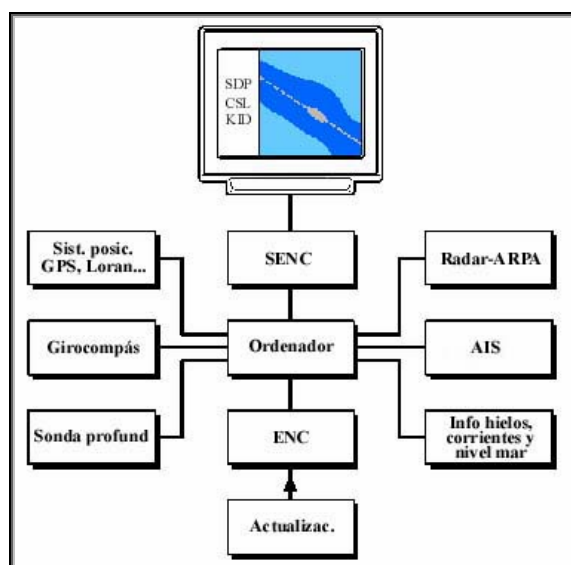


Figura 21: Esquema de los componentes de un sistema ECDIS.⁷³

La disponibilidad de un receptor de los partes de análisis y previsión de tiempo que puedan emitir los servicios meteorológicos de los países por cuyas costas navegue el buque o en alta mar, por medio de satélites, es una opción que como información bruta puede integrarse en la carta electrónica para con un conjunto de datos meteorológicos, decidir la ruta óptima a seguir por el buque evitando las zonas donde las condiciones de tiempo son más duras. Pero esta información de carácter sinóptico (por parte de satélites de observación como entre otros los SeaWifs, NOAA, Meteosat), junto a la información oceanográfica de la zona por la que se esté navegando, permitiría afinar las condiciones climáticas previstas para la zona y época del año, con los datos en tiempo real y así poder elaborar la derrota más segura y económica entre la situación actual del buque y el punto de destino.

La información oceanográfica como la existencia de corrientes de arrastre (eminentemente superficiales) que afecten a la navegación del buque o corrientes de marea, permite modificar a priori el rumbo del buque y la disponibilidad de la temperatura de la superficie marina, poder evitar zonas propensas a la formación de niebla o hielo.

La introducción de programas preparados para calcular el nivel de las aguas y dirección y sentido de las corrientes derivadas de las mareas astronómicas⁷⁴, teniendo en cuenta que el propio sistema conoce la situación del buque y el momento, es también una aportación a la

⁷³ *Electronic Navigational Charts* (http://www.caris.com/S-57/electronic_charts.html)

seguridad del buque de cara al trazado de una derrota más exacta mediante el conocimiento de las perturbaciones externas que la afectan.

Los sistemas de información meteorológica por suscripción, son los últimos avances comercializados que permiten la recepción de precisas cartas de tiempo. Las cuales ayudadas por una aplicación a bordo e introduciendo las características del buque, permiten trazar derrotas que evitan las zonas de peores condiciones meteorológicas.

3.6.1 El trazado de la derrota óptima

La aplicación de los conocimientos climatológicos relativos a los vientos y olas, predominantes y las corrientes oceánicas, junto con la información meteorológica recibida respecto de viento y oleaje existentes y previstos, ha demostrado ser de una extraordinaria utilidad con vistas a la preparación de la derrota de los barcos.

La utilización de dichas rutas, proporciona un incremento en la seguridad al buque, pasajeros y carga, pero también desde el punto de vista económico, se obtienen grandes ventajas a través de un importante ahorro en combustible, tiempo de crucero, o en ambos a la vez.

En general, cuando el tiempo es desfavorable se debe reducir la velocidad, o en el caso de que se pretenda mantener la misma, aumentar el consumo de combustible, al tiempo que se incrementan también los riesgos.

Históricamente, los métodos utilizados durante la segunda guerra mundial para llevar a cabo operaciones anfibas, fueron el principio del desarrollo de las primeras técnicas, tanto meteorológicas como oceanográficas, para establecer la *ruta óptima para el barco*.

En la actualidad, la trayectoria óptima, para un tipo de barco determinado, se establece a partir de las previsiones a largo plazo de vientos, oleaje y corrientes, debidamente matizadas sobre la base del tiempo normal.

Las derrotas pueden establecerse en función del:

- *mínimo* tiempo a emplear en el recorrido,

⁷⁴ UK Hydrographic Office.(2001). *Total Tide*. Paquete de software en un CD ROM.

- la máxima seguridad y confort,
- el mínimo consumo de combustible,
- o una combinación de varios de los objetivos mencionados.

Cuando el tiempo a emplear en el recorrido es el factor más importante, el plan trazado se denomina *trayectoria de tiempo mínimo*, la cual suele ser también favorable en relación a los otros factores.

Tanto la armada, como la mayor parte de los barcos que operan con vistas al transporte comercial, practican hoy en día, en forma rutinaria, el tipo de navegación mencionado. La *Oficina Oceanográfica de la Marina de los Estados Unidos*⁷⁵, facilitó durante un intervalo de dos años, 1.000 rutas a la mencionada MSTS, con una reducción media de 14 horas por travesía además de otras ventajas. El ahorro en tiempo que se ha producido, se cifra en términos de consumo en unos dos millones de dólares por año.

La preparación de la ruta de un barco, se puede llevar a cabo para un crucero individual, o basarse simplemente en la adecuada utilización de la información climatológica.

El primer método se basa en la capacidad y habilidad para obtener una predicción de las condiciones de viento y oleaje que cabe esperar y resulta tan preciso, como acertada sea la predicción; el segundo que utiliza condiciones medias, se basa más bien en una determinada probabilidad de que vayan a encontrarse las condiciones supuestas.

Trazado de una derrota individual

La Oficina Oceanográfica de los Estados Unidos desarrolló el siguiente procedimiento que ha venido siendo utilizado con el éxito antes mencionado. Con objeto de estimar las condiciones relativas a viento y oleaje que cabe esperar, se recurre, en primer lugar, a la serie de mapas sinópticos del tiempo, en superficie, prevista para cinco días, que publica, varias veces por semana, la Sección de Previsiones a largo plazo del Servicio Meteorológico. Otro dato básico adicional es la carta sinóptica del oleaje que se elabora a partir de información radiomarítima acerca de altura, período y dirección de avance de las olas.

⁷⁵ Departamento de Transporte de los Estados Unidos, antes Oficina Hidrográfica

Tal información se plasma, junto a las líneas que unen puntos de igual altura del oleaje, para la zona del océano de que se trata y en la que además se han representado los frentes meteorológicos, a modo de referencia.

Resulta de gran ayuda disponer del mapa de oleaje previsto, que muestra las características del oleaje que cabe esperar, a partir del mapa sinóptico en superficie correspondiente. Aunque el viento afecta también directamente a la velocidad del barco, según sean de proa, de popa o de costado, la influencia y efectos que tienen las olas son mucho mayores. Además, para establecer una estimación acerca de la situación del oleaje, es preciso introducir automáticamente un valor exacto en relación al viento.

Las conclusiones meteorológicas deben ser interpretadas en relación al tamaño y tipo del barco, puesto que estos datos afectan al comportamiento de la nave, bajo las diferentes condiciones existentes. A tal efecto se pueden utilizar las curvas de comportamiento del buque, que fueron deducidas por A. W. James y a partir de ellas puede determinarse la reducción en velocidad experimentada por distintos tipos de barcos y para mar de proa, de popa o de costado.

Todos estos métodos, con las consiguientes modificaciones diarias, se usan para la preparación de derrotas, dibujadas alrededor de ambos lados de la correspondiente a la ruta de navegación más corta o ruta de círculo máximo (derrota ortodrómica). Dicho método será modificado, a medida que se vaya obteniendo una información más actualizada de las condiciones meteorológicas.

Derrotas climatológicas

A falta de una ruta individual, puede sacarse partido de la utilización de trayectorias o rutas elaboradas sobre la base de las condiciones climatológicas medias existentes en la mar y, particularmente, del oleaje. Actualmente parece estar claramente establecido el hecho de que la reducción de velocidad a que se verá obligado un barco, en virtud de la mar que encuentre, será más frecuente y de mayor duración cuando navegue por las rutas normales del círculo máximo que cuando lo haga según rutas justificadas por razones climáticas. Un estudio llevado a cabo por Hocombe, MacDougall y Perloth,⁷⁶ a partir de un gran número de cuadernos de bitácora y datos climáticos, demostró que en el Océano Atlántico la ruta del

círculo máximo resulta ser la más rápida, sólo el 13% de las veces para barcos en ruta hacia el este y sólo el 2% de los casos para barcos en ruta hacia el oeste.

En el documento publicado por la Oficina Naval de Oceanografía, de los Estados Unidos, informe TR-148, *Wave Climatology as an Aid to Ship Routing in the North Atlantic Ocean* (E.J. Joseph y J.M. Kipper, Jr.), pueden encontrarse mapas para todos los meses del año.

Por lo general, los vientos intensos son bastante más característicos de las latitudes medias superiores, en ambos hemisferios, que de las bajas latitudes, si exceptuamos los ciclones tropicales. Además, en latitudes elevadas, la frecuencia de temporales es mucho mayor, durante la parte fría del año y en la zona occidental de los océanos mayor también que en la oriental.

En las series *Climatological and Oceanographic Atlas for Mariners*, publicada por el National Weather Service, pueden encontrarse datos mensuales, más detallados, en relación a la frecuencia con que se registran temporales, sobre todos los océanos del globo.

Análisis del efecto del tiempo sobre una travesía

Si se lleva a cabo un cuidadoso estudio en el que se correlacionen las observaciones de viento y oleaje, meticulosamente registradas en el cuaderno de bitácora, con el correspondiente registro de la distancia realmente avanzada hacia el destino, frente al número real de millas recorrido, deducido del número de revoluciones de la hélice; puede obtenerse una idea muy clara acerca de la forma en que el tiempo encontrado en ruta, afecta al viaje realizado por un determinado barco.

Un ejemplo de un análisis de este tipo fue llevado a cabo en 1945 por L. Allen de la Oficina de Investigación de la Marina,⁷⁷ partiendo del análisis de los registros del capitán del buque *USS Beckham*, a lo largo de un crucero desde San Pedro hasta Samar.

Evidentemente, cualquier ruta individual o climáticamente elegida, capaz de suministrar al barco esa ventaja en su navegación, contribuiría a una mayor eficacia y economía de su derrota. De acuerdo con un informe de dicho Servicio Meteorológico, la preparación de las

⁷⁶ Oficina Oceanográfica de la Armada de los Estados Unidos.

⁷⁷ Armada de los Estados Unidos.

rutas, en base a los datos meteorológicos, da lugar a un aumento entre el 6 y 12% de la eficiencia, de acuerdo con el ahorro de combustible conseguido.

En 1952 aparece una empresa que bajo el nombre de Análisis Meteorológico del Pacífico comenzó a prestar un tipo de servicio que posteriormente fue llamado servicio de información de “derrotas meteorológicas”. Esta empresa fue fundada a partir de la necesidad de un grupo de compañías armadoras que operaban en la costa Este de los EE.UU.

Estas compañías armadoras deseaban en primera instancia reducir los daños a sus buques y pérdidas causadas por el mal tiempo que con frecuencia se producía en la costa del Pacífico Norte en invierno. Posteriormente las prioridades cambiaron debido a la crisis del petróleo desatada en 1973 que produjo un gran aumento en el precio de los combustibles que se traducían directamente en un aumento en los costes de explotación de los buques, por lo que las demandas se enfocaron primordialmente a reducir los gastos.

3.7 Conclusiones parciales

Las conclusiones obtenidas en el capítulo anterior además de las de este, forman parte de la visión general y perspectivas que propongo a mi juicio, en cuanto a las fuentes de información, sistemas de obtención y transmisión de las variables de información meteorológica que pueden interesar al marino en el momento de trazar una derrota desde el punto de vista de la seguridad, y de la eficiencia de la navegación. Las investigaciones realizadas ponen de manifiesto algunas deficiencias e incongruencias en la utilización de los datos, que a modo de conclusiones parciales se resumen a continuación:

- Falta de observaciones sobre la mar. La dificultad estriba en poder mantener estaciones oceánicas fijas, formando una red lo suficientemente amplia para facilitar datos que sirvan a los modelos numéricos como base de partida de sus cálculos. De hecho, y desde el punto de vista del marino, con unos mínimos conocimientos del tiempo, se puede llegar a hacer una previsión local a corto plazo, del tiempo mediante la observación del cielo, el viento, la presión y el conocimiento meteorológico del marino; se puede hacer un esbozo inicial válido, para llegar a una previsión de la tendencia unas horas por delante.

- La posibilidad de instalar boyas o sensores en zonas próximas a la costa, es una solución factible y efectiva dada la experiencia obtenida por servicios meteorológicos como el *Servei Meteorològic de Catalunya*, las cuales proporcionan una información local que permite corregir la información sinóptica para usuarios como buques deportivos, veleros o embarcaciones de alta velocidad. Pero sabiendo de las limitaciones que supone el tener una estación o boya de adquisición de datos en sondas donde el fondeo plantea dificultades que lo convierten en una opción descartable. Desde esta Tesis, planteo la solución de establecer boyas de adquisición de datos que deberían de mantenerse situadas en su posición mediante sistemas de posicionamiento dinámico como los usados en los buques cableros o los de prospección petrolífera, solución que se alimentaría de la información proporcionada por el sistema GPS, la energía se obtendría a partir de paneles fotovoltaicos y la transmisión de datos, se realizaría mediante sistemas satelitales.
- Falta de fiabilidad en las observaciones. Es una consecuencia directa de la limitación del número de observaciones sobre las áreas oceánicas, surgen errores o desviaciones en las primeras iteraciones que los modelos numéricos utilizados para calcular el comportamiento del aire, y siendo la atmósfera un sistema caótico, los pequeños errores o carencias al principio de un proceso, pueden conducir a predicciones muy diferentes de la realidad.
- Existen claras limitaciones en el momento de recibir información ya procesada a bordo. Si utilizamos los sistemas tradicionales basados en la transmisión desde estaciones terrenas tienen problemas y limitaciones de alcance. Si nos servimos de la infraestructura de satélites el problema puede ser legal y económico, ya que los costes son elevados y algunos sistemas de transmisión por satélite no son reconocidos por la OMI.
- Un sistema avanzado de información, debe garantizar una cobertura global y la comunicación on-line en todo momento. Por ejemplo, la falta de datos actualizados de temperatura de la mar y temperatura de punto de rocío, puede significar encontrar nieblas súbitamente.
- Los actuales modelos de predicción, utilizados por las organizaciones generan campos de viento que difieren mucho unos de otros, especialmente en áreas de datos escasos. La utilización de satélites para compensar este efecto, garantiza una cobertura global razonable

pero se deben de continuar los esfuerzos para mejorar la calidad de los datos obtenidos y en concreto la dirección y fuerza del viento.

- Para la optimización de la toma de datos de presión, se podría plantear:
 - Corrección por la posición del barómetro respecto al nivel de la mar: Entrando el valor del calado en la estación meteorológica, y estando programada en la estación los valores del francobordo de verano más la altura del alerón del puente; la altura total del barómetro al nivel de la mar, nos la calculará el programa que además nos proporcionará la reducción a aplicar. De modo que.

$$\textit{Altura del alerón s/ cubierta francobordo} + \textit{francobordo actual} = \textit{altura total}$$

Conversión altura en hPa, 10 metros/ 1 hPa.

- Corrección por temperatura, en el caso de los barómetros de mercurio, se programa la tabla de conversión de las diferentes temperaturas, con la de dilatación del mercurio y de la escala metálica. Estos valores deberán introducirse para cada barómetro.
- Comparación gráfica con la curva de marea barométrica diaria, de la evolución de la presión a lo largo del presente día. Lo cual nos lleva a la deducción de las variaciones que sobre una curva estadística, obtenida a partir de los valores registrados durante diferentes viajes por una misma zona, nos permitiría obtener la próxima aparición de una baja. Comparativa de lo anterior con la tendencia y característica barométrica, a lo largo del día.
- Seguimiento y registro en la estación de trabajo, de la evolución de los centros de bajas presiones que se forman en la cuenca oceánica por la que navega el buque, lo que permitiría justificar los cambios en los valores de presión detectados anteriormente y además superpuesto a la derrota del buque, nos permitiría situar relativamente dichos centros con la situación del propio barco.
- La falta de aparatos termosalinógrafos con una alta capacidad operacional, junto a sensores eficaces para la medida de la salinidad y temperatura, puede limitar la capacidad para

detectar la circulación de corrientes marinas. De hecho, podemos aseverar que desde un punto de vista de la industria del transporte marítimo, la no garantía de la cobertura global de los datos oceanográficos, y en concreto la falta de mediciones de salinidad puede tolerarse, pero la falta de mediciones de temperatura tanto en superficie como en diferentes sondas, entraña una mayor gravedad desde el punto de vista de la seguridad de la navegación como dato original para calcular la posibilidad de nieblas (seguridad), como desde el punto de vista de prospecciones de pesca.

- El proceso de optimización del cálculo de una derrota, debe de plantearse, mediante un proceso iterativo de contraste de la información meteorológica recibida y la exposición que pueda sufrir el buque a las condiciones previstas. En un sencillo proceso de combinación de los valores y parámetros disponibles y mediante sucesivas iteraciones, podremos llegar a obtener la derrota que maximice o minimice el parámetro elegido.

4 EL CONTEXTO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE TRABAJO DE PLANIFICACIÓN DE DERROTAS, EN CENTRO DE CONTROL DEL BUQUE

4.1 Introducción

La automatización a bordo de los buques mercantes, sufrió en las últimas décadas un estancamiento, que sólo desde hace unos pocos años ha cambiado esta tendencia, en aras de una asimilación progresiva de la técnica que actualmente se oferta en los mercados. Los principales puntales de esta reconversión son como en tierra, el crecimiento de las capacidades de la informática y las telecomunicaciones; posibilitando de esta manera una integración tanto técnica como funcional, de la operativa^{78,79} del buque.

En el área de los centros de control a bordo, que abarca tanto al puente de gobierno del buque, como las funciones que en él se realizan, tanto por parte del usuario como por parte de la tecnología utilizada en los mismos; desde mediados de los años noventa, se ha podido percibir un florecimiento en los puentes integrados que incorporan sistemas integrados de navegación.

Desde que la IMO, establece unos estándares relativos a los mismos, los diferentes fabricantes y constructores de dichos sistemas, han ido convergiendo hacia definiciones y conceptos similares. En este sentido, la definición IBS, *Integrated Bridge System*, corresponde a un puente integrado que contiene un sistema INS, *Integrated Navigation System*. De la misma manera, un sistema INS viene definido por la incorporación de la automatización de las funciones del buque, como las de planificación, almacenamiento en memoria, seguimiento y ejecución automática de la derrota. Los requisitos aplicables al equipamiento habitualmente

⁷⁸ TROUSSE, A. *The future automated ship. The role of Classification Societies*. Bureau Veritas, Paris.

⁷⁹ WENTZELL, H.F. (1996), *Design philosophy and criteria for integrated bridges*. Ponencia . Integrated Bridge System Conference, Londres.

vienen definidos por las normas de las sociedades de clasificación; mediante requisitos adicionales de disposición física del centro de control y determinación de los campos visuales mínimos, para realizar por parte del usuario⁸⁰, una vigilancia exterior eficaz.

El futuro en el diseño de los centros de control, se perfila estrechamente ligado a la disponibilidad y utilidad de toda información adicional que se pueda recibir en el puente, de manera automatizada. El puente por tanto, albergará disciplinas dispares tales como cartografía electrónica, sistemas de identificación automática, sistemas registradores de datos de la travesía, sistemas de transferencia de datos a alta velocidad, recepción de datos meteorológicos para planificar la derrota e Internet. La integración funcional de todas estas operaciones así como la gestión de los elementos de seguridad operativa en forma de pantallas diseñadas, respetando los principios de utilidad e interacción entre el usuario y el centro de control, irá relegando todo el material en forma de publicaciones náuticas en papel y la diseminación de equipos por el puente de gobierno; en aras de sistemas de ayuda a la navegación, toma de decisiones y finalmente la segura operativa del buque⁸¹.

A continuación se realiza un proceso de análisis del contexto de un centro de control de un buque, diseñado bajo los últimos estándares normativos y considerando el punto de vista funcional y ergonómico. Dicho análisis nos servirá para centrar el escenario bajo el cual se establecerán los criterios de definición de un sistema integrado de información meteorológica y oceanográfica.

4.2 Breve repaso a la evolución del puente de gobierno y situación actual

El puente de gobierno es el centro de control del buque. Siendo desde tiempos pretéritos, uno de los espacios más importantes a bordo. Físicamente, su localización ha variado con el tiempo e incluso hoy día según la tipología del buque, pero siempre cumpliendo su función como lugar de vigilancia e invariablemente unido al gobierno. De forma que desde el mismo permita tener el mayor campo visual tanto de la mar como del propio barco además de dominar la derrota efectuada. Inicialmente concebido como una simple caseta de gobierno

⁸⁰ WENTZEL, H.F. (1999), *Modern Bridge design: State of the art and future chances*. Estudio elaborado por SAM Electronics; TROUSSE, A. *The future automated ship. The role of the Classification Societies*. Bureau Veritas, Paris; GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical safety class*. Det Norske veritas, Oslo.

⁸¹ WENTZEL, H.F. (1999). *Modern bridge design: State of the art and future chances*. Estudio elaborado por SAM Electronics.

donde se ubicaba una rueda de timón y el compás; ha evolucionado en un centro de control de alta tecnología al servicio de una tripulación altamente cualificada.

Si dejamos a un lado los capítulos relativos a la navegación a vela y los principios de la aplicación de la máquina de vapor; se pueden distinguir tres épocas que se diferencian entre sí por los progresos realizados en el sector a lo largo del pasado siglo XX; atendiendo a las funciones realizadas por el equipo del puente.

Dichas épocas, citadas cronológicamente se resumen a:

- 1900-1950: Donde los avances tecnológicos se resumen en la existencia en el puente de Giroscópica, piloto automático, sonda, corredera, radiogoniómetro, radioteléfono y teléfono interior.
- 1950-1975: Cuando ya encontramos en el puente el Radar, el ARPA, la comunicación por satélite INMARSAT y los sistemas de radio-posicionamiento LORAN, DECCA y OMEGA o el satélite Transit.
- 1975-2000: Cuando la instalación del GMDSS; GPS, ECDIS y en definitiva el INS y el control automático del buque, nos permiten hablar de *Integrated Bridge System*.

Realmente sólo en el último cuarto del siglo XX, ha aparecido la tecnología aplicada a sistemas (microprocesadores, ordenadores, PES y redes locales)⁸².

Otra clasificación respecto a la evolución, determinada por la anterior, es la distribución física y ergonómica del espacio dedicado al centro de control. Dicha evolución, está relacionada a las tareas y operaciones requeridas a los usuarios, para mantener una adecuada vigilancia visual y auditiva del exterior, así como a la interacción del usuario con la información proporcionada por los equipos del puente.

Hasta la década de los años sesenta, la configuración del puente estaba compuesta por equipos individuales que se habían ido añadiendo quizás con posterioridad a la entrega del buque, dispersados por el espacio físico e incluso limitando la visión al exterior junto a un cuarto de derrota y otro espacio para la telegrafía. A partir de la década de los setenta, los constructores (astilleros) empiezan a agrupar los equipos de control del buque en una consola central de maniobra e incluso a adaptar la misma a los nuevos diseños de radar, emergentes de la época.

⁸² WENTZELL,H.F. (1999). *Modern bridge design: State of the art and future chances*. Estudio elaborado por SAM Electronics.

El citado diseño de los radares, marca un punto de inflexión en la normativa de diseño de la configuración del puente, porque la aparición de pantallas que ya no precisaban de protección de la luz exterior, y susceptibles de ser operados, tanto estando de pie como sentado, fue el germen para que diez años después, ISO publicara su primer estándar relativo a la distribución física y equipo asociado al puente de gobierno⁸³.

Un paso posterior, es el concepto de un Oficial de guardia solo en el puente de gobierno, durante los períodos de oscuridad. Para cumplir con los requisitos establecidos por la OMI⁸⁴ al respecto, las sociedades de clasificación han elaborado estándares acordes. Resultando en estándares específicos de clasificación, para el cumplimiento de los puentes de gobierno integrados, además de los sistemas de navegación integrados⁸⁵.

A pesar de que la IMO no aprobó la operación del centro de control por un único Oficial de guardia en períodos de oscuridad, los fabricantes de puentes de gobierno y equipamiento anexo; continuaron desarrollando sistemas capaces de garantizar unos mínimos de seguridad en condiciones como la citada⁸⁶.

4.3 Definición y delimitación del concepto de sistema SCC⁸⁷

El concepto de SCC, engloba desde el personal que opera el buque desde el puente, pasando obviamente por los sistemas técnicos que lo componen y la interacción del usuario con el propio sistema hasta los procedimientos y rutinas a seguir durante su gestión.

De forma que, distinguiremos las siguientes componentes configuradores del sistema SCC^{88,89}:

⁸³ ISO publica en 1990 el estándar *Ship's bridge layout and associated equipment; Requirements and guidelines*.

⁸⁴ Requisitos contemplados por la norma IMO MSC/Circ.566 *Provisional guidelines on the conduct of trials in which the officer of the navigational watch acts as the sole look-out in periods of darkness*.

⁸⁵ Este último caso, la notación LR-IBS de Lloyd's Register of Shipping, DNV-W1 de Det Norske Veritas y GL-NAV/OC de Germanischer Lloyd, principalmente.

⁸⁶ DET NORSKE VERITAS. *One Man Bridge Operations in Ocean Areas and Coastal Waters*. DNV, Noruega.

⁸⁷ Ship Control Centre.

⁸⁸ GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

⁸⁹ DET NORSKE VERITAS. (1991). *Rules for Classification of Ships: Nautical Safety*. Det Norske Veritas, Noruega.

- a. **Tecnificación.** Sistema técnico como centro e elaboración, deducción y presentación de la información necesaria para la segura operación del sistema SCC y el control del rumbo y velocidad, del buque.
- b. **Factor humano.** Es el usuario responsable de evaluar la información disponible suministrada por su propia percepción y el sistema técnico del que dispone, de decidir las acciones a tomar y finalmente ejecutar las decisiones sobre el mencionado sistema técnico o sobre otras personas.
- c. **Interacción usuario-sistema SCC.** La consideración del diseño del sistema técnico y su adaptación a las necesidades del usuario gestor del sistema SCC.
- d. **Tareas y procedimientos.** Ejecución correcta de las tareas realizadas bajo distintos marcos e operatividad del sistema SCC.

En todo estudio, que incida en la seguridad y eficiencia de las operaciones del sistema SCC, se propone seguir una metodología que tenga presente la ejecución y fiabilidad, tanto de la parte humana como de la técnica⁹⁰.

4.3.1 Principios funcionales básicos, en el diseño de sistemas SCC

Bajo el criterio estricto de la seguridad, se considera más satisfactorio, un solo usuario, operando el sistema SCC, que el caso de varias personas controlando el mismo proceso. De forma que las tendencias actuales de diseño, apuntan a la operativa por parte de un solo usuario en condiciones normales, pero que permite la presencia de una segunda persona en casos de emergencia, redundancia o para fines formativos⁹¹.

Un punto crítico en el diseño físico del puente de gobierno, es el campo visual disponible desde la estación de trabajo; mediatizando toda la configuración y disposición interior del mismo para obtener el máximo campo visual posible. Este punto está estrechamente ligado al usuario que debe de operar el puente.

⁹⁰ GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

⁹¹ DET NORSKE VERITAS. *One Man Bridge Operations in Ocean Areas and Coastal Waters*. DNV, Noruega.

El concepto de estación de trabajo es otro de los puntales en la consideración del diseño del sistema SCC. Gracias al principio de la estación de trabajo, el Oficial de guardia solo en el puente, puede obtener toda la información interna y externa al sistema y ejecutar las acciones necesarias desde un único punto situado de una forma óptima, para cumplir con los requisitos de máxima visibilidad.

El diseño de un sistema SCC, debe de estar apoyado desde el principio en un análisis funcional del equipo que opera el sistema. Siendo las principales funciones que se realizan en un puente de un buque tipo en una operativa normal, las siguientes⁹²:

- a. Funciones primarias:
 - a. Navegación, vigilancia y reconocimiento del tráfico exterior, y maniobra
 - b. Estado interior del buque
 - c. Comunicaciones internas y externas (relativas a la seguridad)

- b. Funciones secundarias:
 - a. Comunicaciones generales
 - b. Planificación y seguimiento, del sistema de carga
 - c. Control y seguimiento, del sistema de propulsión.
 - d. Control y supervisión, de los sistemas de maquinaria principal y auxiliar
 - e. Control y supervisión, de los sistemas de seguridad⁹³

Todas estas funciones, deben de estar integradas en las respectivas estaciones de trabajo dentro del SCC, pudiendo operar las funciones consideradas como secundarias mientras el buque navega o maniobra; pero sin interferir el normal funcionamiento de las funciones primarias⁹⁴.

Dado que, como regla general obtenida del estado actual de la cuestión; la operación del sistema SCC debe de poder ser gestionada de una manera segura y eficiente por una sola persona; las funciones de navegación, vigilancia y reconocimiento del tráfico exterior, maniobra y comunicaciones; deben de integrarse en una sola estación de trabajo, diseñada a propósito para este cometido. No obstante, es fundamental que dados los diferentes tráficos

⁹² GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

⁹³ COSTA, J. (2000). *Determinación de criterios y metodología para la validación integral del puente de gobierno*. Los sistemas de seguridad, están integrados por el sistema detector de incendios, el sistema de lucha contra incendios, paradas y cierres de ventilación, cierres de divisiones estancas, control del pasaje, inter alia.

⁹⁴ GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

por los que pueda operar el buque y para el control de situaciones de emergencia, o incluso para propósitos formativos; que el sistema de SCC pueda seguir y controlar todas las funciones, desde dos puntos distintos.

La conclusión anterior, se traduce en que las funciones designadas como primarias, deben de ser integradas en dos estaciones de trabajo, una para navegación y otra para vigilancia y reconocimiento del tráfico exterior. En aras de evitar duplicidad de instrumentos y controles, siempre que no sea necesario, pero que a la vez permita la cooperación recíproca entre dos usuarios, el diseño actualmente aceptado es la disposición en V⁹⁵.

Desde las dos estaciones de trabajo citadas, los usuarios deben de poder efectuar las siguientes operaciones⁹⁶:

- a. Determinar y fijar, la situación del buque, rumbo y velocidad.
- b. Analizar la situación del tráfico circundante.
- c. Decidir la maniobra adecuada, para evitar colisiones
- d. Cambio de rumbo y velocidad
- e. Efectuar comunicaciones internas y externas, relacionadas con la seguridad de la navegación y maniobra.
- f. Monitorizar la hora, derrota efectuada, rumbo y el estado interior del buque.

Estas tareas citadas, deben de poderse efectuar con sencillez, accesibilidad y que las pantallas empleadas para ello, sean de fácil lectura. Debiendo entonces la disposición de las estaciones de trabajo, poder asegurar que toda la instrumentación cumple lo anterior.

El estudio actual de la cuestión, permite identificar unos principios básicos que aseguran el cumplimiento de todos los factores de relevancia⁹⁷:

⁹⁵ ALDRIDGE, A.J. et altri. (1997). *A user-centred evaluation for integrated bridge systems*. Safety at sea international, nº.337.

⁹⁶ GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

- a. Análisis y valoración, de las funciones a realizar en el sistema SCC.
- b. Alto grado de automatización de todas las funciones relacionadas con el sistema SCC, así como de las relativas a supervisión y control, de la máquina.
- c. Alto grado de integración de todos los sensores y subsistemas para seguimiento, soporte a la toma e decisiones y control automático de procesos.
- d. Concepto de integración en las estaciones de trabajo destinadas a gobierno, navegación, maniobra y comunicaciones, y supervisión y control de máquinas, sistemas auxiliares y sistemas de seguridad.
- e. Diseño primando la ergonomía y diseño centrado en el usuario, con un énfasis especial en la interacción del usuario con el sistema. Uso de los conceptos de ergonomía e interacción, estandarizados.
- f. Gestión eficiente y formación, por parte de los usuarios mediante un sistema de procedimiento estudiado y configurado para el sistema en cuestión.

La componente humana en el diseño de los sistemas SCC, es obvia; y aunque parece unánime la importancia dada al factor humano en relación a la seguridad, no parece tan clara la incorporación de los efectos de dichos factores en el diseño, construcción, operativa y legislación, relativos al buque. Una posible forma de incidir en estas actitudes, sería la adopción de una legislación adecuada y quizás facilitando más información⁹⁸. Dicha idea, se refleja en la influencia del factor humano en deficiencias menores, fallos, errores o incidentes si trascendencia que posteriormente puedan derivar en un accidente real⁹⁹.

Unas normas, que garantizaran el equilibrio entre todos los elementos, facilitaría el diseño, construcción y operación de sistemas SCC que contemplen el error humano, durante la vida

⁹⁷ ATOMOS II, los principios expuestos, son un resumen de los fijados en este proyecto y también por parte de las diferentes Sociedades de Clasificación como Lloyd's Register of Shipping, Germanischer Lloyd's, Bureau Veritas, Det Norske Veritas, etc. Dichas normas, deben de valorarse en la fase de diseño y construcción del sistema SCC.

⁹⁸ Opinión del Profesor C.KUO de la Universidad de Strathclyde, participante en el proyecto REWORD (*Research for Enhancement of Working Conditions Aboard Ships*), proyecto de investigación financiado por la Dirección General VII – Waterborne Transport, de la Comisión Europea.

útil del buque; haciéndolo simple, robusto, duradero y efectivo. Dichas reglas serían fruto de la combinación de los siguientes factores¹⁰⁰:

- a. *Comportamiento*. Depende de la competencia, formación, experiencia, trabajo, estrés, actitud ante la profesión, salud, prejuicios, *inter alia*.
- b. *Medio*. Función del tiempo, hora, congestión del tráfico marítimo, interacciones físicas y personales, diseño del sistema SCC e interacción del usuario del sistema SCC, entre otros.
- c. *Gestión*. Función de la organización, jerarquías, niveles a bordo¹⁰¹, línea de comunicación a bordo y en tierra.
- d. *Tecnología*. Función del diseño, construcción, integración del sistema, automatización y simulación.

Resumiendo y teniendo en cuenta lo previamente citado, las principales características humanas, operativas y técnicas a tener en cuenta en la configuración del sistema SCC son¹⁰²:

- a. La integración de los sistemas de navegación
- b. Los tipos indicadores, usados para dar la información
- c. El volumen de información recibido
- d. El número de horas de trabajo a bordo
- e. El nivel de formación de la tripulación
- f. Conocimiento y uso de herramientas basadas en el estudio de riesgos.

⁹⁹ CARBAJOSA, J.; LARRAURI, F. (1999). *¿Estamos preparados para la nueva generación de buques?*. Revista del Instituto de Navegación de España. Tercer Cuatrimestre, No.7.

¹⁰⁰ Según los principios fijados por el plan estratégico para la reducción de accidentes debidos al factor humano del USCG denominado *Prevent Through People*.

¹⁰¹ RODRÍGUEZ-MARTOS DAUER,R. (1996). *El buque mercante. Un análisis sociológico*. Edicions UPC. Barcelona

¹⁰² Listado extraído de la 14ª Conferencia Internacional sobre Fast Feries (citado por CARBAJOSA, J.; LARRAURI, F. (1999). *¿Estamos preparados para la nueva generación de buques?*. Revista del Instituto de Navegación de España. Tercer Cuatrimestre, No.7.)

4.3.2 Características del sistema SCC

Desde el punto de vista de la seguridad, es lógico que un sistema SCC, se diseñe teniendo en cuenta los escenarios más extremos; siendo estos la operativa del puente de gobierno por parte de una sola persona durante la noche. Y aunque la IMO desestimara finalmente esta opción, el diseño de los sistemas SCC trata de solventar la presencia de una sola persona de guardia de noche¹⁰³.

Para ser operado por una sola persona de guardia, el puente de gobierno debe de cumplir los siguientes requisitos¹⁰⁴:

- a. Disposición y ergonomía del puente.
- b. Acceso centralizado de toda la información.
- c. Automatización y funciones a prueba de fallos.
- d. Redundancia del equipo relacionado con la seguridad.

La estrecha relación entre el nivel tecnológico del sistema SCC y el concepto OMBO, dado que entre el 70-90% de los accidentes marítimos están relacionados con el factor humano; es coherente pensar que si se reducen parte de las intervenciones humanas en las operaciones del buque, pueda reducirse el riesgo asociado^{105, 106}.

4.4 Sistemas de puente integrado

La definición de puente integrado, difiere según la bibliografía consultada, pero quizás una de las mejores definiciones la aporta la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC, estipulando que es un sistema resultado de la combinación de componentes individuales integrados, a fin de permitir un acceso centralizado de la información suministrada por cada sensor, y que puede ser manejado desde una estación de trabajo. De acuerdo con esta definición, todo sistema integrado debe de ser capaz de realizar dos o más de la siguientes operaciones:

¹⁰³ DET NORSKE VERITAS. *One Man Bridge Operations in Ocean Areas and Coastal Waters*. DNV, Noruega.

¹⁰⁴ WENTZELL, H.F. (1999). *Modern bridge design: State of the art and future chances*. Estudio elaborado por SAM Electronics.

¹⁰⁵ DOUNG, C. (1994). *Crew competence, a key factor in safety at sea*. Boletín técnico de Bureau Veritas, N° 23.

¹⁰⁶ DET NORSKE VERITAS. *One Man Bridge Operations in Ocean Areas and Coastal Waters*. DNV, Noruega.

- a. Navegación
- b. Comunicaciones
- c. Control e la máquina principal
- d. Control de la operativa de carga y descarga
- e. Seguridad
- f. Gestión administrativa

Al puente integrado, afluyen señales digitales y analógicas, desde los sensores instalados en el buque, utilizándolos para calcular otros parámetros, mostrando la información resultante en pantallas dispuestas en una única estación de trabajo dedicada al control total del buque¹⁰⁷.

La gran aportación de estos sistemas, es la afluencia de toda la información centralizada, permitiendo al usuario una navegación más segura, debida la menor carga de trabajo resultante. Dichos sistemas de puente integrado, constituyen por tanto, la base de las especificaciones relativas al concepto OMBO, un solo hombre de guardia en el puente de gobierno; dada la actual consideración de factor más importante para la mejora de la seguridad y eficiencia, en la operativa del buque¹⁰⁸.

Esta justificación anterior, es fácil de entender porque un sistema que esté diseñado para ser utilizado por una sola persona a bordo, en general dispone de un nivel técnico superior que no otro puente operado en la metodología tradicional; aunque el concepto de puente integrado no suponga necesariamente una reducción de la tripulación; sí en cambio permite una organización diferente de la misma¹⁰⁹.

En términos operativos, el puente de gobierno integrado, se diseña para ser un sistema fiable pero también fácil de manejar, atendiendo a los siguientes factores¹¹⁰:

- a. Redundancia total, en caso de fallo del sistema.
- b. Centralización de toda la información necesaria para la navegación y alarmas.

¹⁰⁷ ALDRIDGE, A.J. et altri. (1997). *A user-centred evaluation for integrated bridge systems*. Safety at sea international, nº.337. y GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

¹⁰⁸ DET NORSKE VERITAS. *One Man Bridge Operations in Ocean Areas and Coastal Waters*. DNV, Noruega.

¹⁰⁹ GUNDERSRUD, O. (1997). *DNV Nautical Safety Class*. Estudio realizado por Det Norske Veritas, Noruega.

¹¹⁰ WENTZELL, H. (1996). *Design philosophy and criteria for integrated bridges*. Ponencia. Integrated Bridge System Conference, Londres.

- c. Uso de conexiones estandarizadas entre los diferentes equipos.
- d. Indicación del estado y validez, de la información suministrada.
- e. Formación para los usuarios del sistema.

El puente integrado, constituye en sí mismo, una convergencia funcional que deriva en una simplificación de las operaciones y un aumento de seguridad en conjunto, dada la eliminación de factores de determinados riesgos. Aunque por otra parte, el concepto en sí conlleva un nuevo factor, no contemplado anteriormente.

Frente al armador, los sistemas de puente integrado suponen una mayor rentabilidad de los recursos existentes, mediante una mejora de la eficiencia operativa y una reducción de los niveles de riesgo asociados a accidentes, por el aumento de seguridad que supone. En general, y dependiendo de la mentalidad del armador, éste está dispuesto a invertir en buques más seguros, al ser consciente del precio de los accidentes, sobretodo en materia de polución¹¹¹.

El concepto de puente integrado, no sólo engloba la interconexión de los equipos y sistemas para disponer de toda la información centralizada en una estación de trabajo; sino que además se refiere a la localización del equipo, distribución física, la accesibilidad de un usuario a las pantallas y mandos. De modo que en términos operativos, trata de consolidar y concentrar todas las funciones importantes existentes en el puente de gobierno en una estación de trabajo, para poder tener fácil acceso y poder efectuar una operación segura del sistema en su conjunto.

Esta definición anterior no sólo considera las funciones básicas de navegación, sino todas aquellas relacionadas con las principales actividades realizadas a bordo. Es decir, se trata de una integración funcional del equipo, desde el punto de vista ergonómico, basado en los siguientes principios¹¹²:

- a. Selección de las fuentes de información relativas a tareas específicas para su presentación en pantalla, a través del menor número posible de consolas multifunción con sus niveles de redundancia.

¹¹¹ WENTZELL, H. (1996). *Design philosophy and criteria for integrated bridges*. Ponencia. Integrated Bridge System Conference, Londres.

¹¹² WENTZELL, H. (1996). *Design philosophy and criteria for integrated bridges*. Ponencia. Integrated Bridge System Conference, Londres.

- b. Reducción de la información presentada en pantalla al mínimo necesario, con la opción de acceso a datos específicos a petición.
- c. Reducción de la distancia física entre unidades que efectúan tareas similares.

Dichos principios, se traducirían en los siguientes criterios:

- a. Reducción del número de consolas
- b. Reducción del coste de instalación y cableado
- c. Reducción del tiempo de diseño
- d. Reducción de interconexiones eléctricas
- e. Reducción en la discusión del criterio de construcción del puente de gobierno entre astillero, armador y fabricante del sistema SCC.

De hecho, el mercado comercial sigue de alguna manera estos criterios, porque es más barato desarrollar un puente de gobierno integrado suministrado por un solo fabricante, que no diseñar un puente y equiparlo con aparatos convencionales de distintos proveedores¹¹³.

4.4.1 Factores aplicables a las estaciones de trabajo de un puente integrado

Un análisis sobre las funcionalidades de las estaciones de trabajo, puede contemplar la siguiente subdivisión:

1. Estudio de los principios generales
2. Estudio de los principios funcionales

1. Estudio de los principios generales

En el diseño de la disposición de los instrumentos en las consolas, se van a tener en cuenta las siguientes consideraciones:¹¹⁴

¹¹³ WENTZELL, H. (1996). *Design philosophy and criteria for integrated bridges*. Ponencia. Integrated Bridge System Conference, Londres.

¹¹⁴ PUNTE, P.A.J., POST, W.M., (1997), *Detailontwerp van de brug en brugvleugels van het Luchtverdedigings en Commando Fregat*, Report TM-97-A016, TNO Human Factors Research Institute. (1998). PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K. y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control centres using Human Modelling Systems and virtual Environment techniques*, dentro del marco ATOMOS II.

- a) Las consolas mantendrán sus propiedades funcionales, estando el usuario tanto de pie como sentado.
- b) Óptima posibilidad de mantenimiento de los instrumentos.
- c) Claridad en la presentación de los datos.
- d) La incorporación de la instrumentación estará basada en los principios de alcance, visibilidad, claridad y prioridad de los componentes.

Paralelamente, el diseño de las estaciones de trabajo sigue unos requisitos parecidos, desarrollados a partir de información antropométrica de la población actual y sobre una estimación futura.¹¹⁵

Recientes investigaciones relacionadas con la visibilidad y lectura de todos los instrumentos, para garantizar el mayor campo visual, en una operativa normal para un usuario tanto de pie como sentado, se han llevado a cabo por el Instituto de Investigaciones del Factor Humano TNO.¹¹⁶ De entre sus conclusiones presentamos las más relevantes:

- Los asientos son elevados 300 mm desde el suelo, hasta una máxima altura propuesta de 1416 mm de la posición de la vista del usuario sentado.
- Dada esta elevación del nivel de referencia, la consola no superaría la altura de 1200 mm,¹¹⁷ según las reglas de las Sociedades de Clasificación.
- La altura de los asientos sería regulable para permitir la adaptación a la anatomía del usuario.

2. Estudio de los principios funcionales

El diseño de las estaciones de trabajo, está basado en los siguientes aspectos funcionales, derivados de las tareas de control realizadas por el usuario, a fin de conseguir su correcta ejecución:¹¹⁸

¹¹⁵ OUDENHIJZEN, A.J.K. PUNTE, P.A.J., van BERGEM, P.M.y WERKHOVEN, P.J. (1996). *Workspace design, guidelines and design tools*. TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg.

¹¹⁶ TNO Human Factors Resarch Institute, e investigaciones dirigidas por OUDENHUIJZEN y PUNTE.

¹¹⁷ Cumpliendo con las alturas propuestas por DNV (1991). Rules for classification of ships, Special equipment and systems, additional class, Parte 6-capítulo 8, sección 2, en su version de Julio 1991. De hecho el uso de la configuración propuesta exigiría el cambio de los requisitos de esta Sociedad de clasificación.

- a) Seguimiento. Filtro de la información presentada.
- b) Compensación. Minimizar los desvíos entre la situación actual y la deseada.
- c) Anticipación. Control del proceso en función de la evolución del mismo.

Además dentro de cada nivel de ejecución de la tarea, los siguientes aspectos funcionales deben de considerarse:

- a) Disponibilidad de la información requerida.
- b) Compatibilidad de la información presentada con la información requerida.
- c) Valoración de la información en relación con otros elementos necesarios para la ejecución de las tareas.

a) Seguimiento

Se considera importante, que aparezca en la pantalla táctica que está utilizando el usuario, la información relativa a referencias, historia y tendencias; respecto de la situación actual.

De modo que es interesante contar con indicadores de presentación del rumbo actual, el rumbo deseado y el ángulo de caída de la proa; todo ello en un solo gráfico. Dichos indicadores deben de tener una sensibilidad suficiente como para permitir captar los cambios de estado del elemento solicitado, pudiendo comparar el estado actual con el estado deseado.¹¹⁹

Para una mejor identificación de las situaciones de alarma, el sistema debe de actuar de forma diferenciada respecto de la operativa normal del sistema.

b) Compensación

Los cambios efectuados en las pantallas de control respecto al estado de seguimiento (el anterior descrito), deben de poder realizarse de forma sencilla. Para ello es importante que los

¹¹⁸ OUDENHIJZEN, A.J.K. PUNTE, P.A.J., y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg.

¹¹⁹ OUDENHIJZEN, A.J.K. PUNTE, P.A.J., y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control, piloto Centres using Human Modelling Systems and virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute, dentro del marco del proyecto ATOMOS II.

controles del timón, piloto automático y propulsores en proa; sean tratados como instrumentos de hardware en la posición central de ambos puestos de control.^{120,121}

En un somero estudio de la situación actual de la cuestión; se confirma que los controles de los propulsores de proa y el piloto automático; se llevan a cabo mediante botones que pueden ser manejados desde cualquiera de los asientos. Las tendencias futuras, pretenden integrar el mando de la máquina en el software, siendo el control llevado a cabo por entradas efectuadas en el teclado y pantalla. La interfaz del timón evolucionará ligeramente en el futuro pasando a ser un joystick fijado a cada asiento o bien uno solo situado entre los dos asientos.¹²²

Las funciones de control que figuran en la pantalla de información tienen que permanecer siempre visibles y en la misma localización. Además los protocolos empleados para aclarar el significado del estado de las pantallas deben de ser inequívocos.

Es de capital importancia, la indicación del modo de control que se está empleando en cada momento.

c) Anticipación

Es necesario que el usuario reciba información relativa al futuro de las distintas acciones llevadas a cabo para fijar una perspectiva temporal de las mismas. Para ello, se deben de considerar los formatos de presentación integrados en los casos en que se tienen que relacionar varias fuentes de información como la planificación, seguimiento y control.¹²³

4.5 Equipamiento en las estaciones de trabajo del centro de control del buque

El equipo de un centro de control, debe de cumplir tanto requisitos de diseño centrados en el usuario como normativos.

¹²⁰ OUDENHIJZEN, A.J.K. PUNTE, P.A.J., y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control, piloto Centres using Human Modelling Systems and virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute

¹²¹ LLOYD'S LIST. Joystick control for cruiseship. 4 de Abril del 2000.

¹²² GONZÁLEZ BLANCO, R. (1998). *Conceptual Standard for SCC design (including HMI)*. ATOMOS II, Task 1.7. Barcelona. PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K. y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control centres using Human Modelling Systems and Virtual Environment techniques*. TNO Human factors research Institute.

¹²³ OUDENHIJZEN, A.J.K. PUNTE, P.A.J., y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute

El aspecto más importante en su valoración, es la coherencia del diseño además de las ideas técnicas que lo sustentan. Dicho diseño debe de estar adecuado a las tareas a desarrollar por parte del usuario, dentro de su contexto de uso y proporcionando al usuario la información correcta, de forma rápida, clara e inteligible.

A su vez tanto el hardware como el software usados en el centro de control deben de responder correctamente, por lo que se recomienda una arquitectura abierta, estandarizada y con redes separadas pero conectadas en tiempo real. La interfaz con el usuario sería entonces el hardware Intel PC, con un sistema operativo Microsoft Windows NT (elegido por su robustez e inmunidad a agentes exteriores), o Windows XP; cuyas aplicaciones se desarrollen usando Microsoft Visual Basic mediante OCS o DLL para cada caso específico.¹²⁴

4.5.1 Consideraciones para formular los principios de diseño de las estaciones de trabajo

En apartados previos, se ha concluido que en el diseño de consolas y la disposición de los instrumentos, se deben de tener en cuenta las siguientes limitaciones:¹²⁵

- La funcionalidad de las consolas se mantendrá estando el usuario de pie como sentado.
- Alta posibilidad de mantenimiento de los instrumentos.
- Claridad en la presentación de la información.
- La instrumentación incorporada se basa en alcance, visibilidad, claridad y prioridad; en sus componentes.

De la misma forma, las estaciones de trabajo, van a seguir unos requisitos similares, desarrollados a partir de la información antropométrica de la población actual y en una estimación de la futura.¹²⁶

¹²⁴ HEDE, M.; DAALSGARD NIELSEN, J. (1996). Product survey and requirement. Task 2.3 de ATOMOS II, estudio realizado por la Universidad de Aalborg (Institute of Electronic Systems).

¹²⁵ PUNTE, P.A.J., POST, W.M., (1997), *Detailontwerp van de brug en brugvleugels van het Luchtverdedigings en Commando Fregat*, Report TM-97-A016, TNO Human Factors Research Institute. (1998). PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K. y HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of standardised Ship Control centres using Human Modelling Systems and virtual Environment techniques*, dentro del marco ATOMOS II.

Las investigaciones relacionadas con la visibilidad y lectura de todos los instrumentos, para garantizar el mayor campo visual, en una operativa normal para un usuario tanto de pie como sentado; se han llevado a cabo por el Instituto de Investigaciones del Factor Humano TNO.¹²⁷ Los asientos son elevados 300 mm desde el suelo, hasta una máxima altura propuesta de 1416 mm de la posición de la vista del usuario sentado. Dada esta elevación del nivel de referencia, la consola no superaría la altura de 1200 mm,¹²⁸ según las reglas de las Sociedades de Clasificación; y la altura de los asientos sería regulable para permitir la adaptación a la anatomía del usuario.

4.5.1.1 La estación de trabajo para la planificación de la derrota

La consola equipada para la planificación de la derrota, podría recibir la información de tipo meteorológico, e integrarla de forma que fuera útil para planificar de una forma óptima la futura derrota del buque. Desde esta tesis, he considerado que se trata de la estación más adecuada para albergar el sistema de presentación de datos meteorológicos y oceanográficos.

En esta consola, se dispone de una pantalla para presentar la cartografía electrónica (ECDIS), a modo de visión general para preparar la derrota del viaje. Dicho equipo contará con un teclado y un ratón para manejarlo como si de un PC se tratara.

Para facilitar el uso de cartas convencionales, las cuales según la IMO deberán de mantenerse como back up, existirá un espacio llano a modo de mesa de cartas, reservando el espacio inferior a la misma para las baldas donde guardarlas. La pantalla y la mesa, se dispondrán en ángulo para así facilitar el uso conjunto de ambos elementos.

Esta estación podrá ser usada tanto de pie como sentado, pero la mesa de cartas sólo podrá usarse de pie.

¹²⁶ OUDENHUIJZEN, A.J.K. PUNTE, P.A.J., van BERGEM, P.M.y WERKHOVEN, P.J. (1996). *Workspace design, guidelines and design tools*. TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg.

¹²⁷ TNO Human Factors Resarch Institute, e investigaciones dirigidas por OUDENHUIJZEN y PUNTE.

¹²⁸ Cumpliendo con las alturas propuestas por DNV (1991). Rules for classification of ships, Special equipment and systems, additional class, Parte 6-capítulo 8, sección 2, en su version de Julio 1991. De hecho el uso de la configuración propuesta exigiría el cambio de los requisitos de esta Sociedad de clasificación.

4.6 Tendencias para el futuro

Desde hace unos relativamente pocos años, estamos asistiendo a una revolución en el campo técnico a bordo. De hecho los avances en el aspecto informático donde cada año y medio aparecen en el mercado procesadores que doblan la memoria de los existentes y cada vez más veloces, o simplemente como muestra las propias pantallas de visualización que han pasado de crecer a fabricarse de tipo TFT. Por lo que se prevén más cambios en un futuro cercano¹²⁹.

Entre otros podríamos augurar :

- a. Un aumento de la capacidad de memoria, velocidad y poder de visualización, de los procesadores.
- b. Menor coste y mayor fiabilidad, de los componentes de las redes locales permitiendo la reposición de sensores e indicadores analógicos por digitales.
- c. Las pantallas de cristal líquido para la presentación de la información, actualmente en el mercado, permitiendo la disminución del tamaño de las estaciones de trabajo y por tanto más espacio y flexibilidad en las disposiciones de las estaciones de trabajo.

Teniendo en cuenta los tres anteriores avances, es posible llevar a cabo una serie de proyectos en el equipo del puente a un coste relativamente bajo:

- a. Una mayor resolución de los equipos radar, favoreciendo y haciendo más segura la navegación en zonas de denso tráfico y visibilidad reducida, puertos, ríos entre otros.
- b. Cámaras de visión nocturna, para los buques de alta velocidad.
- c. Sistemas expertos para la ayuda en la toma de decisiones, con sistemas de filtrado de alarmas.
- d. Paneles de maniobra operados mediante un joystick que controle tanto el timón como la máquina.

¹²⁹ WENTZELL, H. (1996). *Design philosophy and criteria for integrated bridges*. Ponencia. Integrated Bridge System Conference, Londres

- e. El procesado de gráficos que permita la superposición de diferentes capas de información como puedan ser las imágenes del radar, arpa, ECDIS, blancos, boyas y marcas.
- f. Interposición de la capa de información meteorológica, para trazar la derrota más segura y rápida, sobre la base de un sistema ECDIS.

Se anticipa un futuro prometedor en el que la tecnología hará los buques más seguros, menos vulnerables a las fuerzas de la naturaleza y respetuosos con el medio ambiente; a la vez que seguirán siendo el medio de transporte más económico, fiable y ecológico. A título de ejemplo, un porta-contenedores de 135 metros de eslora y 17 metros de manga cuya capacidad sobrepasa los 500 TEU's; tiene una capacidad de carga equivalente a 470 camiones¹³⁰.

4.7 Conclusiones parciales

En este capítulo, aún a riesgo de apartarnos del principal objetivo de la tesis, se ha tratado de describir la situación actual en el campo de las estaciones de trabajo, dentro del contexto de los centros de control del buque (SCC), mediante el estudio de los factores relativos al usuario y el modo en que éstos se incorporan al diseño final del centro de control del buque y por tanto de las estaciones de trabajo que lo componen.

La metodología utilizada ha partido de una situación actual de la materia, respecto del diseño de una configuración actual en estado de implantación en buques contemporáneos, para desembocar en un pronóstico basado en estudios de previsión del futuro; siendo la principal diferencia entre ambas configuraciones, el nivel de automatización alcanzado.

La tendencia actual hacia la reducción de tripulaciones a bordo de los buques, afecta a los propios usuarios encargados de gestionar el sistema SCC. Con ello se ha conseguido reducir y simplificar la carga de trabajo de la tripulación remanente, con la premisa de no comprometer los niveles de seguridad ni reducir la eficiencia operativa. Siendo todo este escenario, rodeado

¹³⁰ EUROPEAN COMMUNITIES. *WHITE PAPER. European Transport policy for 2010; time to decide (2001)*. pg.45

por una aureola estadística que indica que el 80% de los accidentes marítimos son atribuibles al error humano.

La solución en el mercado actual, reside en la integración de sistemas, con los que aumentar la fiabilidad técnica de los sistemas SCC, paralelamente a la reducción de la intervención humana sobre el mismo. Por medio de la racionalización y transferencia automática de la información particular de cada sensor y la concentración de funciones en un puesto de trabajo, se reduce la posibilidad de cometer un error humano, a través del alivio de la carga de trabajo que conlleva. Pero en el fondo, e independientemente de la calidad y fiabilidad de los equipos y el sistema en sí, la presencia e intervención humana, no es sustituida en el puente de gobierno.

Las principales líneas en las que la integración incide desde el punto de vista técnico, son en un puente integrado la:

- Reducción del número de consolas
- Reducción del coste de instalación y cableado
- Reducción del tiempo de diseño
- Reducción de interconexiones eléctricas
- Reducción en la discusión del criterio de construcción del puente de gobierno entre astillero, armador y fabricante del sistema SCC.

El estudio de la situación actual testifica el abandono de los criterios que apoyaban la operativa en el puente con un oficial de guardia y un vigía, para pasar a la generalización del criterio de un solo hombre de guardia en el puente, con las configuraciones específicas. Además se parte de la consideración de la próxima integración del ARPA y el ECDIS y de la presentación centralizada en una sola pantalla de toda la información requerida para el control del buque, aunque se contempla la posibilidad de utilizar cartas convencionales de papel, con la posibilidad de que una segunda persona en otro asiento pueda también asistir en la operativa.

En el futuro y en función del coste de los mismos, los monitores de rayos catódicos van a ser sustituidos por monitores de pantallas planas de cristal líquido, permitiendo de este modo disminuir la altura de las consolas y aumentado así el campo de visión al exterior. Los alerones pasarán a formar parte integral del recinto del puente, incorporando grandes portillos

en los lados y en el suelo para lograr la máxima visibilidad. Dichos diseños se justifican en estudios realizados sobre la situación actual y tendencias futuras en esta materia.¹³¹

El número de pantallas a equipar en la estación de trabajo de navegación no está generalmente aceptado, pero la mayoría de opiniones optan por cuatro.¹³² El uso de técnicas de realidad virtual para diseñar los centros de control, repercute positivamente en el coste y rapidez del proceso, con un resultado final aceptable.¹³³

El planteamiento de una metodología para el diseño de criterios para proponer una estación de trabajo para el procesamiento de la información meteorológica,¹³⁴ pasa por un diseño ergonómico de la misma que a su vez implica también el mismo criterio de diseño para el centro de control completo, y que como se ha mencionado brevemente con anterioridad; hoy día se ve ayudado por las técnicas de asistencia informáticas, a través del correspondiente análisis físico y funcional.

El análisis físico realizado, ha permitido relacionar el escenario de las dimensiones físicas del puente en relación con el usuario, la distribución de las estaciones y el campo visual exterior, mientras que el análisis funcional, refiere a las relaciones funcionales entre el usuario operando un centro de control en cualquiera de sus estaciones de trabajo, moviéndose entre las mismas y el campo habitable y visual interior y exterior al sistema.

El análisis realizado desde el punto de vista de la operatividad, una interfaz sólida entre el usuario y el centro de control del buque, contemplaría los siguientes factores¹³⁵:

- Armonización de las presentaciones en pantalla
- Normalización de definiciones, designaciones, abreviaturas, mandos, colores y sintaxis de presentación de la información.

¹³¹ TNO Human Factors Research Institute. PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K., HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of the standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and Virtual Environment techniques*, inter alia.

¹³² Según PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K., HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of the standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and Virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute, inter alia.

¹³³ WERKHOVEN, P.J.; POST, W.M.; PUNTE, P.A.J. (1997). *Validation of ADCF bridge concepts using virtual environmental techniques*. Proceedings of 11th Ship Control Systems Symposium, Vol. 1, Dpt. Of Ship Science, University of Southampton, Southampton y también WERKHOVEN, P.J. (1997). *The virtual ship: A powerful tool for human factors engineers*. Estudio realizado por TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg, Holanda.

¹³⁴ En el capítulo siguiente se abordan la metodología y los criterios que se propondrán en esta tesis.

¹³⁵ WENTZELL, H.F. (1999). *Modern bridge design: State of the art and future chances*. Estudio elaborado por SAM Electronics.

- Estandarización física y funcional de los controles e indicadores.
- Estandarización de la localización de los componentes en las diferentes estaciones de trabajo

5 CRITERIOS EMPLEADOS EN LA PRESENTACIÓN DE DATOS A BORDO

Este capítulo estará basado en una metodología de estudio especialmente diseñada para abordar el estudio de los criterios que van a formar el núcleo de uno de los objetivos más novedosos y personales en esta tesis. Para ello, se va a dividir este capítulo en dos grandes apartados, en el primero se exponen las necesidades que en términos legislativos, ergonómicos, técnicos y funcionales deben cumplir los sistemas de presentación para obtener una buena *interface* entre el tripulante y la estación de trabajo. Estas necesidades serán especificadas en forma de criterios. En segundo lugar se diseñará un sistema integrado de presentación de los datos meteorológicos y oceanográficos, justificando la adopción de las nuevas medidas (criterios) en la configuración y funcionamiento de la estación de planificación. Todo ello, partiendo de las conclusiones obtenidas en el capítulo anterior.

5.1 Introducción

La presentación de datos meteorológicos y oceanográficos busca cumplir con los requisitos relativos de las operaciones que se nutren de ellos, es decir dentro del contexto de cualquier operación en un escenario de gobierno de un buque y de la planificación de su futura derrota.

Para ello voy a abordar una serie de grandes grupos de información, de donde se van a enunciar unas limitaciones o directrices en cada uno de estos campos a definir y finalmente se van a conjugar con la tecnología existente, los avances tecnológicos más inmediatos y las tendencias futuras; todo ello además con los requisitos procedentes de la aplicación del factor humano.

De modo que la configuración final del sistema de información meteorológico–oceanográfico, podrá variar en función de los criterios finales aplicados, de forma que y a priori establezco aquí que

las dos grandes vías de tratamiento por las que se conducirá la investigación serán, una en la que se pretenderá dar respuesta a la programación de una derrota meteorológica oceanográfica y cómo esta se presenta y otra en la que en paralelo se darán las pautas para un futuro inmediato. A su vez, también se necesitará considerar las condiciones y procedimientos de trabajo para sentar los requisitos funcionales, ergonómicos y técnicos necesarios para configurar la estación de trabajo donde se hará el tratamiento de la información meteorológica y oceanográfica.

La búsqueda de los criterios necesarios para implementar un sistema de presentación de datos meteorológicos a bordo de los buques obliga a considerar en primer lugar la normativa que debe ser aplicada, debido a que la configuración de la estación de trabajo se basará en ella, que será aprobada y estandarizada por las organizaciones internacionales. A continuación se van a tener en cuenta las posibilidades existentes desde el punto de vista técnico y las limitaciones existentes, pudiendo en función de los avances más posibles a corto plazo en este campo, arriesgarme a enunciar una solución técnica inmediata.

Llegado a este punto, considero que el no-cumplimiento de los criterios anteriores, nos abocaría a una imposibilidad de continuar avanzando por los lógicos e ineludibles condicionantes en primer lugar legales y posteriormente por los técnicos. Una vez solventada la anterior criba, la temática a investigar, nos trasladará a la presentación de la información y en como deberá estructurarse la misma, de forma que se respeten unos mínimos criterios de presentación clara, ordenada, fácil de leer y amigable y para ello debemos tener en cuenta que en algunos momentos los volúmenes de información que se manejan, son grandes, que es una limitación que debe ser salvada.

Todo ello dentro del contexto de las condiciones ambientales y físicas de la estación de trabajo donde son presentados los datos, la cual se inserta en un centro de control del buque a su vez albergado por el puente del mismo, lo cual supone otra limitación, ya que según el tamaño del buque, el espacio disponible y habitable variará. El análisis de toda esta información, permitirá establecer los criterios del sistema de presentación, donde además se interrelacionan los datos de las variables seleccionadas.

5.2 Metodología de estudio

La metodología propuesta en la presente tesis, pretende abordar una serie de amplios módulos, los cuales van a contener un grupo homogéneo de criterios y directrices; que nos permitirán empezar por el grupo más genérico de reglas y limitaciones, hasta llegar a las reglas más específicas, relacionadas con la estación de trabajo que albergue el sistema de presentación de datos meteorológicos y oceanográficos, propuesto.

Los módulos propuestos, se describen a continuación:

- Estudio de la normativa actual y previsiblemente futura relacionada.
 - Nos proporcionará unos criterios y limitaciones, que en el caso de no ser cumplidos, nos invalidan los criterios y el diseño, propuestos ya que son obligatorios.

- Estudio de las posibilidades técnicas.
 - Nos proporcionará unos criterios tecnológicos que nos permitirán deducir las limitaciones y las posibilidades existentes, desde este punto de vista.
 - Nos permitirá entrever las posibles mejoras técnicas necesarias y útiles, a proponer en el sistema.

- Estudio de las necesidades operativas
 - Nos proporcionará unos criterios operativos, en función de las tareas usuales que realicen los tripulantes y que permitirán enunciar una serie de
 - Limitaciones
 - Recomendaciones
 - Carencias a cubrir

- Estudio de los criterios ergonómicos.
 - Fruto de una óptima interacción del usuario con la máquina, obtendremos unos criterios ergonómicos, que se deberán de proponer como recomendaciones y respetar si son obligatorios.

5.3 Legislación

En este apartado, se pretende analizar la normativa aplicable a la especificación, diseño e instrumentación de sistemas SCC y de sus estaciones de trabajo. Para posteriormente establecer unos criterios normativos.

5.3.1 Introducción

Se va a repasar la normativa aplicable a las estaciones de trabajo considerándose como un aspecto básico a tener en cuenta para su diseño, además de las conclusiones provenientes de proyectos cuyo objetivo es la configuración de puentes de gobierno. Además se va a contemplar la normativa de obligado cumplimiento en este aspecto, junto con las emanadas del Convenio para la seguridad de la vida humana en la mar y las normas de las sociedades de clasificación, así como las normas y recomendaciones de organismos internacionales como pueden ser ISO e IEC.

5.3.2 Normativa relativa a las estaciones de trabajo de un puente integrado

A continuación detallamos el estudio normativo del equipo que compone el sistema SCC y sus estaciones de trabajo, el cual seguirá la siguiente jerarquía:

- IMO (International Maritime Organisation)
- ISO (International Organisation for Standardisation)
- IEC (International Eletrotechnical Commission)

5.3.2.1 IMO (International Maritime Organisation)

La normativa publicada por la IMO, la dividiremos en dos apartados principales:

- a) Prescripciones publicadas en la circular MSC 982, sobre la que se basará la regla 15 del capítulo V del convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el

mar,¹³⁶ donde se disponen directrices de cariz ergonómico tanto desde el punto de vista de la operativa como del hardware de los equipos de un puente de gobierno.

- b) Otros estándares y recomendaciones aplicables a equipos concretos en forma de normativa de la ISO.

5.3.2.2 SOLAS Regla 15 – Capítulo V

El Comité de Seguridad marítima, en su 73ª sesión (del 27 de noviembre al 6 de diciembre del 2000), publicó la circular MSC 982, con las *Guidelines on Ergonomic Criteria for Bridge Equipment and Layout*, las cuales se desarrollaron para ayudar a los diseñadores, en la realización de un diseño de puente suficientemente ergonómico, con el objeto de mejorar la confianza y eficiencia de la navegación.

Dichas guías se prepararon¹³⁷ para ayudar a las provisiones hechas a la regla V/15 de la convención SOLAS revisada, *Principles relating to bridge design, design and arrangement of navigational systems and equipment and bridge procedures*, que debía haber sido discutida en la MSC 77 entre Mayo y Junio del 2003. A la vista de que en la MSC 77 no estaba previsto un grupo de trabajo sobre factor humano, en la MSC 76 se decidió posponerlo a la MSC 78.

La aplicación de dichos criterios, sería obligatoria una vez se apruebe la versión definitiva posiblemente durante la sesión 78 de Diciembre del año 2003, para todo buque nuevo o cuya quilla haya sido puesta después de la fecha que se establezca.

Como consideración preliminar a la propia regla 15, la expresión “*Toda decisión ... será tomada con la intención de: ...*” lo que significa que los principios enumerados en los párrafos .1 a .7, deben de ser tomados como intenciones y no como reglas a cumplir.¹³⁸

A su vez, los pies de página, no forman parte de la convención pero se insertan para tener una referencia fácil. Los instrumentos referidos en los pies de página de la regla V/15 (MSC/Circ. 982, resolución MSC.64(67) y resolución MSC.86(70) no son obligatorios a través de dicha

¹³⁶ Consultar también las resoluciones A.156 (ES.IV): *Recomendaciones sobre el transporte de aparatos electrónicos de fijación de la posición* y también A.815(19): *Sistema mundial de radionavegación*.

¹³⁷ Se debe destacar que el contenido de la circular 982, no cubre totalmente las intenciones estipuladas en la regla V/15.

¹³⁸ RASMUSSEN, K. (2002), Valoración hecha como miembro de la Danish Maritime Administration, en el 6th Official Review del proyecto ATOMOS IV a bordo del rompehielos “FREJ”.

referenciación, sino que esta instrumentación sólo puede considerarse como obligatoria por medio de la referencia directa en el texto de la regla en si misma.¹³⁹

En la propia regla, se realiza una descripción de las estaciones de trabajo en el puente, siendo la clasificación adoptada la siguiente:

- *Estación de trabajo para la navegación y maniobra*: Es la principal estación para el manejo del buque y está concebida para trabajar en ella tanto de pie como sentado, proporcionando una óptima visibilidad y presentación integrada de toda la información y operativa del equipo para controlar y evaluar el movimiento del buque. Debería ser posible operar el buque desde esta posición, de una forma segura y en particular cuando se requiere una secuencia rápida de acciones.
- *Estación de trabajo para el control (monitorización)*: Estación de trabajo desde la cual puede ser permanentemente observado, el equipo en operación y el medio que rodea al buque tanto desde una posición de pie o sentado. Cuando están presentes varios miembros de la tripulación trabajando en el puente, se utiliza para descargar al navegante frente a la estación de navegación y maniobra, y para llevar a cabo las funciones de control y vigilancia por parte del Capitán o el práctico.
- *Estación para el gobierno manual (estación del timonel)*: Estación de trabajo desde la cual el barco puede ser gobernado por un timonel en la medida en la que éste por razones de seguridad o legales, sea requerido, preferiblemente concebido para trabajar en la posición de sentado.
- *Estación de trabajo para el atraque (alerón del puente)*: La estación de trabajo para las operaciones de atraque en el alerón del puente, debería permitir al navegante junto con al práctico (cuando estuviera presente), observar toda la información externa relevante y controlar la maniobra del buque.
- *Estación de trabajo para la planificación y documentación*: Estación de trabajo en la que las operaciones el buque son planeadas (e.g. planificación de derrota, cuaderno de

¹³⁹ Resolución A.911(22) – “Uniform wording for referencing IMO instrument”.

bitácora), para el registro y documentación de todos los hechos de la operativa del buque.

- *Estación de trabajo para la seguridad:* En la misma, se sitúan las pantallas de presentación y sistemas o elementos al servicio de la seguridad.
- *Estación de trabajo para la comunicación:* Estación de trabajo en la que se sitúa la operativa del equipo de control para las comunicaciones de emergencia y seguridad (SMSSM) y en general las comunicaciones.

a) Requisitos ergonómicos:

En general los requisitos ergonómicos apuntados por la Circular MSC 982 de la IMO, se centran en los siguientes puntos:

- la disposición del puente,
- el ambiente de trabajo,
- la disposición de las estaciones de trabajo,
- las alarmas,
- los dispositivos de información,
- la forma de presentación de la información,
- y el control interactivo.

Para el trazado del puente, se tienen en consideración tanto el campo de visión, la disposición propia del puente, la accesibilidad y la posibilidad de movimiento dentro del mismo. En general desde la estación de navegación y maniobra, la visibilidad no debe ser obstaculizada a más de dos esloras del buque o 500 metros, siendo el campo de visión desde el puente, de 360° para un observador que pueda moverse desde todos los rincones del puente.

En general el campo de visión se exige que al menos desde la estación de control y la de navegación, permita ver hasta 22,5° a popa del través y que los sectores ciegos en total no exceden los 20°, siendo el total máximo de arco ciego producido por la carga o elemento de carga, de 10°.

Se legisla la inclinación de las ventanas del puente además de la utilización de pantallas de filtro solares y los vistaclaras. En cuanto a la disposición de los diferentes elementos y estaciones de trabajo dentro del puente, estos deben permitir vigilar la zona enfrente de la superestructura del puente desde la caseta de gobierno.

En cuanto a la disposición de las propias estaciones de trabajo, las dedicadas a la navegación y maniobra, control y las de los alerones; deben de ser diseñadas y emplazadas en un área espaciosa para albergar al menos dos operadores, pero suficientemente recogidas para ser manipuladas por un operador. Se estipulan además unas medidas físicas para el diseño de la propia consola y asientos de los operadores.

Los dispositivos, pantallas y controles se agruparán de una forma lógica y por funciones, coincidiendo en su localización de una consola a otra. Los controles y sus pantallas, serán fácilmente legibles mientras se utilicen y serán debidamente espaciados entre sí. La propia regla continúa con detalles de situación de la información en función de su importancia, de la iluminación y otras consideraciones.

Los apéndices de la propia Circular 982, describen el equipo propuesto para las estaciones de trabajo en el puente, en las que destacamos la recomendación de disponer en la estación de navegación y maniobra de, un indicador de dirección intensidad del viento (como en la estación para el atraque) y de la temperatura del aire y la mar.

Se entiende que la estación más adecuada para la recepción y procesamiento de la información meteorológica es la dedicada a la planificación y documentación, de la que adjuntamos un cuadro.

| Workstation for planning and documentation | |
|---|--|
| Equipment | Accessory |
| <ul style="list-style-type: none"> • ECDIS including navigation planning station • route planning devices • chart table • position fixing receiver • retaining device for drawing triangles, dividers, magnifying lens, pencils, etc. • weather chart plotter • main clock • chronometer with receiving facility for time signals • radio direction finder • log, incl. distance indicator, course plotter • echograph • barograph • indication for air and water temperature ⁺ • command printer • VHF point | <ul style="list-style-type: none"> • facility for storing charts • facility for storing nautical publications, manuals, etc. |

Tabla 4: Equipo constituyente de la estación de trabajo de planificación.

De modo que destacaríamos del cuadro anterior los siguientes aparatos:

- Plotter para trazar cartas de tiempo
- Barógrafo
- Indicador de temperatura del aire y del agua (interpretamos, la existencia de un psicrómetro).

Como resumen, especificar que de la mencionada Circular 982, el equipo propuesto para las estaciones de trabajo, se halla contemplado en su apéndice 2, junto con la MSC/Circ.603 y su anexo de 1993, junto con la normativa ISO 14612.

La presentación de la información está contemplada en la resolución IMO A.694(17) y regulada por la IEC a través de los estándares IEC 60945 rev.4, IEC 60936, IEC 60872 e IEC 61174.

5.3.2.3 Estándares aplicables a las estaciones de trabajo del sistema SCC

En cuanto a las estaciones de trabajo del sistema SCC, la norma ISO 8468 contiene las siguientes sub-cláusulas:

5.2: Location of instruments and equipment

5.3: Configuration and dimensions of consoles

6.1: Bridge equipment, general

6.2: Instruments

6.3: Illumination and individual lighting of instruments

6.4: Outer shape of instruments

La norma ISO 11064 proporciona unas normas generales para ser aplicadas al diseño de las estaciones de trabajo en el sistema SCC. Estas normas se estructuran en los siguientes capítulos:

Parte 4: Workstation layout and dimensions

Parte 5: Displays and controls

Parte 7: Principles for the evaluation of control centers

Parte 8: Ergonomic requirements for specific applications

La norma BS EN 614-1:1995, recomienda unos principios durante el proceso de diseño del equipo de trabajo del sistema SCC:

- Diseño considerando factores antropométricos y biomecánicos
- Diseño considerando la habilidad mental del usuario
- Diseño de pantallas, símbolos y controles
- Interacción del usuario con la ambientación física del lugar de trabajo
- Ergonomía respecto de las tareas a realizar
- Desarrollo de especificaciones de diseño relativas a principios ergonómicos

La norma ISO 9241 contiene diversas partes que debe ser consideradas en el diseño de estaciones de trabajo:¹⁴⁰

Parte 1: General introduction

¹⁴⁰ La sub-comisión SC 4/TC 159 Ergonomics of human-system interaction, desarrolló la parte del estándar ISO 9241 respecto de la ergonomía para pantallas de información. La norma está organizada en partes, cada una trata distintos aspectos relativos al uso de pantallas de información. Los requisitos descritos en esta sección, están pensados para ser utilizados en trabajos de oficina, por lo que la atención se centra en la presentación de caracteres y textos. A pesar de que las estaciones de trabajo del puente de gobierno no se puedan comparar a los centros de trabajo considerados en la norma, es posible aplicar muchas de las consideraciones fijadas en la misma, sobretodo los relativos a la combinación de pantallas gráficas e información.

Parte 2: Guidance on tasks requirements

Parte 3: Visual display requirements

Parte 4: Keyboard requirements

Parte 5: Workstation layout and postural requirements

Parte 7: Display requirements with reflections

Parte 8: Requirements for displayed colours

Parte 9: Requirements for non-keyboard input devices

La norma ISO CD 13406, Parte 2 *Flat panel display ergonomic requirements* es también importante:¹⁴¹

5.3.3 Resumen de la normativa actual

Las reglas y normas que es necesario aplicar, tienen su origen en las principales organizaciones internacionales, de las que las más importantes son las tres fuentes citadas a continuación y que se basan en:

- Prescripciones publicadas por la OMI (Organización Marítima Internacional), mediante resoluciones, algunas de ellas formando parte de Códigos y Convenios.
- Reglas y recomendaciones redactados por las Sociedades de Clasificación.
- Estándares preparados por organismos y organizaciones internacionales no marítimos, por ejemplo, IEC (*International Electrotechnical Commission*) o la ISO (*International Organisation for Standardisation*) y ESO (*European Standardisation Organisation*).

Toda la reglamentación originada está incluida en Códigos, Convenios o Manuales, siendo de aplicación al buque y sus diferentes partes, incluida la estación de planificación de derrotas, donde se regula la presentación de los datos y los principios que deben regir para facilitar el interface que debe haber entre sistema y usuario.

Algunas normas concretas que utilizan los constructores y diseñadores son:

¹⁴¹ La información visual presentada en pantalla de las cartas de navegación electrónicas, es extensa y diversa; lo que justifica el desarrollo de especificaciones y guías desarrolladas por la IHO (International Hydrographic

- ISO 6385, 1981. *Ergonomic principles in the design of work systems.*
- ISO 8468, 1990. *Ships bridge layout and associated equipment. Requirements and guidelines.*
- ISO 9241. *Ergonomic requirement for office work with visual display terminals.*
- BS EN 614-1: 1995. *Safety of machinery – Ergonomic design principles.*
- ISO 89995, 1989. *Principles of visual ergonomics. The lighting of indoor working systems.*
- ISO 2631-1. *Evaluation of human exposure to whole body vibrations.*
- ISO 5349, 1986. *Mechanical vibration: Guidelines for measurement and the assessment of human exposures to hand transmitted vibration.*
- ISO 1996-1, 1982. *Acoustics: description and measurement of environmental noise.*
- ISO 7779, 1988. *Acoustics: Measurement of airborne noise emitted by computer and business equipment.*
- MSC/Circ.982, en la que se basará el Cap. V, regla 15 del SOLAS. *Principios relativos al proyecto del puente, al proyecto y a la disposición de los sistemas y aparatos náuticos y a los procedimientos del puente.*
- ISO CD 13407. *Human centred design processes for interactive systems.*
- Resolución IMO A.694(17), regulada por la IEC a través de los estándares IEC 60945 rev.4, IEC 60936, IEC 60872 e IEC 61174. Concretamente está referida a la presentación de la información.
- IEC Document 18 (Central Office) 534: *Special features–Control and Instrumentation.*

Respecto a la legislación y normas enumeradas, se destaca la futura Regla 15 del Capítulo V de SOLAS, por ser una norma de inmediata aprobación, que ha sido discutida y enmendada esperándose que entre en vigor rápidamente, aunque de momento su contenido debe de ser tomado como intenciones y no como reglas definitivas. El Comité de Seguridad marítima¹⁴², publicó la circular MSC 982¹⁴³, con la que promulgó reglas desarrolladas para ayudar a los diseñadores en la configuración de un puente suficientemente ergonómico, con el objeto de mejorar la confianza y eficiencia de la navegación. Los pies de página, no forman parte de la convención pero se insertan para tener una referencia fácil, ya que los instrumentos referidos en ellos [MSC/Circ.982, resolución MSC.64(67) y resolución MSC.86(70)] no son

Organization) a partir de 1988. El grupo de trabajo se denominó *Colours & Symbols Working Group (C & SWG)* es el responsable de la elaboración de borradores respecto a este tema para el sistema ECDIS (IHO SP52, 1994).

¹⁴² 73ª sesión del 27 de noviembre al 6 de diciembre del 2000.

¹⁴³ Se debe destacar que el contenido de la circular 982, no cubre totalmente las intenciones estipuladas en la regla V/15.

obligatorios a través de dicha referencia, sólo puede considerarse como obligatoria por medio de la referencia directa en el texto de la regla en si misma.^{144, 145}

De hecho, los principios establecidos en la circular MSC 982, están no sólo volcados en el tema del hardware sino también en las consecuencias operacionales, y su lectura debería de contemplarse en conjunción con la normativa de la IEC, dada su focalización técnica.

5.3.4 Criterios legislativos

Una vez conocida y repasada la legislación existente¹⁴⁶, queda claro que las reglas y normas son en ocasiones ambiguas, obretodo en el caso de la normativa de la IMO, porque no están especificadas de forma clara y concisa, sino que son de aplicación general para el diseño del puente de gobierno. Teniendo en cuenta esta falta de concreción se indican los aspectos referentes a la Estación de Planificación y presentación de derrotas, que en forma de criterios legislativos creo que deben ser adoptados, siendo las organizaciones internacionales las que posteriormente desarrollen la normativa original o los aspectos más específicos de la misma.

Básicamente los criterios legislativos se desarrollarán teniendo en cuenta:

- la estación meteorológica y oceanográfica deberá seguir las reglas actuales contenidas en los Convenios Internacionales promulgados por la OMI, la ISO, las directrices de las Sociedades de Clasificación y los estándares de las organizaciones internacionales;
- los criterios que no sirvan para mejorar la claridad de la presentación de los datos, su integridad y la independencia de otras estaciones, no serán considerados;
- la normativa debe tener en cuenta los principios que actualmente son obligatorios para los diseñadores y constructores en general, incorporando los que han sido contrastados en campos de otras áreas, maritimizando sus características para adaptarlos a las condiciones en las que operan los diferentes tipos de buques.

¹⁴⁴ Resolución A.911(22), "*Uniform wording for referencing IMO instrument*".

¹⁴⁵ Como resumen, especificar que de la regla 15, el equipo propuesto para las estaciones de trabajo, se halla contemplado en su apéndice 2, junto con la MSC/Circ.603 y su anexo de 1993, junto con la normativa ISO 14612.

¹⁴⁶ La normativa es general, no especifica para una determinada estación de trabajo.

- la metodología de diseño de una estación de trabajo que forme parte de un sistema SCC, debe por tanto seguir esta normativa, introduciendo incluso las recomendaciones que aún no siendo de obligado cumplimiento, implican una fuerte carga de conocimiento y experiencia; en aspectos relevantes del sistema

Resumiendo y considerando lo anterior como una premisa, los criterios legislativos establecidos, se consideran normas excluyentes, referentes a la estación destinada a la presentación de datos meteorológicos-oceanográficos. Los criterios se nutren de la información contenida en la normativa existente con los aspectos relativos a la tecnología empleada, los procedimientos utilizados y los diseños adoptados, pero siempre respetando la seguridad y estandarización.

De hecho la especificación, diseño e instrumentación de una estación de trabajo, parte de una carga normativa importante y en constante actualización; formando todo ello una estructura compleja. Dichas normas aplicables al sistema SCC y a sus estaciones de trabajo, constituyen un aspecto fundamental en el diseño de los mismos y deben de tenerse en consideración de forma coherente en el desarrollo de proyectos destinados a configurar puentes de gobierno en los buques.

5.4 Fundamentos tecnológicos

En este apartado pretender todos los avances tecnológicos que serían de utilidad para definir los criterios técnicos utilizados en la presentación de datos, es una tarea casi imposible, debido en primer lugar a que se escapa de los objetivos de la tesis y en segundo lugar por la propia dinámica de la tecnología, ya que los avances producidos en los campos de la electrónica e informática aplicados a la industria son diarios y algunos se quedan obsoletos mientras se desarrolla la tesis; y por último la duración de las pruebas a que se deben someter las novedades introducidas en el campo marítimo, especialmente a bordo de los buques.

También se debe tener en cuenta que en apartados anteriores se han indicado algunas tecnologías que tratan aspectos relacionados con las variables, por lo cual ahora se valorarán las tecnologías novedosas en los equipos y elementos utilizados en la estación de trabajo, con el fin de mejorar su rendimiento.

5.4.1 Nuevas tecnologías

Las novedades tecnológicas que se contemplan para el tema que la tesis investiga son en principio las que tienen que ver con la informática, electrónica y comunicaciones, todo ello aplicado a los equipos o elementos que se necesitan para presentar los datos meteorológicos y oceanográficos, de forma amigable y por niveles de prioridad.

Pantallas planas, el uso masivo de microprocesadores y técnicas GIS¹⁴⁷ son algunos de los elementos en los que se basa la presentación la información que se necesita y que se utilizará para realizar viajes seguros mediante derrotas optimizadas que la tecnología nos ayuda a calcular y trazar a bordo del buque.

El GIS es un sistema de soporte a la presentación de datos, compuesto del hardware, software y datos, necesarios para poder manipular, analizar y presentar la información ligada a unas coordenadas espaciales. En un GIS, simplemente se combinan diferentes capas de información de un lugar geográfico, cuyo número depende de los propósitos y nivel de datos requerido, son útiles sobre todo para referenciar geográficamente cualquier tipo de información, lo que unido a la cartografía electrónica; permite referenciar la información a las coordenadas geográficas de la carta, siendo esta la principal misión que tendrá en el sistema propuesto.

La tecnología TFT (*thin-film transistor*), usa las pantallas clásicas de LCD (*liquid crystal display*), en ordenadores, la cual dispone de un transistor para cada uno de los píxels (es decir cada una de las células que controlan la iluminación de la pantalla). El hecho de disponer de un transistor en cada píxel significa que la corriente que acciona la iluminación del píxel puede ser más pequeña y por lo tanto se puede cambiar por intervalos más rápidamente. El desarrollo más reciente del LCD es la tecnología TFT, que permite tener superficies de presentación más flexibles.

La utilización de sistemas expertos es el camino seguido para aglutinar las ciencias tecnológicas buscando dar respuesta de forma automática a numerosos problemas que surgen en el momento de presentar la información. La posibilidad de realizar comunicaciones

¹⁴⁷ *Geographic Information System.*

rápidas, es otro factor necesario y que se debe tener en cuenta en las consolas y pantallas donde se presenta la información.

5.4.2 Criterios técnicos

La investigación sobre los criterios técnicos que deben aplicarse para disponer de una estación de trabajo en la cual se presente la información meteorológica y oceanográfica, tiene como base las redes de comunicaciones que es necesario diseñar para que los flujos de datos circulen entre los subsistemas de los equipos que reciben o captan información del exterior y entre las diferentes unidades que almacenan, analizan y procesan esa misma información.

Es necesaria la integración de toda la información, para poder resolver los problemas que plantea el trazado y seguimiento de las derrotas que se realiza en el puente, derivando los flujos de datos hacia la Estación de Planificación. Se realiza una recogida de datos tanto analógicos como digitales, procesando la información y calculando nuevos valores de los parámetros operacionales del buque en función de la aplicación de las variables que se han recibido a través de los equipos o que se han obtenido mediante los sensores del buque.

Resumiendo, en definitiva los criterios tratan de introducir los equipos y tecnología necesaria para la presentación y tratamiento de las variables meteorológico-oceanográficas. Estos criterios deben ser los siguientes:

- Establecimiento de sensores capaces de obtener datos meteorológicos y oceanográficos automáticamente, del entorno por el que navega el buque, para ser incorporados en la estación de trabajo de planificación de derrotas como información local.
- Respetar la compatibilidad electromagnética en todos los equipos para evitar las interferencias que se puedan producir en las transmisiones de datos, además de evitar la misma incompatibilidad en el caso del equipo de toma de datos meteorológicos con las antenas montadas previamente en los palos del buque.
- Respetar la compatibilidad de estándares de comunicación entre los equipos, para evitar la necesidad de interfasearlos. Como criterio por defecto el lenguaje usado, debería ser el de la NMEA 0183, por ser el usado masivamente en el equipo del puente de los buques.

Estudiar la posibilidad de aplicar lenguajes de tipo XML¹⁴⁸ para salvar los problemas de compatibilidad e incluso los del tipo MSML.¹⁴⁹

- Presentar toda la información meteorológica, junto con la de las derrotas planificadas en una única pantalla, accediendo a las diferentes posibilidades en cuanto a derrotas, mediante los correspondientes menús. Desde el punto de vista de la integración, sería conveniente que dicha información exclusiva de la estación de trabajo de planificación, fuera accesible desde al menos la estación de trabajo de navegación; para propósitos de consulta.

5.5 Procedimientos

Toda la operativa desarrollada para la planificación y seguimiento de la derrota meteorológico-oceanográfica empieza antes de salir del puerto de origen y se realiza sobre la estación de trabajo. La utilización de una aplicación informática es esencial, ya que procesa la información recibida y la presenta; siendo los pasos a seguir los siguientes:

- a) En primer lugar se recopila la información relativa a las zonas por donde el buque debe navegar, principalmente cartografía e información estadística de los elementos (Pilot Charts). Las fuentes de información son todas las enumeradas anteriormente y de ellas se extraen los datos de las variables que necesitamos, que serán procesados y analizados teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y oceanográficas de la época.

Los procedimientos empleados para este primer paso consistirán en disponer de una línea de acceso a los archivos históricos donde se almacena la información por fechas y áreas oceanográficas. La misma aplicación que permite recabar los datos de los archivos, dispone de mecanismos para poder solicitar cálculos con las variables y presentar los resultados, para los siguientes pasos.

- b) En segundo lugar se recaba la información a las estaciones ubicadas en el entorno geográfico del puerto de salida del buque y las situadas en el área del puerto de llegada. Principalmente la información solicitada será la correspondiente a las previsiones con las

¹⁴⁸ Extensive Marked-Up Language.

¹⁴⁹ Maritime Specified Marked-Up Language. Cuya aplicación se estudia en el proyecto del 5º Programa Marco, de la Comisión Europea. MANATEE:

cuales queremos preparar la derrota, normalmente suelen ser a corto (24 horas) y medio plazo (cinco días).

Los procedimientos empleados en éste segundo paso son para almacenar adecuadamente la información para poder ser solicitada rápidamente cuando sea necesaria. Normalmente son mapas de previsiones en superficie, de altura de olas y vientos reinantes, donde además tienen dibujados las posibles evoluciones de los frentes.

- c) El tercer y último paso consiste en disponer de la información que hemos decidido utilizar en el viaje, trazando la derrota y actualizando a medida que avanzamos con la información recibida localmente y externamente, teniendo en cuenta que el viaje se puede realizar en condiciones normales, pero contemplando también los casos de posibles emergencias.

La aplicación que se ha utilizado durante todos los pasos, tendrá definidos los procedimientos que servirán para terminar los cálculos de la derrota y presentar un trazado de la misma. La utilización de teclas de función servirá para que se pueda obtener una presentación parcial de los diferentes puntos de cambio de rumbo.

5.5.1 Descripción de la operación

El diseño de la aplicación se realizará según los procedimientos indicados, que están basados en los aspectos funcionales de las tareas de control realizadas por el oficial de guardia para conseguir su correcta ejecución, es decir que debe permitir realizar:

- a) **Seguimiento.** Significa que en cada momento se debe tener un seguimiento histórico y estadístico de las diferentes posibles derrotas trazadas y de la información que llega a los equipos del buque. Para ello es importante que aparezca en la pantalla la información relativa a referencias, actuales e históricas respecto de la situación del buque en cada momento. De modo que es necesario contar con indicadores de presentación del rumbo actual, el rumbo deseado y el ángulo de caída de la proa; todo ello en un solo gráfico. Estos indicadores deben de tener una sensibilidad suficiente como para permitir captar los cambios de estado del elemento solicitado, pudiendo comparar el estado actual con el estado deseado. Esto significa una conexión desde la giroscópica y el GPS a la estación de trabajo de planificación.

Para identificar cada situación, se le debe asignar una alarma que actuará de forma diferenciada respecto de la operativa normal del sistema, esto permitirá realizar un mejor seguimiento de cada derrota y adoptar medidas correctivas si fuera necesario.

- b) Modificación.** La posibilidad de introducir modificaciones, para compensar los desvíos entre la situación actual y la deseada, es imprescindible para minimizar el error que se podría haber cometido en algunos momentos si no se realiza la corrección.

Los cambios efectuados respecto al estado de seguimiento anteriormente descrito, deben de poder realizarse de forma sencilla, para ello es importante que los accesos a los datos sean rápidos, para lo cual la información debe estar perfectamente estructurada. El panel de control dará acceso también mediante las teclas correspondientes, para realizar modificaciones de forma automática de la posición del timón, para cambiar el rumbo. Piloto automático, propulsores en proa y demás equipos podrán ser accesibles para casos de emergencia, por ejemplo maniobras rápidas.

- c) Anticipación.** Las dos tareas anteriores están complementadas por la que denominamos anticipación, es decir que debemos tener un control del procedimiento y podernos anticipar a la evolución de una tarea mal diseñada, para evitar el desarrollo de acciones negativas respecto a las derrotas trazadas y que hayan sido modificadas por variaciones de las condiciones del entorno. La anticipación sería aplicable también en el supuesto de disponer en el sistema, de módulos de previsión de la evolución de la situación del buque en función de las condiciones actuales.

Las funciones de control manual tienen que permanecer siempre activas para poder realizar la variación de cualquier fallo que haya sido localizado mediante los sistemas de depuración de errores de la aplicación.

Los procedimientos utilizados han sido preparados mediante los protocolos existentes, según el sistema de programación utilizado en la aplicación lo cual permite, cuando es necesario, introducir variaciones en las tareas que integran el procedimiento, para optimizar su funcionamiento.

5.5.2 Criterios operativos

Las operaciones que es necesario llevar a cabo son avaladas por unos procedimientos donde mediante fases debidamente estructuradas se ejecutan. Además de cumplir los niveles de ejecución descritos, se le deben aplicar algunos criterios para mejorar los aspectos funcionales. Entre estos se deben de considerar:

- Disponibilidad de la información suficiente, para cubrir las necesidades de navegación y de seguridad en cada momento.
- Compatibilidad de los datos presentados con los generados y los recibidos de otras estaciones o del exterior.
- Posibilidad de valoración y evaluación de la información calculada, por parte del piloto para la posterior ejecución de las tareas programadas de forma automática. Esta posibilidad se tiene en cuenta para permitir al factor humano tener un criterio supervisor de la información final.
- Contraste de la fiabilidad y seguridad de la información que nutrirá cada operación individual y en conjunto.

Es necesario que el usuario reciba la información adecuada en cada momento y según sus necesidades, para lo cual la aplicación de los criterios expuesto es básico. Es importante también tener en cuenta los formatos de presentación, es decir que una integración de la información ayudará a relacionar las funciones de planificación, seguimiento, modificación y control de las derrotas.

5.6 Ergonomía

Las características ergonómicas de la Estación de Planificación tienen su origen en un modelo, sobre el que se experimenta buscando cuales son las soluciones más idóneas para que el usuario trabaje de la manera más confortable y segura.

En el desarrollo de esta tercera fase de la tesis, se plantean una serie de interrogantes fruto de la investigación y estudio de las normas existentes, que se solucionan indicando los criterios que deberán ser aplicados. Las tripulaciones han sido reducidas de tal forma que las estaciones de trabajo deben tener muy en cuenta los criterios ergonómicos a la hora de su diseño. Los expertos coinciden en que los accidentes imputados al factor humano tendrán una reducción considerable al aumentar el número de criterios ergonómicos aplicados a las estaciones de trabajo.

Antes de presentar los criterios ergonómicos, se analizarán dos aspectos que influyen en ellos, las condiciones ambientales del puente que indudablemente, van a repercutir sobre la estación y la configuración que debe adoptar el sistema de presentación de datos, centrando la investigación sobre nuevas soluciones o modificaciones de los actuales estándares, con el objetivo final de ayudar a los usuarios.

5.6.1 Condiciones ambientales

La configuración del sistema de presentación de datos necesita un estudio paralelo de las comodidades que debe reunir el puente, para que el ambiente de trabajo tenga unas condiciones que lo hagan agradable, ya que es necesario tener en cuenta que el oficial de guardia pasa bastantes horas trabajando en solitario y que es un espacio permanentemente habitado.

La valoración de las condiciones ambientales está condicionada por otro factor, el tamaño y tipo de buque, ya que el espacio disponible variará. La ambientación del puente debe incluir detalles, como la decoración y una distribución armonizada del espacio disponible, lo cual estará justificado por la importancia del trabajo desarrollado en él. Esto lleva a considerar factores que afectarán en general al interior del puente y factores que se tendrán en cuenta en forma de criterios para la estación meteorológica-oceanográfica, pues ambos pueden influir en la interacción que se produce entre el usuario y las estaciones de trabajo.

Los apartados desarrollados pretenden abordar algunos de los principios generales sobre la distribución física de un puente integrado con la intención de obtener detalles que sirvan de guía en el proceso de diseño y configuración de una estación de trabajo que presente la información meteorológica y oceanográfica.

5.6.2 Descripcin del puente

La futura concepcin del puente tiene como objetivo considerarlo como un centro operativo desde el cual el usuario controla y sigue, las principales funciones del buque, caracterizndose por la adquisicin y presentacin por medio de diferentes recursos de informacin, usando un nmero determinado de estaciones de trabajo.

Los principios sobre los que se est investigando actualmente para contabilizar los diferentes componentes utilizados en el diseo del puente integrado se dividen en dos grandes apartados, por un lado los relativos al propio diseo interior del puente debe de permitir el paso seguro entre todas las estaciones de trabajo, considerando incluso condiciones extremas de los movimientos del buque, (por ejemplo, balance y cabeceo) y disponer de un entorno adecuado; por otro lado el acceso directo sin obstculos desde el exterior al puente de gobierno.

Los requisitos en cuanto a ambientacin fsica que deben de cumplir las estaciones de trabajo, estn relacionados con el alcance fsico de los propios instrumentos por parte del usuario, adems de la correcta visibilidad y lectura; de la informacin en las pantallas y equipos, principalmente.

5.6.2.1 Equipamiento en el puente

Las especificaciones que deben cumplir los equipos son preparadas por los fabricantes, constructores y diseadores, los cuales deben seguir las normas dictadas por las organizaciones internacionales en cuanto a estndares y homologacin. El equipo debe haber sido diseado para cumplir los criterios establecidos que deben facilitar la labor del usuario, proporcionando la informacin necesaria de forma rpida, clara e inteligible, es decir, que el aspecto ms importante para la estacin es la coherencia que debe haber entre los principios e ideas tcnicas que lo sustentan.

Los equipos de la estacin seran descritos atendiendo tanto al hardware como al software usados que responderan a las recomendaciones presentadas en los apartados anteriores. Los componentes fsicos tendrn una arquitectura abierta, estandarizada y con redes conectadas en tiempo real, trabajando con un software, constituido por un sistema operativo sustentado por

protecciones que lo hagan inmune a agentes exteriores. Las aplicaciones estarán desarrolladas en un entorno "amigable" al usuario.

El diseño físico actual y futuro de las estaciones de trabajo se basa en las actuales técnicas que permiten realizar simulaciones con poco coste, que debido a su flexibilidad favorece introducir las variaciones oportunas en el proceso de diseño físico de todo el sistema y a su vez compatibilizarlo con la componente humana, obteniendo un producto depurado. El paso previo en el procedimiento de formulación de principios será la definición clara de las tareas y procedimientos a desarrollar en cada estación.

5.6.2.2 Distribución de estaciones

La estación deberá estar ubicada en el puente teniendo en cuenta los demás equipos que integran el diseño final de lo que constituye sistema de puente integrado, es decir, que habrá limitaciones, que condicionarán las medidas de la estación, la primera el espacio físico del propio buque. Por ejemplo un puente tecnológicamente avanzado, estaría constituido actualmente por:¹⁵⁰

a)- Una primera línea situada en la parte frontal y formada por tres estaciones de trabajo:

- Pantalla y consola de navegación, situada en el centro. Permite la navegación y seguimiento del viaje y el intercambio de datos con pantallas de otras estaciones. Esta estación, podemos considerarla como la principal estación para el manejo del buque y está concebida para trabajar con una presentación integrada de toda la información y operativa del equipo para controlar y evaluar el movimiento del buque. Desde ella es posible operar el buque de una forma segura especialmente cuando se requiere una secuencia rápida de acciones.

El equipo de comunicaciones al servicio del usuario sentado en el asiento de estribor, se compone de un teléfono que puede ser conmutado a todos los usos. A la vez se dispone auriculares para tener las manos libres. El asiento de babor está equipado con el mismo tipo de teléfono además de otro auto generable que se usa para comunicaciones de emergencia con la máquina.

¹⁵⁰ Basado en la MSC/Circ.982, de 20 de diciembre de 2000, futura regla 15/V del SOLAS.

- Pantalla y consola de radar/arpa, situada a la derecha de la de navegación. Constituye la estación de trabajo desde la cual se puede permanentemente obtener datos del exterior y de las cartas almacenadas en sistemas de bases de datos. También puede ser utilizada, cuando están presentes varios miembros de la tripulación trabajando en el puente, para descargar al navegante y realizar otras operaciones o llevar a cabo las funciones de control y vigilancia por parte del Capitán o el práctico.
- Pantalla y consola de propulsión, situada a la izquierda de la de navegación, conforman la estación que monitoriza todos los elementos de propulsión del buque, presentando los valores de los sensores distribuidos por toda la cámara de máquinas.

b).- Una segunda línea formada por otras tres estaciones:

- Pantalla y consola de planificación de derrotas meteorológica / oceanográfica, situada en el centro. La función de esta estación de trabajo es la de planificar las posibles derrotas que el buque puede seguir. En los sistemas de la estación se recibe y almacena toda la información generada durante cada viaje.
- Pantalla y consola de operaciones, situada a la derecha de la estación de planificación. Es la estación desde la cual se controlan los parámetros de la seguridad del buque, en todas sus áreas. Se realizan y monitorizan las operaciones de carga / descarga, y manipulación de los lastres.
- Pantalla y consola de comunicaciones, situada a la izquierda de la estación de planificación. Estación de trabajo en la que dispone de los equipos para la operativa y control de todas las comunicaciones de emergencia, rutina y seguridad.

Para completar esta descripción del contenido del puente, se dispone de una estación para el gobierno manual del buque desde la cual, por razones de seguridad o por necesidades de la navegación, el buque puede ser gobernado por un timonel en la posición de pie. También se incluyen, por supuesto, los espacios dedicados a servicios, por ejemplo, aseo, descanso, elementos auxiliares (cartas, banderas, libros).

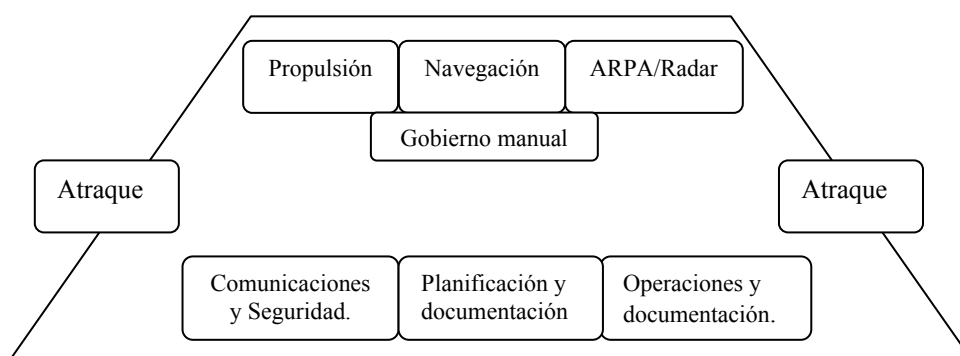


Figura 22 : Ejemplo de áreas de función, con la posible localización de las estaciones de trabajo

En la figura anterior se plantea configuración propuesta de puente integrado.

Profundizando algo más en la estación principal, diremos que se presenta la información táctica, que se utiliza en cada momento durante el viaje e integra la derrota prevista sobre la carta de la zona, que a su vez, obtiene su información a través del ECDIS, ARPA e información propia para la derrota del buque, pudiendo controlar el buque y los todos sus movimientos para la prevención de los abordajes y varadas. En la operativa de un solo oficial e el puente, la información de navegación se presenta frente al usuario y en algunas configuraciones de puentes integrados esta pantalla central puede ser utilizada para el sistema ECDIS.

5.6.2.3 Análisis de una configuración integrada

La justificación de los aspectos que se han considerado anteriormente, nos lleva a realizar un análisis de una configuración general de puente integrado. Para ello se deben de tener en cuenta tanto los aspectos físicos de las estaciones como el del tripulante, ya que ambos componentes van a permitir interrelacionar sus características, creando un sistema que facilite la labor del usuario dentro de él.

Una premisa fundamental que debe de cumplir la disposición de un sistema de puente integrado, es la capacidad de ofrecer al usuario la posibilidad de ejecutar tareas de forma segura, eficiente y cómoda; con el fin de cumplir con la misión específica del buque. Estas tareas se pueden realizar teniendo en cuenta los aspectos de medidas de diseño con relación a

las dimensiones físicas de los usuarios y la visión exterior que se desee obtener, ya que ambas proporcionan una relación funcional entre el usuario y el sistema integrado.

Dichos aspectos se pueden resolver según los aspectos físicos y funcionales que se detallan:¹⁵¹

- Medidas de diseño, en relación a las dimensiones físicas de los usuarios y la visión exterior que se desee obtener.
- Relación funcional entre el usuario, el centro de control, la visión exterior y los instrumentos empleados.

Dichos dos conceptos, desembocan en dos grandes opciones de disposición, en las que como en los sistemas actuales encontramos una estación de trabajo para el oficial de guardia de navegación, otra estación de trabajo paralela en la misma consola, y otra última destinada a la planificación de la derrota en la estación de trabajo correspondiente, o la opción de una sola estación de trabajo que englobe todas las funcionalidades.

Para la valoración de la validez de los conceptos previamente citados, en el caso del concepto ATOMOS, se utilizó la base de datos antropométrica *Antro '95*, referida a la población juvenil de nacionalidad holandesa y su extrapolación para la determinación de las medidas antropométricas de la población adulta para el año 2015.¹⁵²

Para la evaluación se tomaron dos dimensiones humanas características: altura total y altura en posición sentada. De modo que la evaluación se realizó respecto a las dos posturas más habituales en la operativa del centro de control (de pie y sentado), y en concreto el estudio realizado¹⁵³ en las siguientes situaciones:

- Posturas de pie:
 - Usuarios detrás de la consola de navegación
 - Usuario detrás de la consola de planificación de derrota

¹⁵¹ PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K., HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of the standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and Virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute.

¹⁵² PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K., HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of the standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and Virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute.

¹⁵³ PUNTE, P.A.J.; OUDENHIJZEN, A.J.K., HIN, A.J.S. (1998). *Design of the layout of the standardised Ship Control Centres using Human Modelling Systems and Virtual Environment techniques*. TNO Human Factors Research Institute.

- Usuario en las puertas de salida al alerón
- Posturas de sentado:
 - Detrás de la consola de navegación
 - Detrás de la consola de planificación de la derrota

Para la evaluación del alcance de la mano, se efectúan pruebas con los modelos humanos para alcanzar objetos determinados pertenecientes al diseño analizado (teléfono, teclado, ratón, joystick del timón, inter alia).

Las investigaciones actuales buscan también optimizar la visibilidad y la lectura de todos los instrumentos, para garantizar un campo visual perfecto para el usuario tanto cuando esté de pie como sentado. Para ello los asientos tienen un sistema que permite adaptarlos a diferentes elevaciones, partiendo de un nivel de referencia.

El número de pantallas que debe de haber en un puente integrado no está estandarizado, depende de los diseños adoptados por los fabricantes, y por el momento aún no ha sido fijado. Según la tecnología utilizada no es posible, por ejemplo, combinar la información de navegación con la relativa al Radar, debido a incompatibilidades, lo cual supone aumentar el número de las pantallas. Normalmente existen dos puestos sentados y uno de pie para la tripulación, desde las posiciones de sentado se debe tener alcance a todas las pantallas de primera línea. El puesto de pie es, como se ha dicho, para gobernar el buque manualmente.

La disposición expuesta, permite que un segundo usuario diferente al Oficial de guardia, como el Capitán o el práctico, ocupen el asiento de babor frente a la estación de navegación y que pueda consultar la información. El puesto de babor, en algunas circunstancias, por ejemplo, maniobrando en demanda de puerto, suele ser ocupado por la persona que tenga los controles de máquina, pudiendo variar los parámetros de trabajo de los equipos de propulsión a través del teclado. El puesto de estribor, debe poder acceder a todos los canales de comunicaciones y navegación.

5.6.3 Criterios ergonómicos

Una premisa fundamental que debe de cumplir la disposición de un centro de control, es la capacidad de ofrecer al usuario la posibilidad de ejecutar tareas de forma segura, eficiente y cómoda; con el fin de cumplir con la misión específica del buque.

La información que ha sido procesada tiene como meta final su presentación para ser utilizado por el usuario. Teniendo en cuenta todos los criterios establecidos, se propone una pantalla de trabajo en la cual fundamentalmente se procura facilitar los datos que el oficial de guardia necesita en cada momento para seguir la derrota que ha sido planificada con antelación.

También se deben tener en cuenta los requisitos ergonómicos apuntados por la regla 15/V del SOLAS, que se centran en los siguientes puntos:

- la disposición del puente,
- el ambiente de trabajo,
- la disposición de las estaciones de trabajo,
- las alarmas,
- los dispositivos de información,
- la forma de presentación de la información,
- y el control interactivo.

Las características físicas ambientales determinan los criterios que se deben implementar para el bienestar de la tripulación. Otros criterios basados en sistemas de simulación y técnicas de realidad virtual, nos llevan a obtener los requisitos necesarios para implementar un diseño ergonómico.

Apuntando en primer lugar las necesidades, para el diseño ergonómico del puente, vemos que se tiene en consideración el campo de visión, la disposición de los equipos, la accesibilidad a las pantallas y estaciones de trabajo, y la posibilidad de movimiento dentro del mismo.

Tenemos que considerar un criterio sobre el campo de visión, que exige que al menos desde la estación de control y la de navegación, permita ver hasta 22,5° a popa del través y que los sectores ciegos en total no excedan los 20°, siendo el total máximo de arco ciego producido por

la carga o elemento de carga, de 10°, para poder cumplir con la legislación. Actualmente se pretende ir mas lejos y el campo de visibilidad no debe ser obstaculizado, construyéndose puentes de 360° de visibilidad desde todos los rincones.

Se debe aplicar un criterio ergonómico sobre la inclinación de las ventanas del puente, matizando la utilización de pantallas de filtro solares y elementos limpiadores de lluvia (vista claras), capaces de proporcionar una visión del exterior cuando exista una cerrazón de lluvia.

La ergonomía se aplicará a la disposición de los diferentes equipos y estaciones de trabajo dentro del puente, buscando que su ubicación no impida permitir vigilar la zona frontal de la superestructura del puente y facilite el acceso a los equipos para operaciones rutinarias de mantenimiento.

Los dispositivos, pantallas y controles se agruparán de una forma lógica y por funciones, coincidiendo en su localización de una consola a otra. Los controles y sus pantallas, serán fácilmente legibles mientras se utilicen y serán debidamente espaciados entre sí. La propia regla continúa con detalles de situación de la información en función de su importancia, de la iluminación y otras consideraciones.

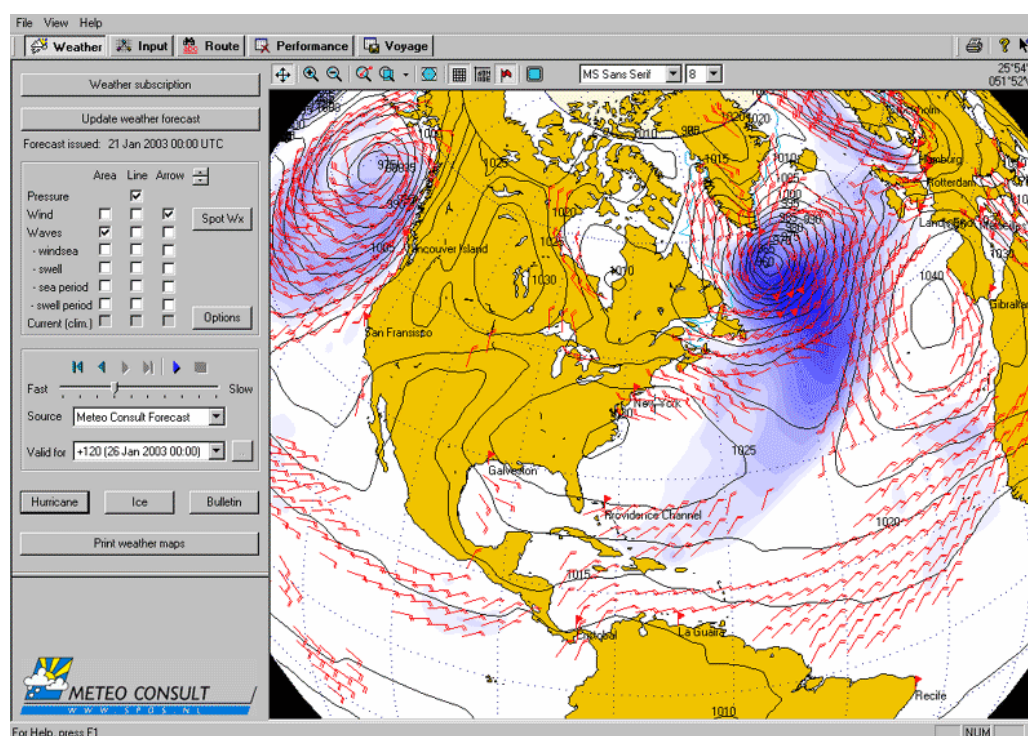


Figura 23: Ejemplo de pantalla de la compañía Meteconsult.

Considerando que el tema ergon3mico est1 siendo investigado por numerosas organizaciones indicaremos que algunas sociedades de clasificaci3n disponen de una notaci3n de clase relativa a la guardia efectuada por un oficial solo en el puente, por ejemplo, *Det Norske Veritas*¹⁵⁴. En dichas normas, se propone un esbozo de est1ndar para el dise1o de sistemas SCC (disposici3n f1sica de estaciones de trabajo y campo de visi3n exterior). Parecidos requisitos, se han fijado por parte de la OMI¹⁵⁵, para el dise1o de sistemas SCC en general, y por la ISO¹⁵⁶ para el dise1o de puentes operados por un solo oficial de guardia.

5.6.4 Presentaci3n de datos

Los conceptos que se van a manejar para la presentaci3n de datos son los relativos a las variables meteorol3gicas, teniendo en cuenta la incidencia que tienen sobre la derrota del buque. El n1mero y tipo de datos que considero m1s necesarios para poder tomar la decisi3n de continuar sobre la misma derrota programada o desviar el rumbo, son principalmente el oleaje y el viento, adem1s de la posibilidad de nieblas o la existencia de ciclones tropicales.

Para ello se dispondr1 en la estaci3n de trabajo de planificaci3n de derrotas, de una pantalla de TFT y de una serie de men1s que contendr1n diferentes elementos que puedan ser llamados y nos faciliten la presentaci3n de la informaci3n en cada momento, permitiendo adem1s seleccionar la que es m1s 1til en cada momento al oficial de guardia.

Las investigaciones realizadas sobre diferentes productos comerciales indican que en muchos casos se supeditan las caracter1sticas est1ticas o de presentaci3n que favorecen la comercializaci3n de los equipos, sobre algunas consideraciones t1cnicas u operacionales; lo cual pone de manifiesto ciertas carencias, que aqu1 pretenden ser resueltas en lo posible.

Los principios y est1ndares de dise1o que se indican como necesarios para la Estaci3n de Planificaci3n, pueden acabar centr1ndonos en el desarrollo de una estaci3n de trabajo que

¹⁵⁴ DNV (1991). *Rules for Classification of Ships, Newbuildings, Special Equipment and Systems*. Additional Class, Part 6, Chapter 8, Nautical Safety, Sect. 1 D 203, Class Notation for W1 (Watch One).

¹⁵⁵ IMO NAV 45/6. (1999). *Report of the correspondence group for ergonomic criteria for bridge equipment and layout*. Anexo (borrador) de Performance Standards.

¹⁵⁶ ISO/CD 14612. (1999), *Ships and marine technology. Ship's bridge layout and associated equipment for one person operation. Requirements and guidelines*.

realice las funciones de recepción, transmisión, registro y presentación de los datos meteorológicos y oceanográficos.

Los datos presentados deben de ser lo suficientemente claros, para que el oficial pueda en una rápida ojeada identificar el parámetro que se le está mostrando, especialmente el caso del tamaño de la grafía y su color, siendo fácilmente legibles.

5.6.4.1 Principios ergonómicos

En apartados previos, se ha concluido que en el diseño de consolas y la disposición de los instrumentos, se deben de tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- La funcionalidad de las consolas se mantendrá estando el usuario de pie como sentado.
- Facilidades para poder realizar las funciones de mantenimiento.
- Claridad en la presentación de la información.
- La instrumentación incorporada se basa en alcance, visibilidad, claridad y prioridad; en sus componentes.

Indudablemente para establecer unos principios ergonómicos es necesario una serie de pruebas que pueden hacerse mediante simulación (modelos matemáticos) o con modelos físicos a escala, esto nos permitirá determinar las necesidades ergonómicas que hay que cumplir.

Los principios ergonómicos constituyen los requisitos mínimos para proporcionar seguridad que evite el accidente, por ejemplo:

- Calidad ergonómica para prevenir las molestias producidas por adoptar posturas defectuosas durante los períodos de trabajo.
- Selección del sillón, con las medidas adecuadas a la altura del operador y de la consola, disponiendo de mecanismos de ajuste fácilmente operables.
- Disposición de asideros sobre el contorno de la estación para aguantar los movimientos bruscos del buque.
- Colocar cantos romos en las esquinas de la estación.

- Dimensiones de las superficies adecuadas a los mandos, teclado, pantalla y mesa que componen la estación. Debe permitir la colocación de los elementos enumerados evitando las posturas con torsión de tronco o giros de la cabeza. Las medidas mínimas recomendables pueden ser:
 - Mesa de 150 cm de ancho por 70 cm de profundidad, para poder colocar una carta de papel o un *Pilot Chart*.
 - Pantalla TFT de al menos 20 pulgadas. La utilización de monitor de TRC obligan a disponer de mayor profundidad de la mesa, para que el operador pueda mantener una adecuada distancia visual a la pantalla de al menos 40 cm.
 - Altura del conjunto, la cual permitirá ser reducida teniendo en cuenta la existente incorporación de oficiales de talla estadísticamente menor, como mujeres u oficiales asiáticos.

Sobre el monitor se visualizarán los datos que debe reunir una serie de características que debemos considerar incluidas en los principios ergonómicos:

- Caracteres de la pantalla bien definidos, configurados de forma y colores claros y de una dimensión suficiente.
- Imagen estable sin destellos, centelleos o cualquier inestabilidad.
- Posibilidad de ajustar la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, para adaptarlos a las condiciones del entorno.
- No deberá tener reflejos ni reverberaciones molestas.
- Será orientable e inclinable a voluntad.
- Dispondrá de tratamiento antirreflejo.

5.6.4.2 Estación de planificación de la derrota

La consola de trabajo o estación utilizada para la planificación de la derrota, es un módulo que debe reunir las mismas características físicas en cuanto a medidas y diseño que las otras estaciones del puente. Estará equipada para recibir información de tipo meteorológico tanto externa como interna y además permitir integrarla de forma que sea útil para preparar diferentes derrotas. Se podrá realizar un análisis de diferentes derrotas lo cual ayudará a lograr

un trazado óptimo de la futura derrota que debe seguir el buque, para trasladarse desde el punto de origen al de destino. Físicamente deberá ser robusta, ergonómica y lo más compacta posible.

Pantalla

La pantalla debe disponer de los mandos adecuados que puedan centralizar la información necesaria en cada momento. La tecnología actual de construcción de pantallas, favorece la normalización del uso de pantallas TFT, que evitan los reflejos y favorecen la visión desde cualquier ángulo, además permiten la reducción en la altura de la estación de trabajo. Dichas pantallas planas, de hasta 20 pulgadas, reducen la altura de la consola considerablemente, de modo que el futuro se dirige por este camino, al menos en nuevas construcciones, en las que su superior coste no es determinante.

Respecto a los mandos, la integración de los controles de la estación en el software, mediante teclado y pantalla, favorece su utilización y proporciona velocidad, lo cual es un factor determinante en la toma de decisiones, cuando nos encontramos ante una emergencia. Además las pantallas planas podrán ser operadas de forma táctil, lo cual aumenta aún más la velocidad de operación y reduce el espacio total de la consola.

Mesa de cartas

Para facilitar el uso de cartas convencionales como las *Pilot Charts*, las cuales según la IMO deberán de mantenerse como back up,¹⁵⁷ existirá un espacio llano a modo de mesa de cartas, reservando el espacio inferior a la misma para las baldas donde guardarlas.

La mesa de cartas y la pantalla de la estación de trabajo de planificación de la derrota se disponen formando un ángulo que permite la consulta mutua por parte del usuario además de facilitar al mismo, la introducción de la información en el ordenador de la estación.

La altura de la mesa de trabajo, debe de incrementarse en proporción al tamaño de los monitores, por tanto mediante el uso de pantallas planas, se puede reducir la altura total del conjunto.

Comunicaciones

El trasvase de información desde la Estación de Planificación hacia las otras estaciones debe ser constante y fluido, para lo cual las redes de comunicaciones interiores deben trabajar con datos compatibles y formatos iguales. Los sistemas de recepción de datos deben estar abiertos para almacenar la información que se pueda recibir o recabar *on line*.

Es obvio entonces que lo normal es que todas las estaciones del puente integrado puedan estar interconectadas, porque pueden trabajar en cualquier momento, y no solamente cuando en puerto preparamos las derrotas, ya que al tener la opción de recibir la información actualizada desde las estaciones de tierra, se deben modificar las derrotas.

Volviendo a las implicaciones que supone la introducción del OMBO, está claro que los SCC deben ser diseñados para poder ser operados por un solo usuario, por lo cual en muchos momentos se necesitará acceder a toda la información a través de una única pantalla.

5.6.4.3 Sistema de presentación

Las investigaciones realizadas sobre la necesidad de implementar ciertos criterios para poder centralizar la información en la Estación de Planificación, me ha llevado a presentar un modelo que será utilizado en el ejemplo de derrota analizada. El diseño que se describe a continuación intenta de algún modo soslayar algunas de las deficiencias encontradas en los actuales modelos de los productos existentes en el mercado que muestran limitaciones, no obstante cumplen los mínimos establecidos por la Organización Marítima Internacional.

El sistema de presentación que se muestra es también el fruto de la experiencia adquirida desarrollando Proyectos Europeos en los cuales se han tratado temas de presentación de la información a bordo.¹⁵⁸

Si partimos del tratamiento comercial realizado a la información facilitada por las organizaciones actuales, vemos que:

¹⁵⁷ En el caso de la cartografía para la navegación.

¹⁵⁸ Proyectos del 4º y 5º Programa Marco de la Comisión Europea, como el DISC II o el ATOMOS II.

- En la mayoría se utilizan los mismos datos y formatos, partiendo de plataformas que usen sistemas operativos tipo windows para operar en los ordenadores del puente;
- Las modificaciones apreciadas no son considerables en cuanto a los datos técnicos aportados, pero sí en lo referente a la forma de realizar la presentación de la información. De hecho lo que varía es la estética de los mismos, aunque en su mayoría se asemejan a una ventana clásica de los ordenadores que estamos acostumbrados a usar, con una barra de herramientas en el canto superior de la pantalla.

Una vez establecidos los principios anteriores, paso a la descripción del sistema de presentación, que se hace de manera somera, ya que se considera que no es necesario reflejar todas las operaciones que se realizan en la Estación de Planificación, por lo cual sólo se indican las principales funciones propuestas.

- Pantalla inicial:
 - Planificación de derrotas. En dicha pantalla encontraremos una representación de la cartografía electrónica (ECS) del área por donde se va a navegar, de forma que el propio sistema ubica al buque en un área geográfica, mediante una señal GPS. La escala de la carta se puede variar a voluntad.
 - Menú con presentación de derrotas. Una vez introducidos los valores geográficos de los puertos de salida y de llegada; el software del sistema podrá calcular los diferentes tipos de derrotas que el menú permite.
 - Menú con funciones. Las funciones que se han definido anteriormente como básicas, como las de seguimiento de la derrota, modificación de la misma introduciendo parámetros externos de forma manual y la anticipación, en la que a través de unos sencillos algoritmos, el propio sistema podría prever la futura evolución del barco en función de las condiciones de tiempo y mar reinantes.
 - Barra de herramientas superior, con diferentes funciones para la recepción de los últimos datos disponibles, procesamiento de datos, comunicaciones on-line y archivos históricos.

Una vez comentadas superficialmente, paso a detallar las funcionalidades de cada una:

- Derrotas, en la barra de herramientas inferior:

1.- Derrota meteorológica.

Consideramos esta, como la trazada a partir de la información que con un rango de previsión máximo de 72 horas, el sistema puede trazar hasta el límite temporal de la información recibida. Es por tanto una derrota que se basa en una información estática no actualizada. Un algoritmo permitirá al software del sistema, calcular el rumbo que menos afecte la seguridad del buque considerando:

- La altura de ola significativa máxima tolerada por la estructura del buque
- El viento máximo soportable por la cubierta del buque
- La posibilidad de entrar en sincronismo con el período de encuentro de la ola o de balance paramétrico.
- En el caso de aviso de ciclón tropical, saltaría una alarma advirtiendo al piloto de que su criterio debe imponerse por razones de seguridad; pero en cualquier caso el algoritmo, recomendaría en función de la distancia al vórtice la capa a la mar, hasta la identificación del semicírculo en que se hallara el buque.

2.- Derrota climática.

Para el cálculo de dicha derrota, el sistema busca en su memoria la información de tipo estadístico para la zona de navegación seleccionada. Esto permite trazar una recomendación de derrota más cómoda y rápida en función de las condiciones de tiempo que cabe esperar. Se trata de una derrota útil como comparación a otras diseñadas manualmente.

3.- Derrota sinóptica.

La información que va a utilizar este tipo de derrota, va a ser de tipo dinámico y a escala oceánica; de forma que en este caso, se precisará respaldar al sistema de presentación del tiempo con un sistema receptor de datos externos que reciba desde cualquier punto del océano la información externa en forma de cartas de tiempo, de oleaje o de viento; renovada a las horas sinópticas e inmediatamente aplicada a la pantalla. Un algoritmo permitirá al software del sistema, calcular el rumbo que menos afecte la seguridad del buque considerando:

- La altura de ola significativa máxima tolerada por la estructura del buque
- El viento máximo soportable por la cubertada del buque
- La posibilidad de entrar en sincronismo con el período de encuentro de la ola o de balance paramétrico.
- En el caso de aviso de ciclón tropical, saltaría una alarma advirtiendo al piloto de que su criterio debe imponerse por razones de seguridad; pero en cualquier caso el algoritmo, recomendaría en función de la distancia al vórtice la capa a la mar, hasta la identificación del semicírculo en que se hallara el buque.

4.- Derrota ortodrómica.

Esta opción permitiría el cálculo de una derrota ortodrómica pura o mixta mediante la introducción de un paralelo límite de latitud. Al igual que la climática, la considero una derrota que a título informativo nos permitiría compararla con otra derrota elaborada bajo otros criterios teniendo en cuenta que esta es la más corta pero no está vinculada a las condiciones de tiempo reinantes.

5.- Derrota optimizada.

El software del sistema, permitiría introducir un criterio de optimización de la derrota y el sistema calcularía una ruta que maximizara o minimizara el criterio elegido. Los criterios utilizables son:

- Distancia mínima.
- Tiempo mínimo.
- Consumo mínimo.
- Máxima velocidad soportable por la estructura del buque.
- Mínima exposición del buque y la carga a los elementos (muy vinculada al banco de datos estadísticos).

6.- Derrota personalizada.

El software del sistema, permitiría que el piloto decidiera en función de la información presentada, establecer un punto de recalada. El sistema ofrecería un conjunto de datos como:

- la velocidad resultante (en función de una expresión contemplada en el capítulo siguiente),
 - la fuerza de los elementos sobre el buque pudiendo establecer un valor límite por encima del cual se iluminaría un icono de alarma,
 - la posibilidad de entrar en sincronismo con las olas pudiendo establecer un valor límite por encima del cual se iluminaría un icono de alarma.,
 - el consumo, si se introdujera la expresión que calculara este parámetro,¹⁵⁹
-
- Funciones en la columna vertical derecha de la pantalla: Previamente explicadas.

A.- Seguimiento. Permite un histórico del viaje presente y de los pasados.

B.- Modificaciones. Permite modificar algún parámetro, tipo de ruta o criterio de optimización.

C.- Anticipación. El módulo de previsión, daría unos segundos por delante de la evolución esperada del buque.

D.- Introducción. Función que supone la aceptación de los datos introducidos.

Otros menús que se ubicarían en la barra de herramientas superior para llamar a diferentes funciones, son los siguientes:

- Menú para recepción de la información adecuada a la procedencia de los datos.
 - Navtex
 - Radiofacímil
 - Satélite
 - SMSSM
- Menú para el procesamiento de datos.
 - Datos del buque
 - Datos de la carga
 - Altura metacéntrica
- Menú de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite.

¹⁵⁹ Parámetro no contemplado en la Tesis.

- Satélite
 - Internet
 - Telefónico
-
- Menú de acceso a archivos históricos de información. Situaciones similares; acciones tomadas; resultados.
 - Viajes anteriores
 - Pilot charts
 - Derroteros



La figura adjunta muestra la pantalla que presentaría el equipo al encenderlo y como se ha indicado los mandos básicos que debe incorporar, teniendo cuenta que puede ser táctil.

Figura 24: Esquema de la pantalla propuesta del sistema de planificación de la derrota.

5.7 Conclusiones parciales

La metodología utilizada ha partido de una situación actual de la materia, en la que se han contemplado las fuentes de información y los productos ofrecidos por las organizaciones dedicadas a comercializar una planificación de las derrotas a partir de los datos de origen meteorológico y oceanográfico.

Las conclusiones más interesantes de este capítulo, son las que afectan a la presentación y la distribución de información sobre la Estación de Planificación de derrotas, y se caracteriza por un incremento en la seguridad de la operativa por hacerla más amigable e intuitiva y una disponibilidad de tripulación cada vez menor para atender la guardia, hecho que ocurre hoy en día con demasiada frecuencia.

Todas las razones apuntadas van encaminadas a reducir la carga de trabajo sobre el oficial de guardia, facilitando la contestación a los interrogantes que se le puedan plantear durante el viaje.

- Las principales características que definen una estación de planificación, son:
 - Un diseño ergonómico, pensado para poder ser operado por un solo tripulante durante largos períodos de tiempo.
 - Posibilidad de un acceso rápido y claro a toda la información que se precise en cada momento para que el piloto se halle constantemente informado de la situación existente.
 - Disponer de una comprobación automática de los datos mediante alarmas y funciones de seguridad, que además permitan conocer si un determinado parámetro excede de las condiciones de utilización normales del barco.

Los criterios legislativos enunciados apuntan a que:

- No hay legislación suficientemente específica para la presentación de datos meteorológicos y oceanográficos en sistemas integrados para implementar a bordo de los buques, ya que se utilizan normas parciales que han sido propuestas para equipos o elementos empleados en otros menesteres.
- La estación meteorológica y oceanográfica deberá seguir las reglas actuales contenidas en los Convenios Internacionales promulgados por la OMI, la ISO, las directrices de las Sociedades de Clasificación y los estándares de las organizaciones internacionales;
- Los criterios que no sirvan para mejorar la claridad de la presentación de los datos, su integridad y la independencia de otras estaciones, no serán considerados;
- La normativa debe tener en cuenta los principios que actualmente son obligatorios para los diseñadores y constructores en general, incorporando los que han sido contrastados en campos de otras áreas, maritimizando sus características para adaptarlos a las condiciones en las que operan los diferentes tipos de buques.

- La metodología de diseño de una estación de trabajo que forme parte de un sistema SCC, debe por tanto seguir esta normativa, introduciendo incluso las recomendaciones que aún no siendo de obligado cumplimiento, implican una fuerte carga de conocimiento y experiencia; en aspectos relevantes del sistema

Resumiendo y considerando lo anterior como una premisa, los criterios legislativos establecidos, se consideran normas excluyentes, referentes a la estación destinada a la presentación de datos meteorológicos-oceanográficos. Los criterios se nutren de la información contenida en la normativa existente con los aspectos relativos a la tecnología empleada, los procedimientos utilizados y los diseños adoptados, pero siempre respetando la seguridad y estandarización.

Los criterios que tratan de introducir los equipos y tecnología necesaria para la presentación y tratamiento de las variables meteorológico-oceanográficas, deben ser los siguientes:

- Establecimiento de sensores capaces de obtener datos meteorológicos y oceanográficos automáticamente, del entorno por el que navega el buque, para ser incorporados en la estación de trabajo de planificación de derrotas como información local.
- Respetar la compatibilidad electromagnética en todos los equipos para evitar las interferencias que se puedan producir en las transmisiones de datos, además de evitar la misma incompatibilidad en el caso del equipo de toma de datos meteorológicos con las antenas montadas previamente en los palos del buque.
- Respetar la compatibilidad de estándares de comunicación entre los equipos, para evitar la necesidad de interfasearlos. Como criterio por defecto el lenguaje usado, debería ser el de la NMEA 0183, por ser el usado masivamente en el equipo del puente de los buques. Estudiar la posibilidad de aplicar lenguajes de tipo XML¹⁶⁰ para salvar los problemas de compatibilidad e incluso los del tipo MSML.¹⁶¹
- Presentar toda la información meteorológica, junto con la de las derrotas planificadas en una única pantalla, accediendo a las diferentes posibilidades en cuanto a derrotas, mediante

¹⁶⁰ Extensive Marked-Up Language.

¹⁶¹ Maritime Specificied Marked-Up Language. Cuya aplicación se estudia en el proyecto del 5º Programa Marco, de la Comisión Europea. MANATEE:

los correspondientes menús. Desde el punto de vista de la integración, sería conveniente que dicha información exclusiva de la estación de trabajo de planificación, fuera accesible desde al menos la estación de trabajo de navegación; para propósitos de consulta.

Los criterios operativos propuestos se resumen en:

- Los procedimientos para la verificación de la información presentada, pueden llevarnos demasiado tiempo, especialmente cuando se trabaja en situación de tensión. Las recomendaciones realizadas en el párrafo 5.5, son idóneas para resolver estos problemas ya que la simplicidad propuesta, evita la pérdida de tiempo.
- Disponibilidad de la información suficiente, para cubrir las necesidades de navegación y de seguridad en cada momento.
- Compatibilidad de los datos presentados con los generados y los recibidos de otras estaciones o del exterior.
- Posibilidad de valoración y evaluación de la información calculada, por parte del piloto para la posterior ejecución de las tareas programadas de forma automática. Esta posibilidad se tiene en cuenta para permitir al factor humano tener un criterio supervisor de la información final.
- Contraste de la fiabilidad y seguridad de la información que nutrirá cada operación individual y en conjunto.

Desde el punto de vista ergonómico:

- Los criterios ergonómicos deben ser el punto de partida en el diseño de la Estación de Planificación, ya que su aplicación revierte en el bienestar del tripulante, lo cual supone trabajar de forma agradable y cómoda. En principio, podría parecer un factor banal, pero si analizamos su incidencia en las personas, se descubre que la falta de criterios ergonómicos crea una carga de trabajo adicional dado el tiempo que pasa el piloto en el puente durante su guardia y la tensión que puede añadirse en situaciones de tráfico o delicadas.

- La presentación de los datos en la pantalla, debe ser realizada mediante colores, símbolos y abreviaturas estandarizados, fácilmente reconocibles por el usuario y que gocen de la normalización oficial por parte de gobiernos y organizaciones internacionales. De hecho los criterios de presentación usados en la pantalla de una estación, deben de respetarse en las restantes, por ejemplo ubicación física de los datos, colores y tamaños; deben de ser los mismos para cada uno de los datos y funciones; en todas las pantallas.
- La información textual y los datos de las variables, deben tener formatos compatibles con otras representaciones, por ejemplo las cartas presentadas por el sistema ECDIS, para poder superponer ambos datos. De hecho la utilidad de la geo-referenciación de dichos datos a una carta electrónica; es lo que da el valor al sistema, ya que el piloto puede entender el contexto sinóptico en el que está inmerso el buque.
- Una de las premisas que actualmente no cumplen las diferentes estaciones de trabajo desde el punto de vista de la integración, y que se pretende que este sistema cumpla es precisamente la posibilidad de realizar el intercambio de información entre las pantallas de las diferentes estaciones de trabajo en el puente. Para ello es necesario que las mismas manejen datos con el mismo formato o que se deba de interponer un interfaz entre las diferentes estaciones.

6 ANÁLISIS DE UNA DERROTA

6.1 Antecedentes

Los primeros navegantes, gracias a la observación, conocían las variables climáticas locales y sus variaciones que se producían estacionalmente. Cuando los vikingos a partir del siglo X cruzaron el Atlántico, reinaba una bonanza climática que les permitió, conociendo el régimen de vientos en latitudes medias y altas, realizar sus viajes.

Posteriormente y ya en la época de los grandes descubrimientos, los navegantes ibéricos, utilizaban los alisios para navegar hacia las Azores en menos tiempo. El celo en conocer los vientos reinantes en las diferentes épocas del año, respondía a la necesidad de elegir una derrota que les permitiera hacer el viaje en el menor tiempo posible y con la máxima seguridad.

Con el tiempo, se establecieron rutas transoceánicas con el consiguiente incremento del tráfico., que se basaban en el conocimiento de los vientos y corrientes planetarias.

La navegación a vela, especialmente la de los grandes veleros puede ser considerada como el origen de las derrotas meteorológicas, ya que para un velero, es esencial el conocimiento de los vientos prevalentes, para prever su evolución y así preparar la nave para un posible mal tiempo o alejarse o acercarse lo suficiente de los centros de bajas y altas presiones, para mantener una razonable velocidad de crucero.

Posteriormente y con el advenimiento de la propulsión mecánica, los buques a motor se olvidan parcialmente de la importancia de la predicción, dado que ya no dependen del viento como fuerza propulsora.

Sin embargo, los primeros intentos conocidos para compendiar los conocimientos climáticos, se concretan a mediados del siglo XIX, el oficial estadounidense Fontaine, quien recogió datos de vientos y corrientes de todos los océanos, y junto a cooperadores de otros países, escribió las publicaciones, *Physical geography of the sea and its meteorology* y las *Track charts* (Pilot charts).

Seguidamente en el tiempo el almirante Fitz-Roy elabora lo que denominó la “*Teoría de las tormentas*”, para establecer pronósticos de tiempo y recomendar maniobra en las proximidades de los temporales.

Pero no es hasta el desarrollo de las radiocomunicaciones, y en concreto en la telegrafía que se puede empezar a hablar de una red de estaciones observadoras que intercambian su información y que entonces permite realizar pronósticos a una escala más o menos sinóptica, de difusión a escala mundial de los propios partes meteorológicos.

Otro factor determinante en la comprensión del comportamiento del aire y sus consecuencias en la generación del mal tiempo, fue la aplicación de la dinámica de fluidos a la meteorología, cuyo impulsor fue el físico noruego Vilhelm Bjerknes, autor de la “*Teoría del frente polar*”. Se puede afirmar que en la meteorología existe un antes y un después de esta teoría en cuanto a la comprensión y descriptiva de la meteorología.

Los avances en la radiotelegrafía permiten extender una red de estaciones terrestres, que se instalan hasta en los océanos, gracias a buques y estaciones en islas. Pudiendo transmitir la información en forma de partes en horarios establecidos y en lenguas diferentes. Posteriormente y para una simplificación y entendimiento de la transmisión de la información, se utilizaron claves meteorológicas para poder ofrecer una gran cantidad de datos evitando subjetividades, permitiendo a los navegantes que trazasen las cartas sinópticas a partir de esa información.

Las cartas recibidas por radiofacésimil supusieron un gran avance, ya que por primera vez se podía disponer de información muy actualizada. En los últimos años la introducción de mapas obtenidos por satélite y los sistemas de optimización de derrotas a través del software montado en un PC a bordo ofrecen al marino una cantidad y utilidad de información que podrá utilizar en función de las circunstancias en que se encuentre. Con una buena carta facésimil se podrá predecir el tiempo que nos encontraremos por la proa en las próximas 12 horas. Para un buque

que desarrolle una velocidad alta, dicha previsión puede permitir una decisión anticipada como un cambio de rumbo y/o velocidad evitando así el mal tiempo, o a la inversa encontrar la climatología favorable y los buenos vientos.

Los mismos principios pueden aplicarse aunque el buque no desarrolle una velocidad tan elevada como en el caso anterior, un cambio de rumbo audaz bajo circunstancias meteorológicas desfavorables aunque pueda traer consigo un aumento en las millas navegadas, una mejora de dichas condiciones adversas y por supuesto, un ahorro de comestible a la par que una disminución del riesgo de producir daños al buque, carga, tripulación y pasaje. Son los principios básicos de los que un marino se vale al utilizar dicha información, anticipándose a la llegada del mal tiempo, pudiendo tomar precauciones para evitarlo si es que es posible o minimizar los daños reforzando trincaje a bordo antes de su llegada en caso de ser inevitable.

El conocimiento de los avisos de temporal y las previsiones del tiempo en un buque que opera en aguas costeras es igualmente de vital importancia. Incluso ante la falta de boletín meteorológico, carta facsímil u otra información oficial disponible, el marino puede obtener información del estudio de los instrumentos meteorológicos, observación personal y experiencia, junto con el sentido común. Se puede incluso solicitar información por radio a otros buques que operen en la zona para complementar así las informaciones obtenidas de otro modo.

Algunas de las aplicaciones modernas del desarrollo de las derrotas son como ejemplo precoz, las llevadas a cabo por la armada de los EE.UU. que después de los daños sufridos a su flota del Pacífico por el tifón Vera,¹⁶² consideró aplicar los conocimientos meteorológicos y oceanográficos a la predeterminación de derrotas. Es interesante también apuntar que el Real Instituto Meteorológico Holandés es atendido por Capitanes de la marina mercante desde los años sesenta.

6.2 Introducción

En los últimos treinta años, los oficiales de los buques, se han concienciado de la importancia de la meteorología y han empezado a interpretar los avisos meteorológicos que los departamentos marítimos de los institutos meteorológicos, han publicado y emitido a los

buques. A partir del conocimiento del patrón de rugosidad del océano, se puede trazar la derrota óptima, minimizando los tiempos de viaje, consumos y riesgo de daños tanto al buque como a la carga.

Generalmente la previsión del viento y de las olas, es un problema de la meteorología, pero la predicción de las reacciones de la velocidad del buque, se basa en la experiencia obtenida en el mismo buque o en otros similares.¹⁶³ De modo que para un trazado exacto de la derrota de un buque, el oficial precisa de la información también lo más exacta posible de la pérdida de velocidad del mismo en cada condición de mar, generalmente información tabulada como dato de astillero.

Para lograr la derrota óptima que conduzca de un puerto a otro, se deben de contemplar diferentes derrotas en una simulación. Este proceso normalmente se traduce en un algoritmo recursivo desde que el buque parte del puerto de salida, dividiéndose en diferentes estadios.¹⁶⁴ Siendo limitado el desarrollo de este algoritmo, por una serie de carencias y fuentes de error; entre las que entra en juego la capacidad del ordenador y su memoria. Por lo que el problema ha sido el desarrollo de un algoritmo sencillo que utilice las predicciones de mar más exactas y los datos de las prestaciones del buque, de los que históricamente podemos encontrar los siguientes.

a) El cálculo de variaciones o extremos, en el que se utiliza la velocidad del buque como parámetro para obtener el objetivo de tiempo, pero que adolece de problemas cuando se derivan ecuaciones diferenciales de 2º orden (pueden conllevar a errores cuadráticos).¹⁶⁵

b) El método denominado heurístico, el cual es muy parecido al de las isócronas y en el que los frentes de tiempo se desarrollan desde la salida hasta el punto de destino, donde el trazado de la derrota implica un proceso complejo de indexación de cada posibilidad pudiendo llegar a confundirse las diferentes posibilidades cuando se desarrollan gráficamente.¹⁶⁶

¹⁶² MARTÍNEZ de OSÉS, X.2003. *"Meteorología aplicada a la navegación"*, pág.137. Edicions-UPC.

¹⁶³ JOURNÉE J.M, MEIJERS, J.H.C. 1980. *Ship routeing for optimum performance*. Delft University of Technology. Delft.

¹⁶⁴ CALVERT, S. 1990. *Optimal weather routing procedures for vessels on Trans-oceanic voyages*. Tesis. Boston.

¹⁶⁵ BIJLSMA S.J. 1975. *On minimal time ship routing*. Medelingen Verhandelingen Vol.94. Amsterdam.

¹⁶⁶ BIJLSMA S.J. 1975. *On minimal time ship routing*. Medelingen Verhandelingen Vol.94. Amsterdam y MARKS W, PIERSON W.J., VASSILOPOULOS A. et altri. 1968. *An automated system for Optimum ship routeing*. Trans SNAME Vol.76, pág. 2-55. 1988.

c) El método de las isócronas propuesto inicialmente por James¹⁶⁷ en 1957, fue diseñado como un método manual para resolver los problemas de una derrota óptima. Mediante el dibujo de diferentes rumbos del buque que formarían radios cuya longitud se correspondería a la distancia navegada por el buque en 12 ó 24 horas, se obtiene el llamado frente de tiempo que resulta de unir los extremos de todos los radios dibujados. Se selecciona el rumbo óptimo y se repite el mismo proceso hasta la llegada a destino. La llegada de los ordenadores personales sustituyó este método por un algoritmo como el que desarrollaron Hagiwara y Spaans.¹⁶⁸ Quienes se basaban en los cálculos por círculo máximo para minimizar la distancia, la teoría de los frentes tiempo y la distancia ortodrómica restante hasta el puerto de destino.

En 1974 el *Shipbuilding Institute of Hamburg University*, publicó un programa relacionado con esta problemática.¹⁶⁹ También la *Delft University of Technology*, publicó un método de predicción para de la pérdida de velocidad, en función de la potencia del buque, par de la hélice y los movimientos parásitos sufridos en navegación por las olas. Dichos programas pueden ayudar a evitar situaciones peligrosas, minimizando el tiempo de viaje y reduciendo el consumo de combustible. De hecho, la velocidad de un buque depende de la resistencia que el propio barco ejerce en su avance, la acción de la hélice y la máquina, y el comportamiento que el mismo tiene sobre las olas.

La programación dinámica fue desarrollada inicialmente por Bellman en 1957¹⁷⁰ y actualizada en 1962, siendo usada por diferentes autores como Motte¹⁷¹ en 1988. El proceso se ha basado en su principio de optimalidad que establece que una política óptima sea cual sea el estado y decisiones iniciales, las decisiones siguientes deben constituir una política óptima en relación con el estadio resultante de la primera decisión.

De modo que el proceso se puede dividir en una serie de estadios igualmente espaciados dentro de una derrota y que se denomina proceso de decisión de N-estadios,¹⁷² siendo cada uno de estos estadios como una isocorona, formado de un número discreto de puntos, cuyo conjunto forma una trama sobre el océano. De forma que el desplazamiento entre puntos se halla

¹⁶⁷ *Application of wave forecasts to marine navigation. US Oceanographic Office.*

¹⁶⁸ *Practical weather routeing of sail assisted motor vessels. Journal OF navigation. Vol.4, pág. 96-119.*

¹⁶⁹ SCHENZLE P, BOESE P. and BLUME P. 1974. *Ein Programm System sur Berechnung der Schiffsgeschwindigkeit unter Dienst-bedingungen.* Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, bericht nº 303. Hamburgo.

¹⁷⁰ *Dynamic programming.* Princetown University Press. Nueva York.

¹⁷¹ *Ship based weather routeing for the North Atlantic Ocean using Dynamical Meteorology.* 1983. Journal of Navigation. Vol.36, nº.3. pág.480-498.

simplemente por la integración entre los datos del buque y los ambientales; siendo establecida la forma de la trama, por las limitaciones en los movimientos del buque y la ruta óptima hallada a través del sistema.¹⁷³

En los últimos años, hemos presenciado una eclosión y afianzamiento de empresas privadas que mediante un servicio de suscripción a las compañías navieras, proporcionan a los buques de dichas compañías un servicio de entrega regular de cartas de tiempo para que el capitán in situ, pueda valorar la situación y optar por la derrota más conveniente.

Dichos servicios, llamados también “Weather routeing” han sido posibles gracias a la rapidez y ubicuidad de los sistemas de comunicación por satélite y a los avances en la informática; suponiendo un valioso soporte operativo tanto para el Capitán como para el fletador¹⁷⁴.

La derrota óptima para los buques se calcula a partir de la predicción meteorológica en la zona de navegación a medio plazo, actualizándose a diario; junto a otros datos como el consumo de combustible del buque. Un ejemplo de estas empresas es la “WNI Oceanroutes (UK) Ltd”.

De hecho, existe un amplio abanico de sistemas de optimización de derrotas y de proveedores de los mismos, desde los más básicos que ofrecen simplemente paquetes de información meteorológica a los servicios a medida que ofrecen detallados paquetes de información sobre la derrota contemplando las características el buque¹⁷⁵.

6.3 Conocimiento del buque

El conocimiento de nuestro buque y de forma pormenorizada todas las implicaciones que puedan tener sus características respecto a la navegación es esencial, ya que influirán sobre su comportamiento en los diferentes tipos de tiempo y condiciones que encontremos a lo largo de la derrota. Las herramientas que debemos disponer antes de comenzar la planificación de las derrotas son:

¹⁷² ZOPPOLI R. 1972. *Minimum time routeing as an N stage decisión process*. Journal of applied Meteorology. Vol. 11. pág.429-455.

¹⁷³ MOTTE R.H., CALVERT S. 1990. On the selection of discrete grids for on-board weather routeing. Journal of Navigation. Vol.43. nº.1.

¹⁷⁴ OWEN, P. (2001). *Master the weather*. ISFMA Newsletter March 2001.

¹⁷⁵ ANDERSON, N. (2002) *Weather routeing is ship's crucial choice*. Oceanvoice March 2002.

- Documentos e información relativa a los factores que modifican la velocidad del buque, por ejemplo: Ábaco de velocidades en función de la altura de ola, el período y el ángulo de incidencia de las olas sobre el buque.
- Características de la estructura del buque y tipo de carga embarcada, así como, las defensas que eviten el embarque de agua en cubierta. Superficie ofrecida al viento y expuesta al oleaje.
- Curvas de los esfuerzos cortantes y momentos flectores, que es capaz de soportar el buque.
- Configuración de la obra viva (afinada o llena) y apantallamiento que ofrece a la mar y a las corrientes en general.

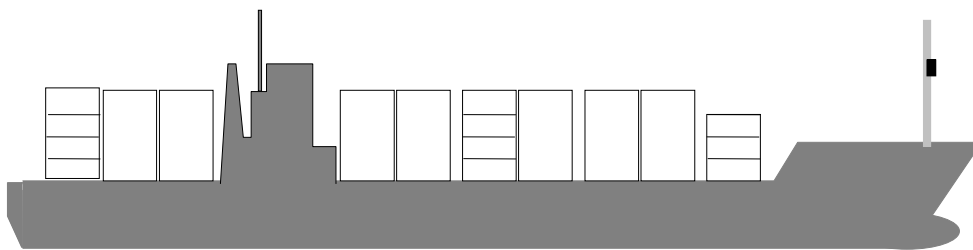


Figura 25 : Esquema del buque propuesto

Eslora sumergida: 120 metros.

Calado: 4 metros.

Eslora del buque: 136 metros.

Puntal del buque: 9,3 metros.

Altura cubertada: 26 metros (a considerar durante 130 metros de eslora, con el puente incluido).

Superficie expuesta al viento: $130 \times 26 = 3380 \text{ m}^2$.

Superficie expuesta a la mar: $120 \times 4 = 480 \text{ m}^2$.

Velocidad teórica de máquina: 20 nudos.

Aparatos disponibles de medida de parámetros meteorológicos: Barógrafo, psicrómetro y termómetro de agua de mar en la toma de refrigeración.

Aparatos receptores: Navtex, radiofacímil e Inmarsat.

Punto de salida: $I = 42^\circ 14'N$ y $L = 008^\circ 50'W$

Punto de llegada: 40° 35'N y L = 069° 30'W

6.3.1 Prestaciones del buque

Los modelos que evalúan las prestaciones de un buque, se basan en los análisis realizados de sus cuadernos de bitácora, representando gráficamente la altura significativa de las olas y el ángulo de incidencia de las mismas sobre él, para poder trazar unos gráficos de curvas de pérdida de velocidad de un tipo de buque concreto. A partir de éstas se han definido una serie de fórmulas empíricas, utilizadas para predecir las velocidades de ciertos buques basados en una serie de coeficientes, como las propuestas por autores como Aertssen y Townsin.¹⁷⁶

Pero una de las expresiones que engloba las ventajas de las anteriores incluyendo factores ambientales como la altura significativa de la ola, ángulo de encuentro con la misma, velocidad relativa del viento y su dirección, además de los del buque como desplazamiento y potencia, son los algoritmos desarrollados por Babbedge.¹⁷⁷

La forma de la ecuación obtenida, ofrece el resultado en nudos de velocidad resultante y responde al planteamiento expuesto a continuación:

$$V_{\text{buque}} = V_{\text{calma}} - (\text{factor oleaje}) - (\text{factor viento})$$

que en el caso descrito, es una fórmula obtenida a partir de los estudios del mismo autor, obtenidos en el buque DART ATLANTIC, un porta contenedores de OCL, de 37369,45 toneladas y 218 metros de eslora entre perpendiculares. Posteriormente los servicios privados de optimización de derrotas, han continuado incidiendo en este problema y desarrollando algoritmos de comportamiento del buque aplicados en sus servicios comerciales y por tanto, no publicados.

Uno de los modelos que se han contemplado como método de cálculo en la presente tesis, y del que se han extraído conclusiones, es la utilizada en el sistema de actualización de derrotas náuticas desarrollado en 1999 por el Instituto Meteorológico de Cuba para la optimización de

¹⁷⁶ CALVERT, S. 1990. *Optimal weather routing procedures for vessels on Trans-oceanic voyages*. Tesis. Boston.

¹⁷⁷ *Ship Speed Analysis*. 1975. Plymouth Polytechnic, Tesis. Reino Unido.

travesías¹⁷⁸. En el mismo, se utilizan las predicciones del centro Europeo para la Predicción a Medio plazo de Reading (ECMWF) que proporciona previsiones válidas de hasta 6 días cada 24 horas para la zona del Atlántico Norte, que es la zona objeto de estudio en nuestro ejemplo. Dado que la resolución de la rejilla de presión es de 5° x 5°, es evidente que resulta insuficientemente exacta como para poder conocer con precisión su valor en cualquier punto de esta área.

No es el objeto de esta Tesis, el de introducir una metodología que parta de una mejora de la exactitud de los datos provinientes de las previsiones mediante interpolaciones de los modelos, para posteriormente realizar correcciones de detalle como la derivada de la marea barométrica.^{179,180} En nuestro caso se tomará la interpolación directa entre dos isóbaras y se contempla que en el caso real, el buque pueda tomar el valor local de presión.

6.3.2 Cálculo de las influencias del medio externo

La resistencia total, que un buque sufre en su avance, se puede separar en varias contribuciones diferentes, siendo las más importantes, las que se reflejan a continuación. La propia resistencia al avance en aguas quietas, puede obtenerse para el caso de buques completamente cargados con una relación de manga-calado de aproximadamente 2.5. Siendo entonces (si no hay más información disponible) asumible que para cualquier otra condición de carga, la resistencia al avance es proporcional a la raíz cúbica del volumen desplazado al cuadrado; de hecho para buques con una alta relación manga-calado como gaseros y buques en lastre puede dar resultados menos exactos. También los efectos del bulbo a diferentes calados y el asiento; afectan la exactitud de la regla.¹⁸¹

En el caso de buques con superestructuras altas o con mucha carga en cubertada, tales como los porta contenedores; la resistencia ejercida por el viento puede ser considerable. Un método bastante exacto para la estimación de la resistencia del viento, fue publicado por Isherwood en 1973; quien analizó los resultados obtenidos, tras testar modelos de buques de diferentes

¹⁷⁸ BORRAJERO I., CALNICK A. 1999. a partir de los partes de tiempo obtenidos del ECMWF y teniendo en cuenta los parámetros de del buque como desplazamiento y velocidad pactada. La Habana.

¹⁷⁹ BERRY F.A., BOLLAY E and BEAR N.R. 1973. *Handbook of Meteorology*. Pág. 1056.

¹⁸⁰ GEDDES A.E.M. 1942. *Meteorology, applied physics series*.

¹⁸¹ JOURNÉE J.M, MEIJERS, J.H.C. 1980. *Ship routeing for optimum performance*. Delft University of Technology. Delft.

tipos.¹⁸² Desarrolló unas formulas empíricas que permiten obtener las dos componentes horizontales de la fuerza del viento y del momento de guiñada inducido en el buque; frente al viento proveniente de cualquier dirección.

A partir de los campos báricos obtenidos, se calculan las matrices de dirección e intensidad del viento además de la altura de las olas. Para ello, se precisaría de una resolución mayor a la proporcionada por los partes de tiempo que reciben los buques, pero haremos la asunción de que el propio buque puede cotejar y contrastar los valores recibidos con los obtenidos localmente; eliminando entonces la necesidad de interpolaciones matemáticas.

Para el cálculo de la intensidad del viento real. La fórmula del viento antitriptico, puede derivarse de las formulaciones más clásicas en las aulas de las escuelas de náutica^{183,184} o la expresión de Abuziarov y Shamraev.¹⁸⁵

$$V_g = 4.84 \cdot (1/\text{sen } \vartheta) \cdot (\partial P/\partial n) \cdot K_r \cdot K_f$$

donde figura el inverso del seno de la densidad del aire, multiplicado por el gradiente de presión (que nos daría el equivalente al viento de Euler) y a su vez multiplicado por un coeficiente que contempla la fuerza centrífuga K_r y el coeficiente del rozamiento K_f .

De hecho, y a efectos de simplicidad si contemplamos el viento geostrófico para el cálculo de la velocidad del viento, no nos alejamos en exceso de la descripción del viento real, nos simplifica su cálculo y además el error que pueda existir entre la realidad y el cálculo, es un margen de seguridad que nos proporciona una velocidad de viento superior a la real, siendo además la inexactitud en la dirección, asumible por pequeña e igualmente teniendo en cuenta la posibilidad de que el propio buque pueda obtener valores locales, tras aplicar las correcciones necesarias.

De todos modos, y a efectos de simplificación el cálculo de viento geostrófico para gradientes de presión de 4 milibares, es aproximada mediante el uso de la siguiente fórmula, donde sea necesario.¹⁸⁶

¹⁸² ISHERWOOD R.M. 1973. *Wind resistance of merchant ships*. Trans RINA Vol.15.

¹⁸³ SÁNCHEZ REUS G, ZABALETA C. 1978. *Curso de Meteorología y Oceanografía*. Subsecretaría de pesca y marina mercante. pág. 139. Madrid.

¹⁸⁴ MARTÍNEZ de OSÉS X. 2003. *Meteorología aplicada a la navegación*. pág. 57. Edicions – UPC. Barcelona.

¹⁸⁵ ABUZIAROV, Z. K. y SHAMAREV I. (1974). *Información hidrológica marina y pronósticos*. Pág. 60. S. Petersburgo.

$$V_g = 35,2 / N \cdot \text{sen } l$$

Donde N es la distancia en grados entre dos isóbaras cuya diferencia sea de 4 milibares y l , la latitud del observador.

La obtención del campo de la ola se basa en la utilización del espectro de Pierson-Moskowits,¹⁸⁷ para mar completamente desarrollado, que permite describir con bastante fidelidad el comportamiento de la mar de períodos bajos. Pudiéndose calcular la altura de las olas significativas H_s , en función de la velocidad del viento, siempre y cuando ésta sea menor de 30 nudos.¹⁸⁸

$$H = 0,0246 \cdot U^2$$

Como mediante esta fórmula, no es posible obtener los datos de la mar de leva, se recomienda hallar una ola combinada, que se obtiene de la suma a la altura de ola de viento, un coeficiente W , que representa la influencia de la ola de leva promedio en mar abierta.¹⁸⁹

$$H_{\text{suma}} = H_w + W \quad \text{en la que } W = 1.5.$$

Otros factores como la resistencia creada por los movimientos verticales del buque, el efecto del timón o el ensuciamiento del casco, deberían de contemplarse para una mejor aproximación a la resistencia sufrida por el buque.¹⁹⁰

6.3.3 Velocidad resultante del buque

La Universidad de Delft, desarrolló un programa denominado ROUTE, en el que se contemplaban todos los efectos descritos y movimiento parásitos del buque a excepción de las

¹⁸⁶ SÁNCHEZ REUS G, ZABALETA C. 1978. *Curso de Meteorología y Oceanografía*. Subsecretaría de pesca y marina mercante. pág. 135.

¹⁸⁷ Descrito en JUANTORENA Y. y BEAUBALLET P. (1996): *Método de cálculo para la predicción del mar de leva*. Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba 2(2): publicación electrónica. La Habana.

¹⁸⁸ BORRAJERO L., CALNICK A. 1999. *Sistema automatizado para la sugerencia y actualización de derrotas náuticas optimizadas, según condiciones meteorológicas*. Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba 1(1): publicación electrónica. La Habana

¹⁸⁹ MOTTE,R (1972). *Weather Routeing of Ships*. pág. 150. London Press.

¹⁹⁰ ISHERWOOD R.M. 1973. *Wind resistance of merchant ships*. Trans RINA Vol.15.

guiñadas. Los parámetros utilizados incluyen el par motor, las revoluciones de máquina y la velocidad desarrollada; siendo su velocidad resultante, proporcional con la resistencia encontrada.

Los resultados fueron contrastados en rutas por el Atlántico Norte, donde las situaciones de fuerza Beaufort 6, son usuales en más del 70% de las veces en invierno y sobre un 45% en verano.¹⁹¹ Se comprobó que en función del tamaño del buque, la resistencia provocada por los movimientos verticales, puede ser considerable. Con mares en estado Beaufort 6, un barco con una eslora de 136 metros y una velocidad de 16 nudos en aguas tranquilas; sufrirá una resistencia añadida igual a la sufrida en aguas tranquilas a la velocidad de 12 nudos.¹⁹²

Todo ello si viene acompañado de la información meteorológica exacta y unas tablas con gráficas de pérdida de velocidad, lo más exacta posibles, permite ofrecer a los Capitanes un buen fundamento para el trazado de la mejor derrota posible. Los movimientos del buque pueden ser calculados junto con la pérdida de velocidad, pero también yace la posibilidad de la reducción de velocidad voluntaria de la misma, en función de los esfuerzos que esté sufriendo el casco.

En nuestro ejemplo, considero que la velocidad teórica del buque modelo, se verá afectada en función del estado de la mar, las corrientes y el viento. Siendo la fórmula utilizada para obtener la reducción de velocidad resultante, la propuesta por Krasiuk¹⁹³ para buques con desplazamiento entre 20 y 20,000 Toneladas y velocidades entre 8 y 20 nudos:

$$V = V_0 - (0,745 \cdot qb \cdot h) (1,0 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot V_0)$$

donde se contempla el desplazamiento D , la velocidad final del buque V , la velocidad en aguas tranquilas V_0 , la altura significativa de la ola h y el ángulo de incidencia de la ola qb , en radianes tomando el través como punto de inicio de la marcación en la que se obtiene dicho ángulo.

¹⁹¹ ISHERWOOD R.M. 1973. *Wind resistance of merchant ships*. Trans RINA Vol.15

¹⁹² JOURNÉE J.M, MEIJERS, J.H.C. 1980. *Ship routeing for optimum performance*. Delft University of Technology. Delft

¹⁹³ KRASIUK B.S. (1971). Cálculo de la pérdida de velocidad de los buques debido al oleaje. Editorial Hidro meteorológica. La Habana.

De modo que conocidos los valores de altura y dirección de la ola de forma puntual, y las características particulares del buque, es posible calcular la velocidad real para cada punto de su trayectoria, siendo los resultados obtenidos en experiencias anteriores, usando la fórmula descrita considerados como buenos resultados¹⁹⁴; en publicaciones como la Guía para la Confección del Informe Final de Viaje¹⁹⁵; además del hecho de que no existe una base de datos en la actualidad que dé respuesta de la velocidad del buque en función de la ola y el viento, para ofertar a los buques que puedan necesitar el servicio.

6.4 Preparación de la derrota

Aunque en principio pudiera parecer que la preparación y uso de los mapas sinópticos es un trabajo a realizar en alta mar, esto no es así. El marino debe analizar la situación atmosférica previsible antes de emprender un viaje para, en su caso, decidir la mejor derrota posible desde un punto de vista meteorológico, e incluso el momento más adecuado para partir y prevenir los temporales que pudieran afectar inicialmente la ruta.

Por lo general todos los puertos importantes cuentan con una Oficina Meteorológica donde es posible recabar la información pertinente, e incluso en muchos de ellos tal oficina suele distribuir diariamente, entre los buques atracados en el puerto, un parte del estado actual y previsiones, pudiendo contar con su ayuda para planificar el viaje. En este sentido conviene tener presente que los partes en lenguaje claro, emitidos por estaciones locales, poseen poco interés, pues de ellos no se infiere el tiempo que encontraremos a rumbo. Es mucho más útil el análisis derivado de los mapas sinópticos y de previsión.

6.4.1 Preparación según la operativa de la estación meteoro-oceanográfica

Los procedimientos establecidos en el capítulo anterior establecen una serie de pasos que antes de iniciar la derrota deberán realizarse.

¹⁹⁴ PADILLA O. 1988. Análisis de los factores hidro-meteorológicos en las derrotas náuticas. Facultad de Ciencias geográficas de la Universidad de La Habana.

¹⁹⁵ Meteoservice Routeing. 1996. Guía para la confección del informe final de viaje.

1) *Encendido de la estación.* A modo de un PC equipado con sistema Windows, la estación de trabajo arranca y carga su sistema operativo con los programas que le permitirán la realización de los cálculos previstos.

2) *Una vez en el menú principal,* se introduce el número de viaje a través de un código que en el caso presente puede ser el 8/03.

a) Si el código ya existe por que se ha abierto en un puerto anterior del mismo viaje, encontraremos ya calculadas las derrotas:

- Climática
- Ortodrómica
- Meteorológica
- Sinóptica
- Optimizada.

El acceso a cualquiera de ellas nos permitirá un:

- Seguimiento, estadístico o histórico.
- Modificaciones que se consideren pertinentes.
- Anticipación a la situación actual.

b) Si el código no existe, el menú llamado nos dirigirá a:

- 1) Procedimientos generales.
- 2) Planificación del viaje.

Dichos procedimientos generales, nos conducirán a introducir:

2.1) Las condiciones del buque:

- a) Características del buque.
Eslora sumergida: 120 metros.
Calado: 4 metros.

Eslora del buque: 136 metros.

Puntal del buque: 9,3 metros.

Velocidad teórica de máquina: 20 nudos.

b) Condiciones de carga.

Altura cubertada: 26 metros (a considerar durante 130 metros de eslora, con el puente incluido).

Superficie expuesta al viento: $130 \times 26 = 3380 \text{ m}^2$.

Superficie expuesta a la mar: $120 \times 4 = 480 \text{ m}^2$.

2.2) Adquisición de la información, a partir de las fuentes documentales:

El ejemplo contemplado, plantea un hipotético viaje con un buque porta contenedores cuya velocidad de crucero es de 20 nudos partiendo de un punto a la salida de la ría de Vigo y recalando frente al faro de los bajos de Nantucket.

a) Derrota por zonas costeras: permitirá acceder a varios ficheros con fuentes de información que nos faciliten datos necesarios para su trazado:

a.1) Bases de datos en los derroteros.

a.2) Bases de datos en los Libros de Faros.

a.3) Bases de datos en las tablas de Mareas.

Toda esta información, será copiada en un fichero nombrado 08/03, que almacenará esta información para ser representada en el momento en que sea requerida.

b) Derrota en mar abierta:

b.1) Base de datos a partir de los Pilot Charts.

b.2) Base de datos con viajes anteriores.

2.3) Adquisición de la información meteorológica y oceanográfica a partir de sus fuentes:

c.1) Avisos a los navegantes emitidos.

c.2) Avisos meteorológicos y de seguridad por el NAVTEX.

c.3) Estaciones proveedoras de información meteorológica y oceanográfica.

Todos estos datos, podrán ser editados y copiados en el fichero que se creará para el viaje concreto.

2.4) Operaciones y cálculos, con los datos contenidos en el archivo creado para el trazado de la derrota que se considere en cada momento más adecuada. Dichas derrotas serán llamadas mediante el menú correspondiente.

Volviendo al menú principal introducimos el código del viaje y los puntos de salida y llegada previstos; iniciándose la planificación de la derrota. Pudiendo presentar en la pantalla:

1. Derrota meteorológica, según la última información disponible.
2. Derrota climática, a partir de los datos estadísticos e históricos. Apartados b.1 y b.2.
3. Derrota sinóptica, según la información meteorológica actualizada cada 6 ó 12 horas tomando la información contemplada en los apartados c.1, c.2 y c.3.

De modo que de acuerdo a la operativa propuesta empezamos el trazado de la derrota mediante, la introducción del código de viaje y los procedimientos generales que se dividen en:

- 1) la introducción de los datos del buque, que están grabados de viajes anteriores.
- 2) introducción de los datos de la carga, con la altura metacéntrica, de la que se obtiene el período de balance resultante y la altura de la cubierta a efectos de apantallamiento frente al viento.
- 3) introducción de los parámetros geográficos, como puntos de recalada la salida y llegada del buque y los datos temporales para fijar en la base de datos climática, la época del año en la que se desarrolla el viaje. Este se inicia el día 24 de marzo del 2003 a las 00:00 horas desde un punto a la salida de la ría de Vigo, donde se supone la correcta recepción de toda la información de cariz meteorológico que se ha detallado anteriormente.

4) Adquisición de la información documental localizada partir de la fijación de las coordenadas de inicio y fin de viaje y que permitirá obtener información de publicaciones generales como los derroteros, climática y de fuentes de datos de las condiciones del tiempo, que en este caso serán.

Básicamente la recepción de los partes de tiempo en canal VHF desde el centro de coordinación regional de La Coruña en el canal 26 a las 09:50, 11:50, 21:50 o el propio centro de Vigo en el canal 20 de VHF a las mismas horas. Dada la cobertura de la frecuencia de VHF alrededor de 30', se considera que la recepción de los mimos, se va a limitar a la obtenida el día anterior al inicio del viaje.

En cuanto a las estaciones de onda media, y previo aviso en el canal de escucha, podemos atender a las estaciones de La Coruña, que emite a las 08:33, 12:33 y a las 17:33; cubriendo las zonas de Gran Sol, Vizcaya, Cantábrico, Finisterre y Azores que emite en 1 698 kHz; además del centro de Finisterre que emite a las 08:03, 1203 y a las 1703, en la frecuencia de 1 764 kHz; cubriendo las mismas áreas.

Además de los partes en Navtex que emite la estación de la Coruña (D) a las 00:30 y a las 12:30, por tanto desde el día anterior y media hora después de partir; se podrán recibir estos partes, ya que el alcance de las estaciones oscila alrededor de las 200'. Además tenemos las estaciones Británicas, pudiendo seleccionar la estación de Portpatrick "O" que emite a las 01:30,05:30,09:30,13:30,17:30 y 21:30, y ya en la Navarea de Gran Sol, la estación de Niton "D", que emite a las 00:18,04:18,09:00,12:18,16:18 y 21:00.

Cabe suponer que dada la situación meteorológica; recibiremos un aviso de temporal notificando una tormenta extratropical de 989 hPa en $l = 45^{\circ} 00'N$ y $L = 030^{\circ} 00'W$, con vientos de >50 nudos, por tanto con vientos máximos de carácter de temporal.

La BBC Radio 4, emite los avisos de temporal o *Gale warnings* cuando las condiciones previstas alcanzan rachas de hasta 51 nudos, y por las estaciones costeras en onda larga, tras una llamada general en 500 kHz, a continuación del siguiente período de silencio tras la recepción del aviso y a las medias horas o a las y cuarenta y ocho minutos cada cuatro, en función de si se trata de estaciones septentrionales o meridionales.

En onda media por todas las estaciones, tras un aviso por el canal de escucha a continuación del siguiente período de silencio tras la recepción del aviso y a las horas de 03:03, 09:03, 15:03, y 21:03 y también desde la isla de Jersey a las 03:07, 09:07, 15:07 y 21:07

Desde las estaciones Británicas, podemos recibir los *Atlantic weather bulletin*, que emiten un boletín en tres partes, que cubre las zonas entre 35°N y 71°N, de latitud y de las costas Europeas hasta 040°W; desde Portishead en onda larga. Estas partes se transmiten a las 09:30 y las 21:30, GMT y se componen de un aviso de tormenta, un desarrollo sinóptico general y las previsiones en lenguaje hablado para las áreas de Vizcaya, Sol, Finisterre, Mar de Noruega; basadas en las cartas analizadas de las 00 y 12 horas anteriores.

También las emisiones de *SMSSM*, para la NAVAREA I, Atlántico Norte (de nuestro interés), se emiten desde la estación INMARSAT de *Goonhilly* en Cornualles, a través del satélite AOR(E). Los avisos de temporal se emiten también por el satélite AOR(W) tan pronto como se reciben y mandados por el servicio internacional SafetyNET de INMARSAT – C como mensaje de grupo de llamadas mejoradas dentro del SMSSM. Los avisos de temporal se mandan también desde *Bracknell* a las 09:30 y 21:30.

De toda la información disponible, las estaciones Españolas de Navtex que podemos captar en el puerto de partida son La Coruña (indicativo D) que trasmite a las 0030 y 1230 (horas UTC); y Las Palmas(indicativo I) que trasmite a las 0920, 1320, y 1720 (horas UTC).

Además de las estaciones españolas tendremos en cuenta otras que se pueden utilizar para el ejemplo de derrota. Por ejemplo, para el caso de las estaciones ubicadas en suelo del Reino Unido tenemos la estación de Niton “D”, que emite a las siguientes horas 0018, 0418, 0900, 1218, 1618 y 2100 (horas UTC), la de Portpatrick “O” que emiten a las 0130, 0530, 0930, 1330, 1730 y 2130 (horas UTC). Por último y antes de llegar a las costas americanas, durante la travesía es posible poder captar alguna señal de la estación de Azores “F” en la Navarea II y que emite a las 0050, 0450, 0850, 1250,1650 y 2050(horas UTC).

Para la información procedente del radiofacésimil disponemos de las siguientes estaciones con su numeral de equipo, que nos pueden facilitar información sobre el estado del tiempo:

- En la zona siete que abarca el Atlántico Norte parte septentrional:
 - 0 DCF Offenbach.

- 1 DDK/DDH Hamburgo.
- 5 LMO Oslo.
- 7 TFA Reykjavic.

- Para la zona seis que abarca el Atlántico Norte parte Este:
 - 0/1 GFA Bracknell.
 - 2 GYA/GZZ/GUJ Northwood.
 - 4 CTV Monsanto (Portugal).

- Para la zona cinco que abarca el Atlántico Norte parte Oeste:
 - 1 NAM Norfolk.
 - 2 KWAF Washington DC.
 - 3 KW Lewes/Delaware.
 - 4 WFH Brentwood.
 - 5 NIK Boston.
 - 6 NMF Boston.
 - 7 CFH Halifax..

Las emisiones de radiofacsimil recomendadas son las provenientes de *Bracknell (GFA)*, pudiendo consultar los detalles de los partes por radiofacsimil se pueden encontrar en el volumen 3 del *Admiralty list of radiosignals*. Pero podemos anticipar que además de cartas de análisis en superficie y previsión desde 24 a 72, horas; la transmisión desde Bracknell incluye una carta de hielos para una área determinada, una serie de 5 días de la evolución de la temperatura superficial en las costas británicas y cartas de análisis y previsión de oleaje para el área entre los 38°N 114°W y 60°N 032°E.

Para la derrota que estamos considerando, tenemos también para la zona 7 que abarca el Atlántico Norte parte septentrional, las estaciones emisoras de Offenbach, Hamburgo, Oslo y Reykjavic; mientras que para la zona 6 del Atlántico Norte, tenemos Bracknell, Northwood y Monsanto.

De hecho, como se ha comentado previamente, por experiencia se recomiendan los partes de Bracknell, Offenbach e incluso el de Fiumicino, aunque este último esté enclavado en el área Mediterránea. En nuestro ejemplo concreto hemos obtenido por Internet los partes de Bracknell, Offenbach y del USCG.

Adicionalmente, la pantalla cuenta con una barra de heramientas en la que encontramos cuatro funciones principales que se van a utilizar una vez se haya trazado la ruta con las funciones descritas en la barra inferior de la pantalla:

- Menú para recepción de la información adecuada a la procedencia de los datos.
 - Navtex
 - Radiofacsimil
 - Satélite
 - SMSSM

- Menú para el procesamiento de datos.
 - Datos del buque
 - Datos de la carga
 - Altura metacéntrica

- Menú de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite.
 - Satélite
 - Internet
 - Telefónico

- Menú de acceso a archivos históricos de información. Situaciones similares; acciones tomadas; resultados.
 - Viajes anteriores
 - Pilot charts
 - Derroteros

En las primeras horas de navegación, o cuando el buque realiza navegación costera, las características climatológicas pueden diferir notablemente de las deducidas para zonas contiguas de mar abierto. Ello depende de la naturaleza geográfica de la costa próxima, acentuándose la citada diferencia si ésta es abrupta, con acantilados escarpados y profundas ensenadas. En estos casos, las condiciones de la mar y el viento pueden experimentar grandes cambios entre zonas muy próximas, y la seguridad de la navegación descansa más en el conocimiento que posea el piloto acerca de las características de la zona.

Hay que tener un cuidado muy especial con aquellas costas que se encuentran bordeadas de corrientes frías, pues favorecen la formación de nieblas costeras que, dependiendo del campo bórico, podrán desplazarse mar adentro o hacia tierra firme.

En resumen, la navegación en las proximidades de las costas se verá mucho más afectada por la climatología local que por la circulación general a gran escala, y aunque el análisis de los mapas ayudará a prevenir las correspondientes alteraciones, es fundamental el conocimiento de la zona y sus particularidades, lo que podrá ser encontrado en los derroteros.

Cuando el barco alcanza mar abierto se plantea el problema del rumbo a seguir. Existen derrotas estacionales normales perfectamente conocidas, e incluso otras recomendadas para buques pequeños o con poca carga, sin embargo obedecen a planteamientos de circulación atmosférica general, y no contemplan, por tanto, las condiciones particulares que puedan desarrollarse. El análisis de los mapas y la previsión del tiempo deben aconsejar si se sigue un rumbo dado o es preferible dar un rodeo que permita esquivar determinadas áreas de mal tiempo o condiciones de viento o mar inadecuados para las características del buque.

Asimismo, el análisis de los mapas de tiempo permitirá planificar o no un trabajo de mantenimiento de cierta duración, o de preparación para recibir cargas en destino (limpieza de tanques o bodegas). A veces resulta más interesante el uso de rutas alternativas, más largas pero más tranquilas, que permitan arribar con garantía para la carga, o con tanques y bodegas listos para cargar.

En la actualidad las comunicaciones con tierra son suficientemente seguras e íntegras como para permitir que, desde los Servicios Meteorológicos se preparen rutas meteorológicas (*weather routing*) alternativas que se ofrecen al mercado.

Las rutas meteorológicas pueden ser muy distintas en función del objetivo perseguido. Así, hay rutas que minimizan el tiempo, los daños potenciales o el consumo de combustible. Otras, en cambio, se preparan con objeto de maximizar la cantidad de sol o buen tiempo, como es el caso de los cruceros turísticos. Este es el problema que denominamos *ruta óptima* (Optimum Track Ship Routing). Para realizar un uso adecuado de los mapas del tiempo, el marino debe conocer los siguientes conceptos:

- 1.- Los antecedentes climáticos de cualquier situación meteorológica.

2.- La evolución y desarrollo del tiempo.

6.4.2 Antecedentes climáticos

Un buen conocimiento acerca de la distribución media de presiones y vientos sobre la Tierra, en las distintas estaciones o meses del año, la de las masas de aire y los frentes, así como la marea barométrica propia de cada región, son de gran utilidad para el análisis de un mapa del tiempo. Esta información se encuentra disponible en los Atlas Climatológicos Marítimos, en los manuales de Meteorología para Marineros, y en las denominadas *Pilot charts*.

El conocimiento climatológico ayuda a comprender el tiempo actual, cuyas particularidades se entenderán fácilmente comparando el mapa actual con el mapa normal medio.

6.4.3 Evolución y desarrollo del tiempo

La evolución climatológica se encuentra en un continuo estado de cambio, de forma que cuando se traza un mapa basado en observaciones sinópticas, el tiempo que estamos analizando corresponde, por lo general, a la situación existente unas horas antes. Este retraso puede tener una gran importancia si durante ese tiempo ha pasado un frente térmico, pues los vientos que serían de esperar de acuerdo con el mapa disponible pueden ser muy distintos de los que realmente encontramos como consecuencia del paso del frente.

Además de esta evolución dinámica, los sistemas meteorológicos pueden experimentar un desarrollo que altere su forma e intensidad. Las configuraciones bariométricas cambian de tamaño y forma, y los frentes se intensifican o debilitan con el paso del tiempo cronológico. También disponemos de información climatológica con relación a la variación de los sistemas de presión y de los modelos del tiempo. Así, en los trópicos, se desplazan hacia el W, mientras que en latitudes subtropicales lo hacen hacia el E. Esto es lo que sucede con los ciclones tropicales, que en su inicio, derivando hacia el W, poseen una velocidad media de 10 nudos, suele disminuir a 5 nudos cuando recurva, y alcanza los 20 nudos o más en su desplazamiento zonal.

Las velocidades con que se desplazan los sistemas en latitudes medias y altas varían notablemente con la época del año y con la región donde se encuentran, e incluso con cada situación sinóptica. Para las depresiones extratropicales, con frentes activos asociados, podemos estimar un promedio de 20 a 30 nudos, pero disminuye a la mitad si el frente está en fase de oclusión. En ocasiones excepcionales se han registrado velocidades de desplazamiento de hasta 50 nudos, particularmente durante los meses de invierno.

Las derrotas seguidas por los ciclones y las depresiones, con carácter general, están recogidas en los Atlas Climatológicos, así como en los manuales y *Pilot charts*. Un conocimiento de las mismas ayuda a comprender el comportamiento y posible rumbo que seguirá cada caso individual. En este sentido podemos señalar que la mayoría de las depresiones extratropicales llevan una derrota hacia el NE, en tanto que los sistemas anticiclónicos bien desarrollados, y en particular si se encuentran combinados con oleadas de aire polar, derivan hacia el E o SE, en el hemisferio norte, y hacia el SE y E o NE, respectivamente, si se trata del hemisferio sur.

No obstante lo anterior, y más importante que conocer el comportamiento medio del tiempo, es vigilar la evolución del sistema que nos interesa, comprobando periódicamente su trayectoria y desarrollo. El estudio de varios mapas sinópticos anteriores es fundamental para comprender el presente, y poder estimar su evolución futura.

6.4.4 Necesidades

El conjunto de los principales datos que va a necesitar el Capitán en el puerto de salida, está recogido en las previsiones de tiempo. La ayuda de una aplicación informática que permita la presentación de dichos datos y en la que mediante menús nos facilite la realización de los cálculos, es una clara ayuda para la seguridad de la navegación.¹⁹⁶

La aplicación de los conocimientos climatológicos que la tripulación tenga para la interpretación de los datos relativos a los vientos marinos, olas, y corrientes oceánicas, junto con la información meteorológica recibida respecto a estas mismas variables, será otra de las necesidades para la preparación de las derrotas que debe seguir el buque.

¹⁹⁶ Ver punto 5.5.4, Presentación de datos.

La utilización de dichas rutas, proporcionan un incremento en la seguridad al buque, pasajeros y carga, pero también desde el punto de vista económico, se obtienen grandes ventajas a través de un importante ahorro en combustible, tiempo de crucero, o en ambos a la vez.

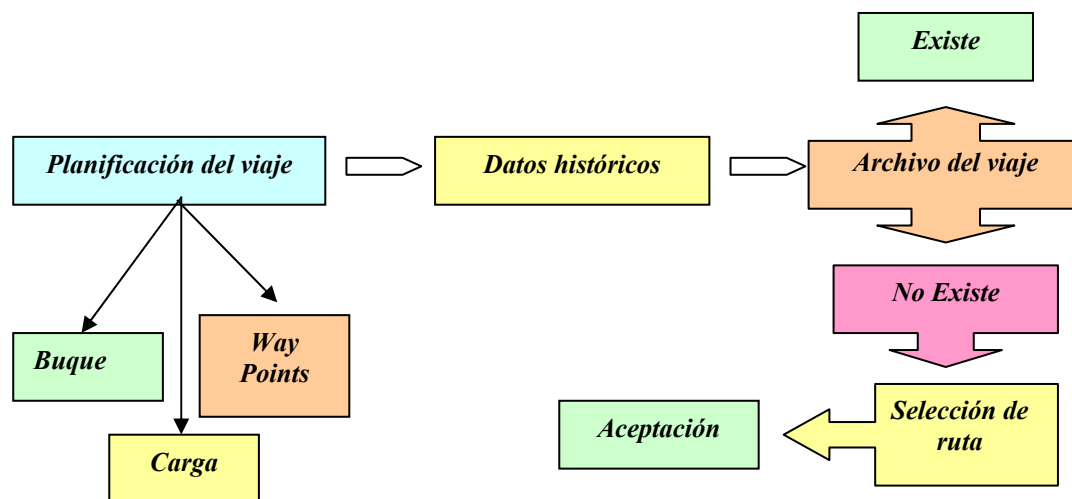


Figura 26: Esquema de la lógica en la operativa del sistema de planificación de derrotas.

6.5 Seguimiento en la mar

El procedimiento especificado en el capítulo anterior, será aplicado antes de iniciar la derrota pudiendo calcular las derrotas de tipo climática y ortodrómica; que nos servirán de modelo para contrastar con la calculada bajo criterios de optimización.

6.5.1 Derrota Climática

Los ejemplos contemplados en el Pilot chart, para el mes de marzo de Europa a Estados Unidos, ofrecen tres posibilidades, en función de las condiciones de tiempo. Existiendo las derrotas tipo A, B y C, cada una de ellas respectivamente es una derrota más al norte y pasando siempre por un punto intermedio situado en latitud $40^{\circ} 30'N / 41^{\circ} 30'N$ y $L = 047^{\circ} 00'W$.

La derrota A o extra-Sur, que en el caso de partir de Bishop Rock, arrumba directamente al $267,4^{\circ}$ y nunca supera la latitud del punto de salida, la derrota B o Sur, que tampoco supera la

latitud de salida, pero va perdiendo latitud más lentamente, arrumbando al principio al 269,1° y suponiendo un ahorro de 31' respecto del caso anterior hasta el punto intermedio y finalmente la derrota C o Norte, practicable cuando las condiciones de hielo lo permiten, en la que las posiciones de los diferentes puntos de la derrota, se situarían por debajo del paralelo de 45°N y con destino a un punto en $l = 42^{\circ} 00'N$ y $L = 050^{\circ} 00'W$, para luego arrumbar al bajo de Nantucket.

6.5.2 Derrota Ortodrómica

El ejemplo contemplado, contempla las posiciones descritas a continuación.

Salida: $l = 42^{\circ} 14'N$ y $L = 008^{\circ} 50'W$

Llegada: $l = 40^{\circ} 35'N$ y $L = 069^{\circ} 30' W$

$$\Delta L = 060^{\circ} 48'W$$

$$\cos Do = \sin l_s \cdot \sin l_{II} + \cos l_s \cdot \cos l_{II} \cdot \cos \Delta L = 0,7116$$

$Do = \underline{2678'}$, las cuales a una velocidad promedio de 15 nudos pueden recorrerse en 7 días 10 horas y 32 minutos

$$\text{ctgRi} = \cos l_s \cdot (\text{tg } l_{II} / \sin \Delta L - \text{tg } l_s / \text{tg } \Delta L) = 0,3509$$

$$Ri = N 70,66 W = \underline{289,3^{\circ}}$$

Cálculo de α y de β .

$$l_s + l_{II} = 82^{\circ} 49' (+)$$

$$L_s + L_{II} = 078^{\circ} 20' (+)$$

$$L_s + L_{II} / 2 = 039^{\circ} 10' (+)$$

$$l_s - l_{II} = 01^{\circ} 39' (+)$$

$$L_s - L_{II} = 060^{\circ} 40' (-)$$

$$L_s - L_{II} / 2 = 030^{\circ} 20' (-)$$

$$\text{tg} (L_s + L_{II} / 2 - \alpha) = \sin (l_s + l_{II}) / \sin (l_s - l_{II}) \text{tg} (L_s - L_{II} / 2)$$

$$\text{tg} (39^{\circ} 10' - \alpha) = \sin (82^{\circ} 49') / \sin (01^{\circ} 39') \text{tg} (30^{\circ} 20')$$

$$\text{tg} (39^{\circ} 10' - \alpha) = 20,161903$$

$$39^{\circ} 10' - \alpha = 87^{\circ} 09'$$

$$-\alpha = 47^{\circ} 59'; \quad \alpha = \underline{47^{\circ} 59' W}$$

$$\text{tg } \beta = \text{tg } l_s / \text{sen } (L_s - \alpha)$$

$$\text{tg } \beta = \text{tg } 42^\circ 14' / \text{sen } (008^\circ 50' - (-47^\circ 59')) = 1,08469$$

$$\beta = \underline{47^\circ 19,6' \text{ N}}$$

| Longitud | Latitud | Distancia | Tiempo navegación a 15 nudos |
|------------|-------------|-----------|------------------------------|
| 020° 00' W | 45° 09,6' N | 515,23' | 1d, 10h 21 minutos |
| 030° 00' W | 46° 41,6' N | 427,56' | 1d, 04h 30 minutos |
| 040° 00' W | 47° 18,5' N | 410,85' | 1d, 03h 23 minutos |
| 050° 00' W | 47° 02,9' N | 407,96' | 1d, 03h 12 minutos |
| 060° 00' W | 45° 53,6' N | 418,78' | 1d, 03h 55 minutos |
| 069° 30' W | 40° 35' N | 524,68' | 1d, 10h 59 minutos |

Tabla 5: Posiciones del cambio de rumbo con sus distancias.

Dando en la práctica una distancia mayor a la calculada en 27 millas, siendo en total 2705 millas a recorrer en 7 días 22 horas y 21 minutos.

Se anticipa, que esta derrota viene a ser impracticable por la posible existencia de hielos con gran probabilidad, al final de la derrota, cuando se rebasa la pared fría existente entre la corriente del Golfo y la del Labrador.

6.5.3 Primera singladura

Día 24/03/03 a las 00:00 horas TU.

Derrota Meteorológica.

Punto de salida: $l = 42^\circ 14' \text{ N}$ y $L = 008^\circ 50' \text{ W}$

Tras la introducción de los parámetros necesarios en la estación de planificación y una vez creado el archivo correspondiente al presente viaje, se selecciona la información meteorológica disponible. En estos momentos al inicio del viaje, existe una amplia cobertura informativa, de la que en este caso por claridad y a efectos de una mejor interpretación, se opta por presentar en la presente tesis, la información desde internet en la estación de planificación.

De modo que la operativa a llevar a cabo será la siguiente,

1) en el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Como información de respaldo a la anterior, pediremos los archivos de históricos almacenados en la memoria del sistema como situaciones similares, con las acciones tomadas y los resultados de las mismas. La información local tomada de los derroteros en memoria,¹⁹⁷ son necesarias para contrastar con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

La búsqueda realizada nos informa de que existe la siguiente situación:

- Baja relativa de 1014 hPa, disipándose en $l = 43^{\circ} 30'N$ y $L = 015^{\circ} 00'W$
- Altura significativa de ola en la zona de 2 metros con barlomar del WNW
- Tormenta extratropical de 989 hPa en $l = 45^{\circ} 00'N$ y $L = 030^{\circ} 00'W$, con vientos de >50 nudos.

La previsión a 3 días vista, prevé una desaparición de la baja relativa y el avance al ESE de la tormenta, seguida de un anticiclón móvil en latitudes superiores a las esperadas en esta estación.

¹⁹⁷ Proyecto EPDIS, financiado por el 5º Programa Marco de la DGTREN – Comisión Europea y en el que se pretende presentar en un visualizador en 3D la información contenida en los derroteros actuales, copiados en una base de datos.

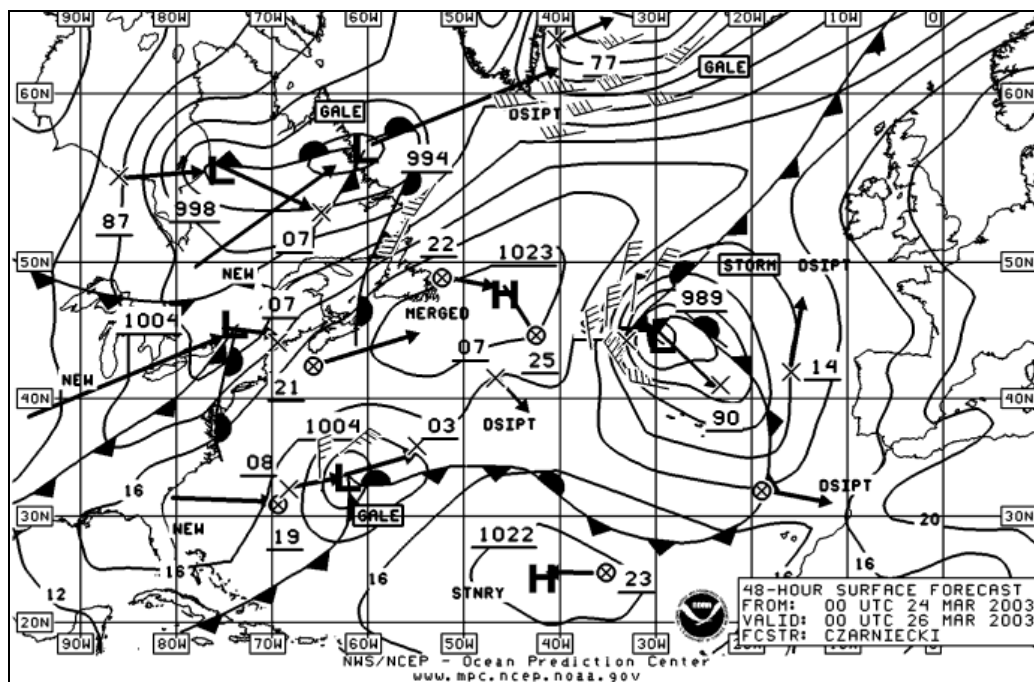


Figura 27: Carta de previsión del Atlántico Norte. Con permiso del NOAA.

Se decide optar por la opción de derrota personalizada y arrumbar a un punto en situación $L = 46^{\circ} 00' N$ y $L = 020^{\circ} 00' W$, dado que se supone que las condiciones de tiempo, serán menos perniciosas, por la dirección de los vientos y de la mar, además de la previsible evolución hacia el SE, del centro tormentoso de 989 hPa.

Resultando: $\Delta l = 03^{\circ} 46' N$ y $\Delta L = 011^{\circ} 10' W$

$l_m = 44^{\circ} 07' N$, por lo que $A = 008^{\circ} 01' W$

$\text{tg } R_1 = A / \Delta l$; $R_1 = N 64,8^{\circ} W = 295^{\circ}$

$D_{lox} = 531,44'$

La velocidad que puede desarrollar el buque atendiendo a las condiciones de oleaje son según la formulación de Babbage para el buque Dart Atlantic,¹⁹⁸ las siguientes:

$$V = 19,93 + 6,44(\ln \text{Pot} - \ln 20000) - 10,2(V_o) \cdot H_s^2 / \text{Pot} [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_o) / \text{Pot} [(V_{vto} \text{rel} / V_o)^2 \cdot \cos \beta_{Vto \cdot \text{Rel}} - 1] + 0,04(T_{mar} - 12) - 0,00012(D - 37000) \pm 0,027$$

¹⁹⁸ CALVERT, S. 1990. *Optimal weather routing procedures for vessels on Trans-oceanic voyages*. Tesis. Boston.

De hecho, la formulación raíz proviene del planteamiento de:

$$V_{\text{buque}} = V_{\text{calma}} - (\text{factor oleaje}) - (\text{factor viento})$$

En la formulación propuesta, los coeficientes representados por: $19,93 + 6,44(\ln \text{Pot} - \ln 20000)$, vienen a reflejar las características propulsoras del buque y en nuestro ejemplo las vamos a obviar en aras de la simplicidad, partiendo de la velocidad teórica del buque.

Se realiza a su vez una ponderación del factor oleaje, dado que su efecto sobre el buque considero que es superior; para dicho razonamiento hemos considerado que la máxima densidad del aire se registra al nivel de la mar, debido a su alta compresibilidad, cifrándose su valor a 0°C, en 1,293 g/dm³; posteriormente la disminución de la misma, junto con el valor de la presión, es muy rápida y no lineal a medida que nos elevamos.¹⁹⁹

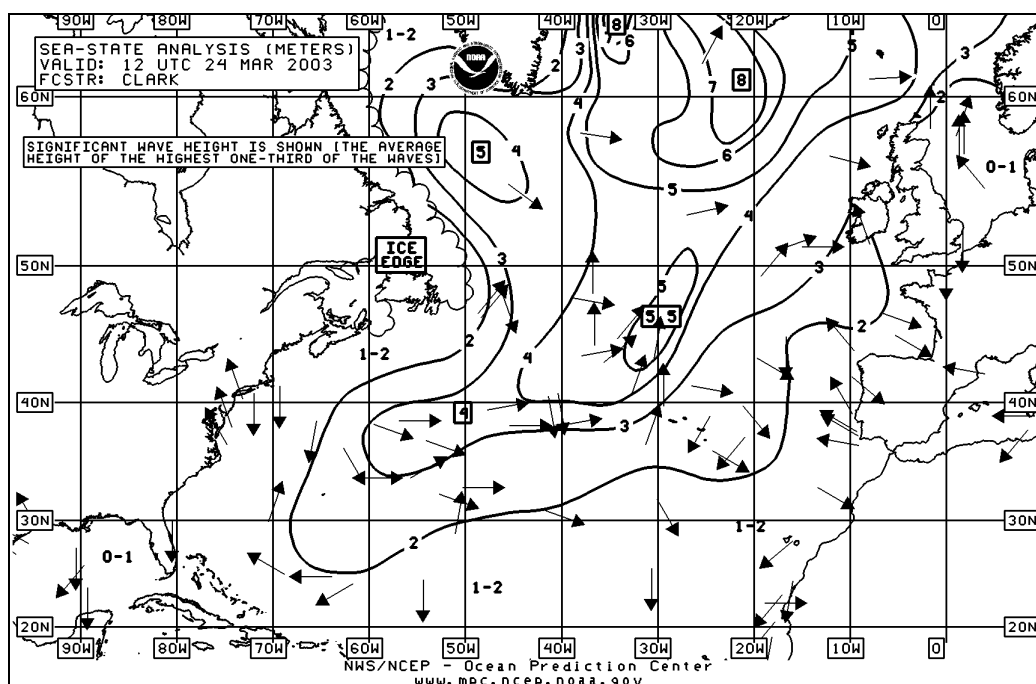


Figura 28 : Carta de análisis de oleaje del Atlántico Norte. Fuente NOAA

Siendo el valor de la densidad del agua, variable con la salinidad y la temperatura, pero que tomamos como valor estándar para el Atlántico Norte de 1019 g/dm³; lo que supone una relación de 1019 a 1,293 igual a 788 veces más denso, hecho contemplado en la formulación.

¹⁹⁹ MARTÍNEZ de OSÉS, X. (1998) Apuntes de Meteorología náutica, de Q-5. Bústia del profesor – Bibliotecna-UPC

Pero un hecho determinante, es la relación de 1 a 7, entre la superficie expuesta a la mar y la superficie expuesta al viento, que en el caso del portacontenedores contemplado se debe a las medidas del buque propuesto para el caso. Considerando dicha relación junto a la relación de densidades, el efecto combinado del oleaje respecto del viento es 111 veces mayor, cuya raíz cuadrada nos da aproximadamente 10, que es la relación entre energía y velocidad y el factor con el que se pondera el oleaje frente al viento.

También el efecto de la temperatura de la mar y de las distintas condiciones de desplazamiento del buque, se van a eliminar, para considerar únicamente el ángulo de incidencia y magnitud de las olas y el efecto del viento, que en este caso es el relativo.

$$V = 20 - 10,2(V_o) \cdot H_s^2 / 1000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_o) / 10000 [(V_{vto\ rel}/V_o)^2 \cdot \cos \beta_{Vto\ Rel} - 1]^{200}$$

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- Velocidad teórica en aguas tranquilas, de 20 nudos
- Velocidad relativa del viento, recalculable con la velocidad efectiva del buque de 40 nudos y ángulo de incidencia de 5°.
- Ángulo de incidencia del oleaje de unos 3° y altura significativa de 2 metros

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 2^2 [\cos(3^\circ/2) + 0,3] / 1000 - 0,28(20) [(40/20) \cdot \cos 5^\circ - 1] / 10000 =$$

$$V = 20 - 1,0605 - 0,28(20) [(40/20)^2 \cdot \cos 5^\circ - 1] / 10000 =$$

$$V = 20 - 1,06052 - 0,0005557 = \underline{18,94 \text{ nudos}}$$

Consideramos una reducción nula de la velocidad por parte de la corriente, ya que la rama sur de la corriente del Golfo, empieza a ser más patente cerca del meridiano de 20°W. Por lo que se navega a rumbo a 19,89 nudos durante 24 horas, a la espera de nueva información meteorológica que obtendremos a las 00:00 horas del día siguiente.

²⁰⁰ Formulación que se considera contemplada en el software del sistema.

Si comparamos los resultados obtenidos por la formulación propuesta por Borrajero y Calnick, obtenemos una diferencia de velocidad que llega hasta los 0,31 nudos.

$$V = V_0 - (0,745 \cdot q_b \cdot h) \cdot (1,0 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot V_0)$$

$$V = 20 - (0,745 \cdot 3^\circ/180 \text{ rad} \cdot 2) (1,0 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot 7000 \cdot 20) = 19,255 \text{ nudos}$$

Tomamos, la formulación modificada de Babbedge, por considerarla más conveniente dado que contempla el oleaje y el viento relativo, mientras que la segunda considera el oleaje y el desplazamiento, y sólo es válida para un rango de buques en los que el apantallamiento u obra muerta del buque, no son considerados.

Por tanto la velocidad teórica considerada será de 18,94 nudos.

Distancia recorrida a 18,94 nudos en 24 horas será de 454,56'

$$\Delta l = D \cdot \cos R = 454,56' \cdot \cos 295^\circ = 03^\circ 12,1'N$$

$$A = D \cdot \sin R = 454,56' \cdot \sin 295^\circ = 006^\circ 52'$$

$$\Delta L = A / \cos l_m = 007^\circ 12,6' / \cos 43,9^\circ = 009^\circ 31,7'W$$

Resultando: $\Delta l = 03^\circ 12,1'N$ y $\Delta L = 009^\circ 31,7'W$

Situación: $l = \underline{45^\circ 26,1'N}$ y $L = \underline{018^\circ 21,7'W}$

La energía transmitida al buque será la calculada a partir de la expresión:²⁰¹

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s^2$$

Que en el caso del día 24, supone con 2 metros de altura de ola significativa y un ángulo de incidencia a fil de roda:

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (2 \text{ m})^2 = 4998,195 \text{ J/m}^2$$

Si el calado del buque es de 4 metros y la manga del mismo de 15 metros, deduciremos el área de la proa mediante el cálculo siguiente:

²⁰¹ Formulación contemplada en el software del sistema.

$$\text{Área de la proa} = \text{Calado} \bullet \text{Manga} = 4 \text{ m} \bullet 15 \text{ m} = 60 \text{ m}^2$$

De modo que, la energía en el área expuesta, suponen 299891,7 J, dato que sería interesante obtener de la estación de planificación de derrotas que lo podría comparar con un límite determinado de operatividad para evitar daños en la estructura del buque y en la carga.

Otro valor a tener en cuenta, aprovechando la información recibida a bordo, es el efecto del período de balance sobre la estructura del buque. Asumiendo un período del oleaje de 8 segundos, deducimos que.

$$L = 1,56 \bullet T^2 = 1,56 \bullet (8 \text{ s})^2 = 99,84 \text{ metros,}$$

Cifra que no es múltiplo de 136 metros, valor de la eslora del buque, y no cabe esperar que el buque entre en sincronismo.

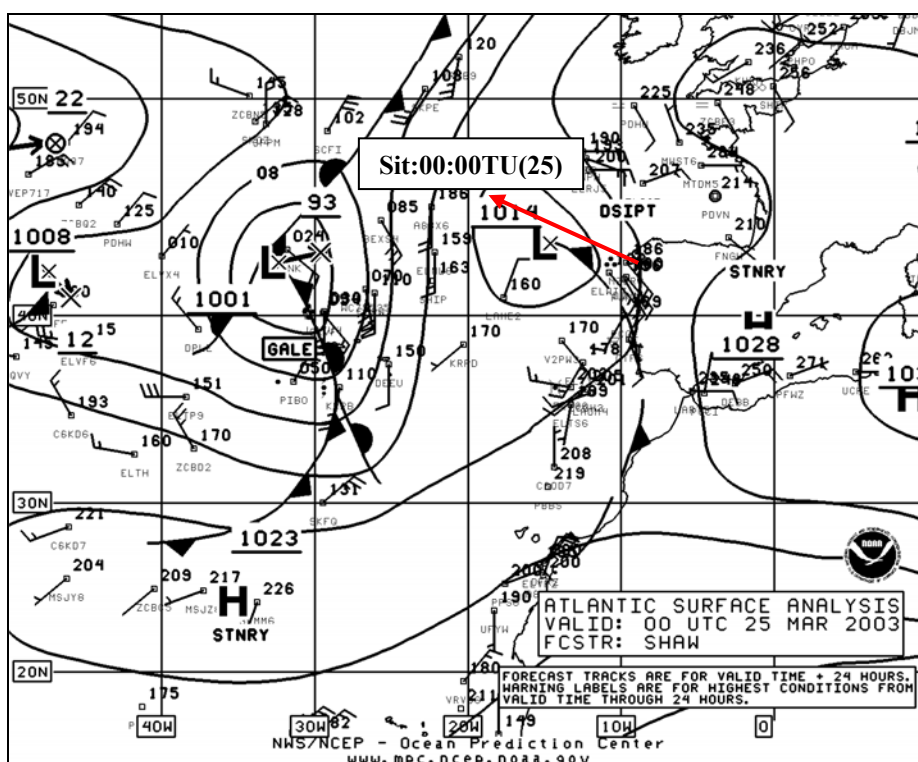


Figura 29 : Carta de análisis del Atlántico Norte, con situación del buque. Fuente NOAA.

Derrota Sinóptica.

La información obtenida para los casos anteriores, es completamente válida para este caso, la diferencia estriba en que ahora, contemplamos los medios para obtener la información de las cartas de tiempo que llegarán al buque a través de sistemas como INMARSAT en forma de cartas que se mandarían a través del radiofacésimil (de existir cobertura) o de la conexión por internet al ordenador de a bordo (a través de INMARSAT) o directamente a través de los propios satélites meteorológicos con las imágenes generadas por los mismos, además de la rugosidad del océano en el área seleccionada y el campo de viento deducido del oleaje. La operativa a realizar es la misma pero contando con la conexión a larga distancia que proporciona el satélite de comunicaciones y meteorológico.

Día 24/03/03 a las 00:00 horas TU.

Punto de salida: $l = 42^{\circ} 14'N$ y $L = 008^{\circ} 50'W$

Tras la introducción de los parámetros necesarios en la estación de planificación y una vez creado el archivo correspondiente al presente viaje, se selecciona la información meteorológica disponible. En estos momentos al inicio del viaje, existe una amplia cobertura informativa, de la que en este caso por claridad y a efectos de una mejor interpretación, se opta por presentar en la presente tesis, la información desde internet en la estación de planificación.

De modo que la operativa a llevar a cabo será la siguiente,

1) en el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacésimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Como información de respaldo a la anterior, pediremos los archivos de históricos almacenados en la memoria del sistema como situaciones similares, con las acciones tomadas y los resultados de las mismas. La información local tomada de los archivos de los derroteros en memoria, son necesarias para contrastar con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

La búsqueda realizada nos informa de que existe la misma situación:

- Baja relativa de 1014 hPa, disipándose en $l = 43^{\circ} 30'N$ y $L = 015^{\circ} 00'W$
- Altura significativa de ola en la zona de 2 metros con barloomar del WNW
- Tormenta extratropical de 989 hPa en $l = 45^{\circ} 00'N$ y $L = 030^{\circ} 00'W$, con vientos de >50 nudos.

La previsión a 3 días vista, prevé una desaparición de la baja relativa y el avance al ESE de la tormenta, seguida de un anticiclón móvil en latitudes superiores a las esperadas en esta estación.

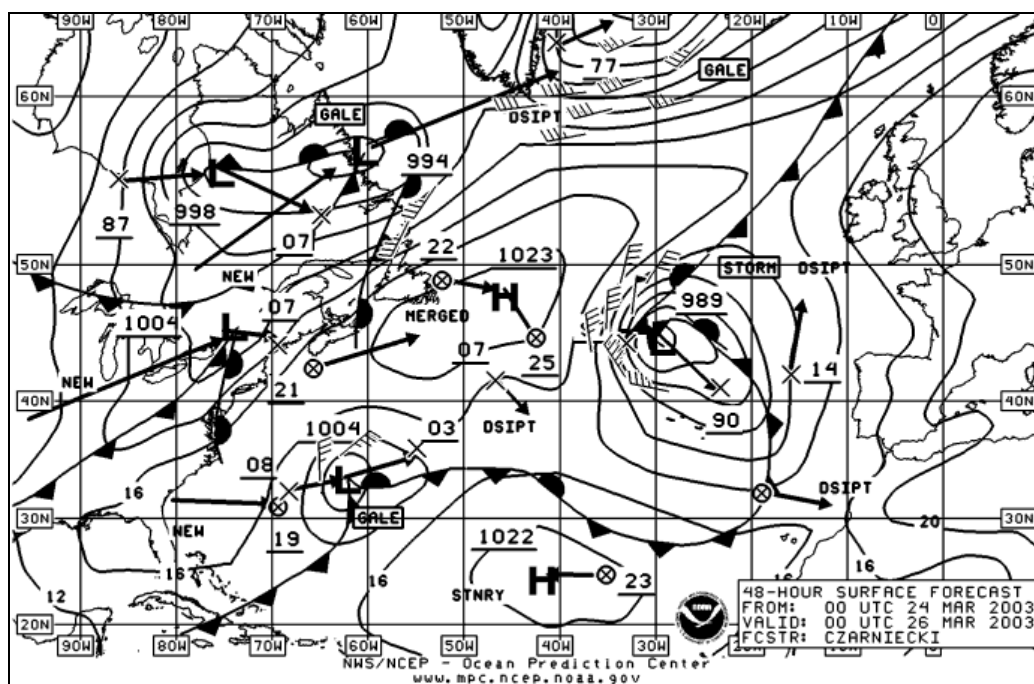


Figura 30 : Carta de previsión del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Se decide arrumbar por medio de una derrota personalizada a un punto en situación $l = 46^{\circ} 00'N$ y $L = 020^{\circ} 00'W$

Resultando: $\Delta l = 03^{\circ} 46'N$ y $\Delta L = 011^{\circ} 10'W$

$l_m = 44^{\circ} 07'N$, por lo que $A = 008^{\circ} 01'W$

$\text{tg } R_1 = A / \Delta l$; $R_1 = N 64,8^{\circ} W = 295^{\circ}$

$D_{lox} = 531,44'$

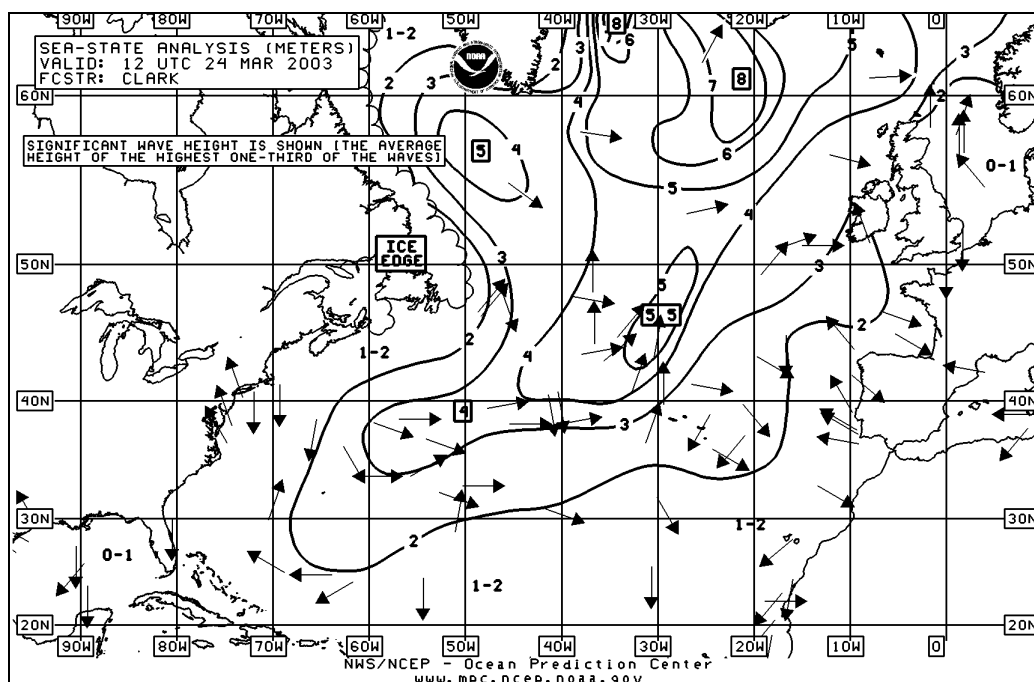


Figura 31 : Carta de análisis de oleaje en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

La velocidad que puede desarrollar el buque atendiendo a las condiciones descritas en el apartado anterior se resumen en las siguientes:

$$V = V_0 - 10,2(V_0) \cdot H_s^2 / 1000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_0) / 10000 [(V_{vto\ rel}/V_0)^2 \cdot \cos \beta_{Vto\ Rel} - 1]$$

Utilizándose el mismo método de cálculo que en el caso de la derrota meteorológica.

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- velocidad teórica en aguas tranquilas, de 20 nudos
- Velocidad relativa del viento, recalculable con la velocidad efectiva del buque de 40 nudos y ángulo de incidencia de 5° .
- Ángulo de incidencia del oleaje de unos 3° y altura significativa de 2 metros

$$V=(20)-10,2(20) \cdot 2^2 / 1000[\cos(3^\circ / 2)+0,3]-0,28(20) / 10000[(40 / 20) \cdot \cos 5^\circ - 1] =$$

$$V = 15,4461 - 203,9545 - 0,28(20) / 10000[(40 / 20)^2 \cdot \cos 5^\circ - 1] =$$

$$V = 20 - 1,06052 - 0,0005557 = \underline{18,94 \text{ nudos}}$$

Consideramos una reducción nula de la velocidad por parte de la corriente, ya que la rama sur de la corriente del Golfo, empieza a ser más patente cerca del meridiano de 20°W. Por lo que se navega a rumbo a 18,94 nudos durante 24 horas, a la espera de nueva información meteorológica que obtendremos a las 00:00 horas del día siguiente.

Si comparamos los resultados obtenidos por la formulación propuesta por Borrajero y Calnick, obtenemos una diferencia de velocidad que llega hasta los 0,31 nudos.

$$V = V_o - (0,745 \cdot q_b \cdot h) \cdot (1,0 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot V_o)$$

$$V = 20 - (0,745 \cdot 3^\circ / 180 \text{ rad} \cdot 2) (1,0 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot 7000 \cdot 20) = 19,255 \text{ nudos}$$

Tomamos, la formulación de Babbedge, por considerarla más conveniente dado que contempla el oleaje y el viento relativo, mientras que la segunda considera el oleaje y el desplazamiento, y sólo es válida para un rango de buques en los que el apantallamiento u obra muerta del buque, no son considerados. Por tanto la velocidad teórica considerada será de 18,94 nudos.

Distancia recorrida a 18,94 nudos en 24 horas será de 454,56'

$$\Delta I = D \cdot \cos R = 454,56' \cdot \cos 295^\circ = 03^\circ 12,1' N$$

$$A = D \cdot \text{sen} R = 454,56' \cdot \text{sen} 295^\circ = 006^\circ 52'$$

$$\Delta L = A / \cos I_m = 007^\circ 12,6' / \cos 43,9^\circ = 009^\circ 31,7' W$$

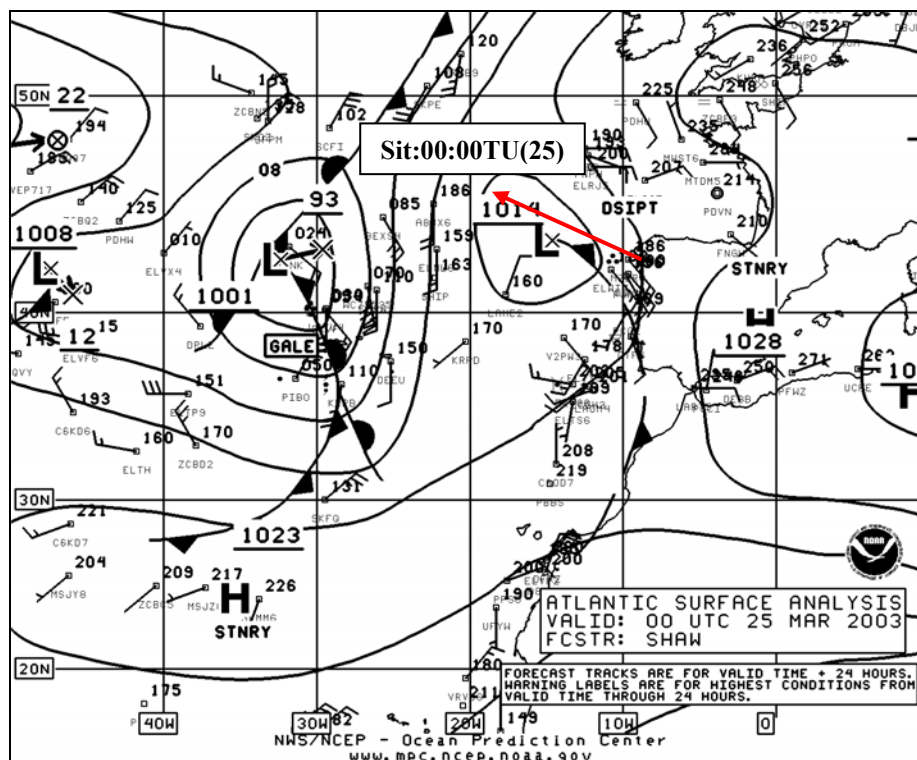


Figura 32 : Carta de análisis del Atlántico Norte con situación del buque. Fuente NOAA.

Resultando: $\Delta l = 03^{\circ} 12,1'N$ y $\Delta L = 009^{\circ} 31,7'W$

Situación: $l = 45^{\circ} 26,1'N$ y $L = 018^{\circ} 21,7'W$

6.5.4 Segunda singladura

Día 25/03/03 a las 00:00 horas TU.

Derrota Personalizada.

Situación: $l = 45^{\circ} 26,1'N$ y $L = 018^{\circ} 21,7'W$

La solicitud de información meteorológica a la estación de planificación, permite comprobar que de faltar una conexión satelitaria, el buque posiblemente no dispondría de cobertura. De todos modos se realiza el mismo procedimiento

1) En el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Como información de respaldo a la anterior, pediremos los archivos de históricos almacenados en la memoria del sistema como situaciones similares, con las acciones tomadas y los resultados de las mismas. La información local tomada de los archivos que contempla el correspondiente *Pilot chart* en memoria, permite contrastar niveles de presión, temperatura del aire y la mar y posibilidad de tormentas con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

En este caso, la opción más plausible y elegida es la descarga de diferentes partes de tiempo desde internet, en la estación de planificación. Dicha información nos informa de que existe la siguiente situación.

- Baja relativa de 1014 hPa, disipándose en $l = 43^{\circ} 30'N$ y $L = 015^{\circ} 00'W$
- Altura significativa de ola en la zona de 2,5 metros con barlomar del SE y mar de fondo del NW.
- Tormenta extratropical de 995 hPa en $l = 42^{\circ} 00'N$ y $L = 032^{\circ} 00'W$, con vientos de >40 nudos, desdoblándose en dos centros con el mismo valor de presión.

Se decide continuar a rumbo al punto en situación $l = 46^{\circ} 00'N$ y $L = 020^{\circ} 00'W$, intentando mantener la tormenta extratropical identificada por el sur y aprovechar en su cuadrante norte, los vientos de levante, además de mantenerse también al norte de un segundo centro de bajas presiones identificado en $l = 45^{\circ} 00'N$ y $L = 035^{\circ} 00'W$ en cuyo centro se predice oleaje con $H_s = 7$ metros.

Quedan por recorrer 76,88 millas hasta el primer punto de recalada, la nueva posición supone una cercanía del buque a los centros de baja presión y se asume un incremento e la altura de la

ola significativa de medio metro. Además la mar de fondo en atención a la situación respecto a las isóbaras, rola a estribor y empezamos a recibirla más de través.

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- Velocidad teórica en aguas tranquilas, de 20 nudos
- Velocidad relativa del viento, recalculable con la velocidad efectiva del buque de 33 nudos y ángulo de incidencia de 40°.
- Ángulo de incidencia del oleaje de unos 80° y altura significativa de 2,5 metros

La velocidad del buque según el software será de:

$$V = 20 - 10,2(V_o) \cdot H_s^2 / 1000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_o) / 10000 [(V_{vto\ rel} / V_o)^2 \cdot \cos \beta_{Vto\ Rel} - 1]$$

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 2,5^2 [\cos(80^\circ/2) + 0,3] / 1000 - 0,28(20) [(33/20) \cdot \cos 40^\circ - 1] / 10000 =$$

$$V = 20 - 1,3592 - 0,000148 = 18,64 \text{ nudos, a la que se restará el efecto de la corriente, quedando en } \underline{18,14 \text{ nudos.}}$$

De modo que a las 04h 07,5m TU del día 25/03, el buque se hallará en situación $L = 46^\circ 00' N$ y $L = 020^\circ 00' W$, o lo que es lo mismo las 03h 07,5m de HRB.

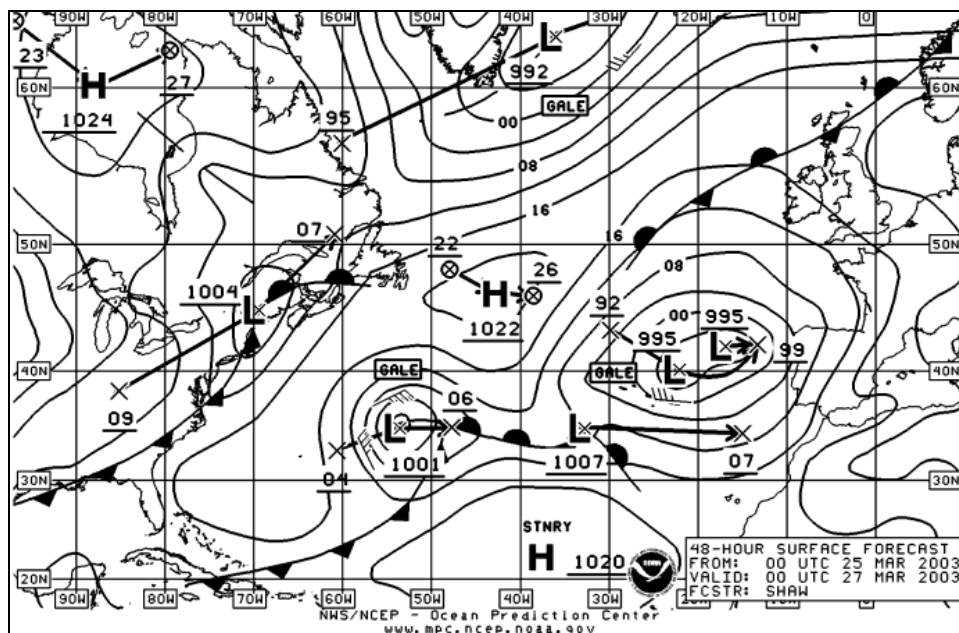


Figura 33 : Carta de previsión del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

En este punto, y dado que el barco ha remontado suficiente latitud como para quedar a una distancia prudencial de las bajas presiones (dada la altura de la ola existente en la zona) y que en función de la información meteorológica pasada, los centros de bajas presiones se prevé que no arrumben más al norte, el buque podrá aprovechar la mar de viento generada que proviene del cuadrante E, sufriendo los trenes de oleaje en una marcación a popa del través.

Se decide continuar con la derrota personalizada y arrumbar a un punto en situación $I = 46^{\circ} 00' N$ y $L = 030^{\circ} 00' W$

Resultando: $\Delta I = 00^{\circ} 00'$ y $\Delta L = 010^{\circ} 00' W$

$Im = 46^{\circ} 00' N$, por lo que $A = 006^{\circ} 56,8' W$

$R_2 = W = \underline{270^{\circ}}$

$Dlox = \underline{416,8'}$

Por tanto la velocidad teórica será de 18,14 nudos si no cambian las circunstancias meteorológicas, el tiempo necesario para recorrer las 416,8 millas, será de 22 horas y 58,6 minutos.

El día 25, para 2,5 metros de altura significativa, y ángulo de incidencia de 40° .

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{ g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (2,5 \text{ m})^2 = 7809,68 \text{ J/m}^2$$

$$\text{Área de la amura} = \text{Calado} \cdot \text{Manga} \cdot \text{sen } 40^{\circ} = 4 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} \cdot \text{sen } 40^{\circ} = 38,5672 \text{ m}^2$$

De modo que, energía por el área expuesta, suponen 301197,9 J.

Asumiendo un período del oleaje de 8 segundos, deducimos que.

$$L = 1,56 \cdot T^2 = 1,56 \cdot (8 \text{ s})^2 = 99,84 \text{ metros,}$$

Cifra que no es múltiplo de 136 metros, valor de la eslora del buque, y no cabe esperar que el buque entre en sincronismo.

Situación a las 03h 06,6m TU del día 26/03, si no ha cambiado nada el buque se halla en $L = 46^{\circ} 00'N$ y $L = 030^{\circ} 00'W$, o lo que es lo mismo las 01h 06,6m de HRB, del día 26/03.

La obtención de nueva información meteorológica; dependerá de las condiciones de propagación en la atmósfera y cuando no se obtenga ulterior información por parte de las estaciones Europeas, cabe esperar recibir las cartas de la estación de Reykjavic o la emisión en onda media de Azores; para así poder recalcular el rumbo si fuera necesario. Mientras se continúa arrumbando al oeste.

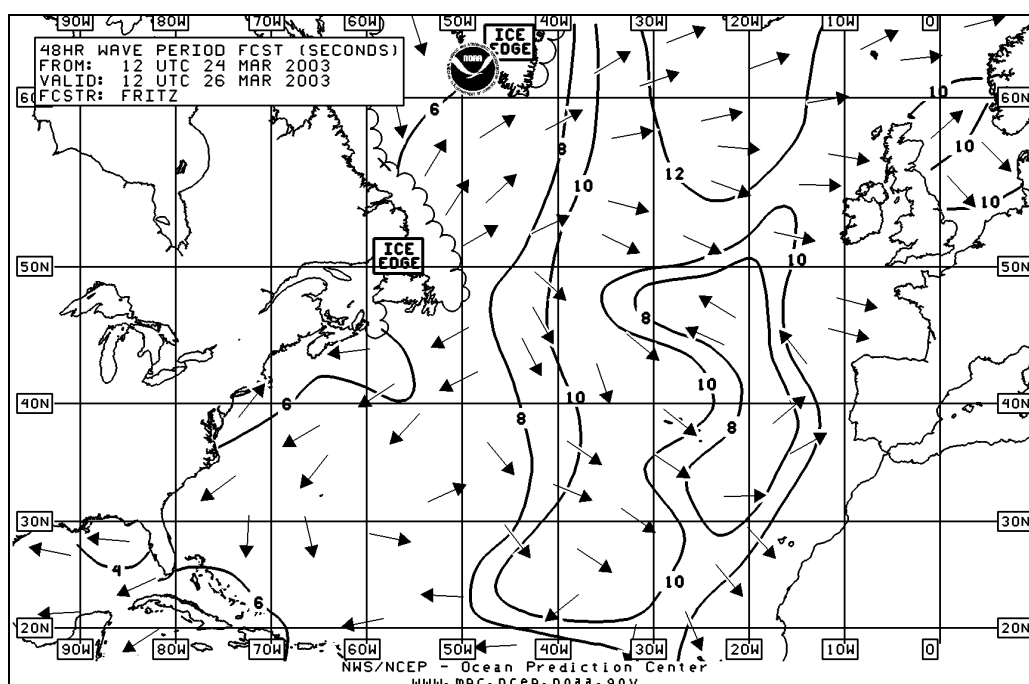


Figura 34 : Carta de previsión del período del oleaje en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Previa llegada al último way point, se ha podido seleccionar en la barra de herramientas superior la obtención de la última información disponible por internet, aprovechando para tomar los partes de previsión y análisis de la zona para el día 26 y pudiendo estudiar la situación sinóptica a priori. A continuación se detalla la situación del buque sobre el parte de análisis del día 25.

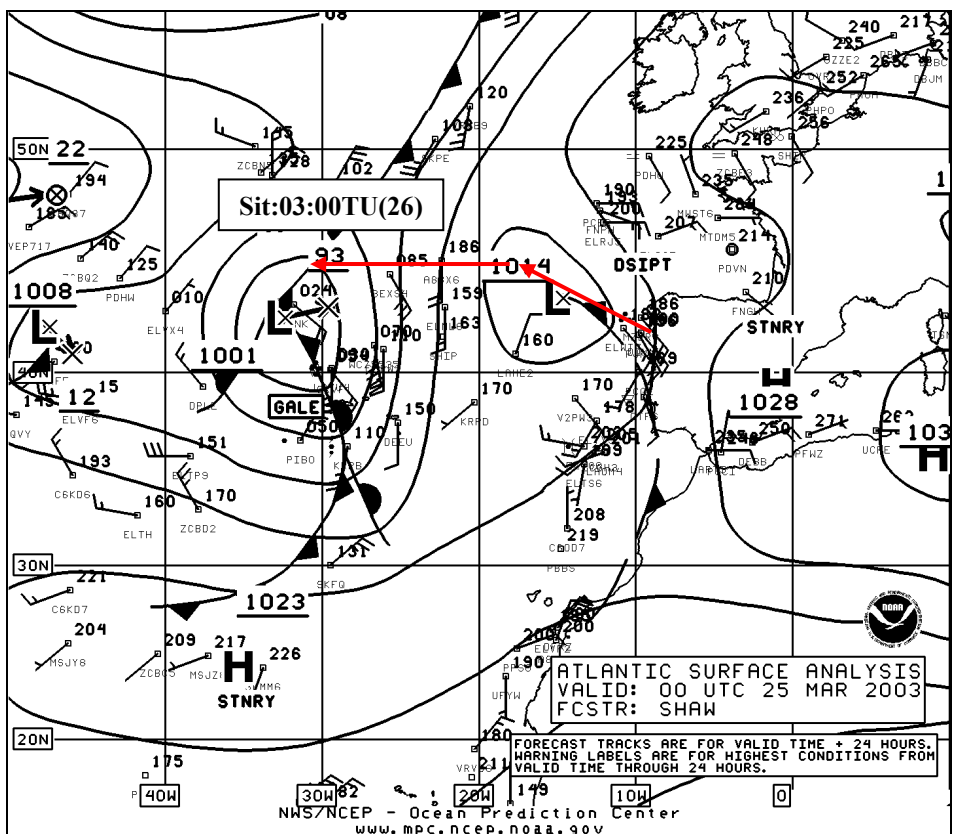


Figura 35 : Carta de análisis del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

6.5.5 Tercera singladura

Derrota Personalizada.

Día 26/03/03 a las 00:00 horas TU.

Se realiza el mismo procedimiento:

1) En el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Como información de respaldo a la anterior, pediremos los archivos de históricos almacenados en la memoria del sistema como situaciones similares, con las acciones tomadas y los resultados de las mismas. La información local tomada de los archivos que contempla el correspondiente *Pilot chart* en memoria, permite contrastar niveles de presión, temperatura del aire y la mar y posibilidad de tormentas con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

También se descargan los diferentes partes de tiempo desde internet, en la estación de planificación. Dicha información nos informa de que existe la siguiente situación.

- Alta presión de 1030 hPa, en $l = 38^{\circ} 00'N$ y $L = 056^{\circ} 00'W$, desplazándose al NE.
- Tormenta extratropical en el canal de Dinamarca de 977 hPa, generando mar del NNW de altura significativa alrededor de 5 metros en la zona.
- Previsión para la zona de navegación del buque de viento del NE (cuadrante W de la baja presión rebasada) y barlomar del NE con 5 metros de altura significativa.

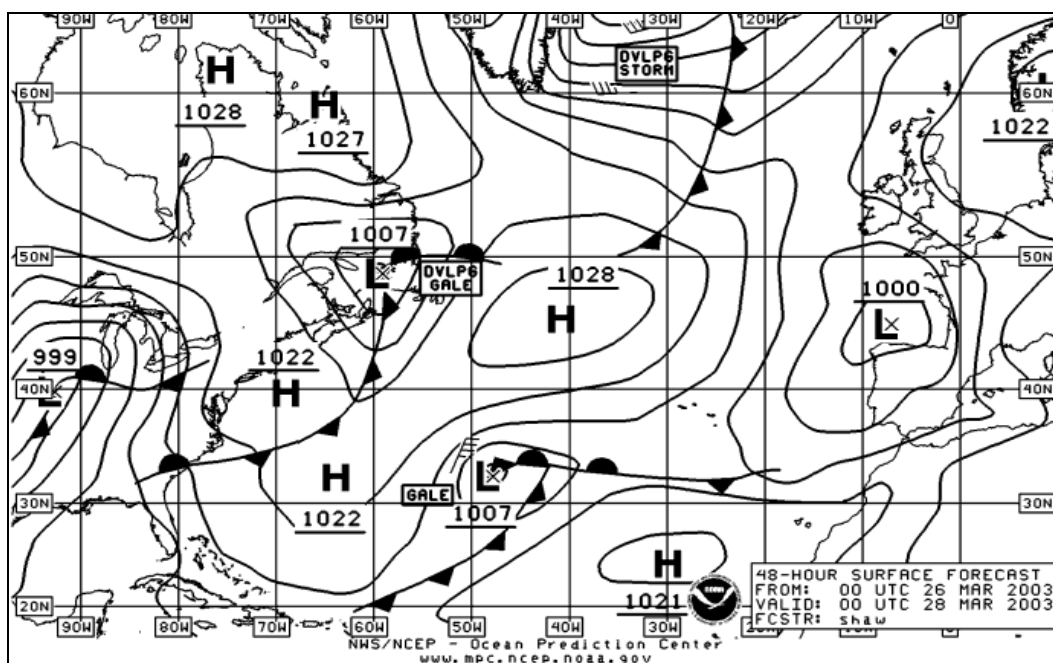


Figura 36 : Carta de análisis del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Llegados al punto de recalada de $L = 45^{\circ} 26,1'N$ y $L = 030^{\circ} 00'W$, se continua con la opción personalizada y se decide poner rumbo al punto en situación $L = 45^{\circ} 26,1'N$ y $L = 040^{\circ} 00'W$, de modo que el buque se dirigiría al centro del anticiclón identificado y bajo su influencia, la tormenta extratropical identificada se verá obligada a dirigirse más al sur, quedando entonces el buque en su cuadrante norte, en previsión de que el anticiclón pudiera retirarse más al sur de su latitud.

Además se aprovecha el viento del centro de altas presiones, que en este momento se prevé se dirija al NE aprovechando los vientos favorables en su cuadrante sur.

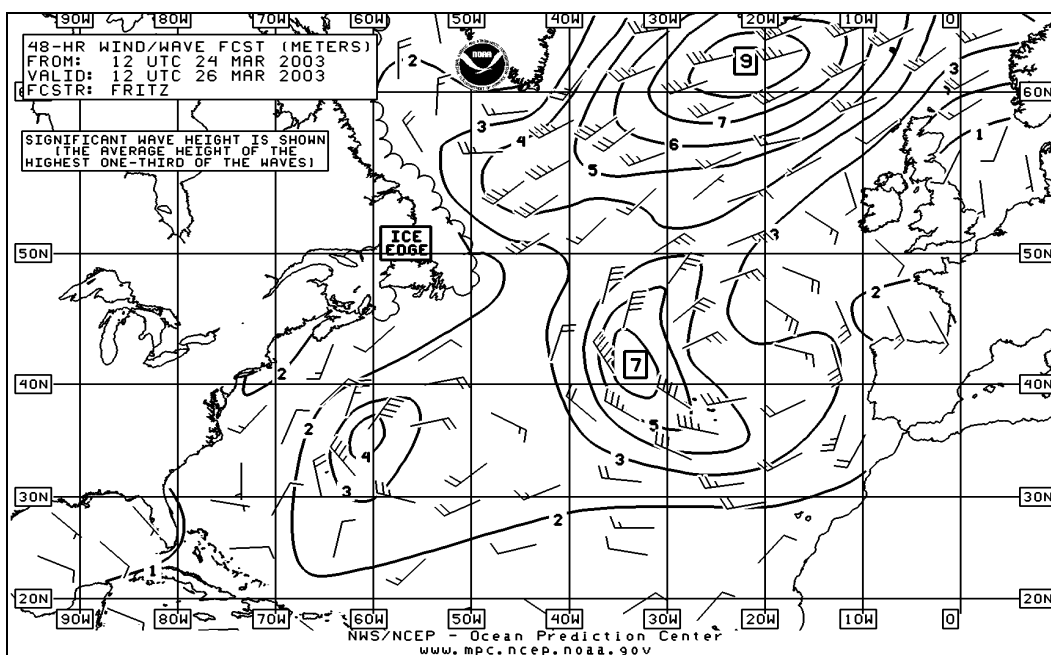


Figura 37 : Carta de previsión del oleaje de viento en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Consideramos una nueva velocidad según el software a causa de la altura de ola prevista para el día en la zona y una reducción de 0,5 nudos en la velocidad del buque, a causa de la rama sur de la corriente del Golfo, que ya es patente entre los meridianos de $040^{\circ}W$ y $030^{\circ}W$.

$$V = 20 - 10,2(V_o) \cdot H_s^2 / 1000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_o) / 10000 [(V_{vto\ rel}/V_o)^2 \cdot \cos \beta_{Vto\ Rel} - 1]$$

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- Velocidad relativa del viento, calculada tras el cálculo de un triángulo de velocidades, que alcanza los 50 nudos y ángulo de incidencia de $157,6^{\circ}$.
- Ángulo de incidencia del oleaje de unos $157,6^{\circ}$ y altura significativa de 5 metros

$$V=(20)-10,2(20) \cdot 5^2/1000[\cos(157,6^\circ/2)+0,3]-0,28(20)/10000[(50/20) \cdot \cos 157,6^\circ - 1] =$$

$$V = 20 - 2,52 + 0,00185 = 17,5 \text{ nudos}$$

Se toma una reducción de la velocidad por parte de la corriente, de unos 0,5 nudos, por lo que la velocidad será de 17 nudos.

$$\text{Resultando: } \Delta l = 00^\circ 00' \text{N y } \Delta L = 010^\circ 00' \text{W}$$

$$l_m = 45^\circ 26,1' \text{N, por lo que } A = 007^\circ 01' \text{W}$$

$$R_3 = \underline{270^\circ}$$

$$D_{lox} = \underline{421'}$$

El tiempo necesario para recorrer las 421 millas, será de 24 horas y 46 minutos.

El día 26, para 5 metros de altura significativa, y ángulo de incidencia de $157,6^\circ$.

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (5 \text{ m})^2 = 31238,72 \text{ J/m}^2$$

$$\text{Área de la amura} = \text{Calado} \cdot \text{Eslora} \cdot \sin 67,6^\circ = 4 \text{ m} \cdot 120 \text{ m} \cdot \sin 67,6^\circ = 443,78 \text{ m}^2$$

De modo que, energía por el área expuesta, suponen 13863184,64 J.

La magnitud de estas cifras recomendaría una reducción de la velocidad, si no fuera por que la dirección de las mismas proviene de una marcación claramente a popa del través. Teóricamente aplicaremos la velocidad resultante sin tocar la máquina ya que si su período obtenido a partir de las cartas de tiempo, alcanza los 8 segundos, el sistema de planificación informa que:

$$L = 1,56 \cdot T^2 = 1,56 \cdot (8 \text{ s})^2 = 99,84 \text{ metros,}$$

Cifra que no supone, dada la eslora del casco, que el cabeceo del buque entre en resonancia a consecuencia de la citada longitud de ola.

El buque se situará en $L = 45^{\circ} 35,7'N$ y $L = 040^{\circ} 00'W$, a las 03 horas y 46,8 minutos del día 27 de marzo. Previamente y aprovechando la opción de obtener la última información disponible se habrá podido obtener la carta del oleaje al mediodía, comprobando que el centro de bajas presiones que generaba el oleaje que afectaba la zona de navegación, se va retirando al sur.

Dada la situación del buque, y dependiendo de las condiciones de refracción, se puede intentar recibir los partes de tiempo mediante radiofacésimil, de las estaciones de Azores y/o Rejkyavic. De todos modos, la cobertura continua y regularmente actualizada, la obtiene de la recepción de la información vía satélite y a través de la observación local.

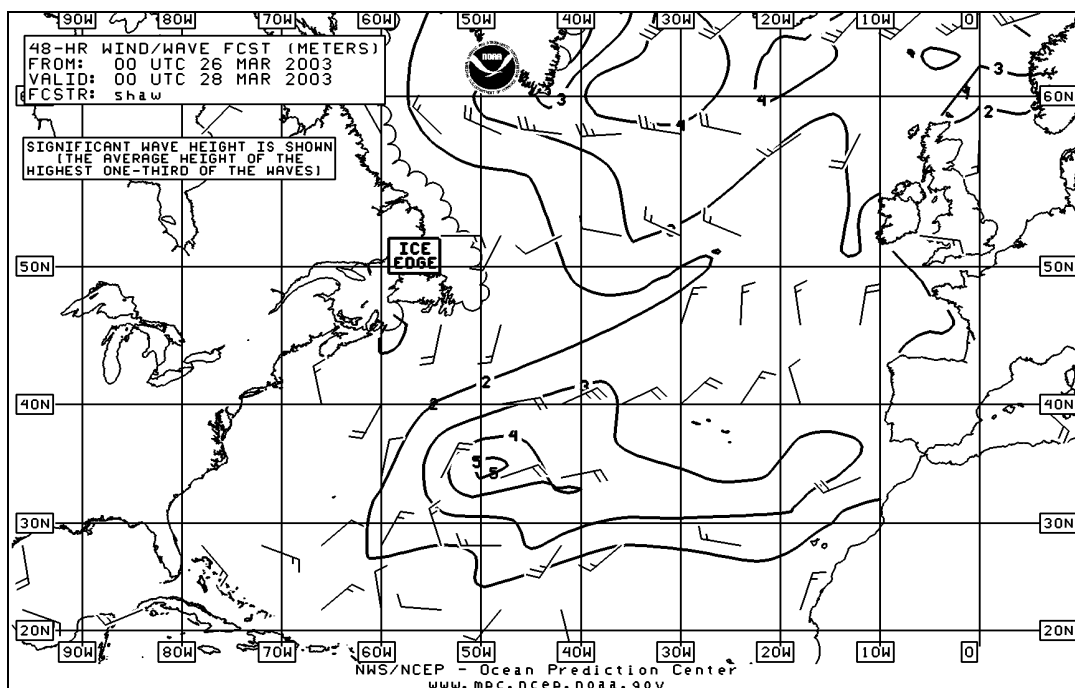


Figura 38 : Carta de previsión de oleaje de viento en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

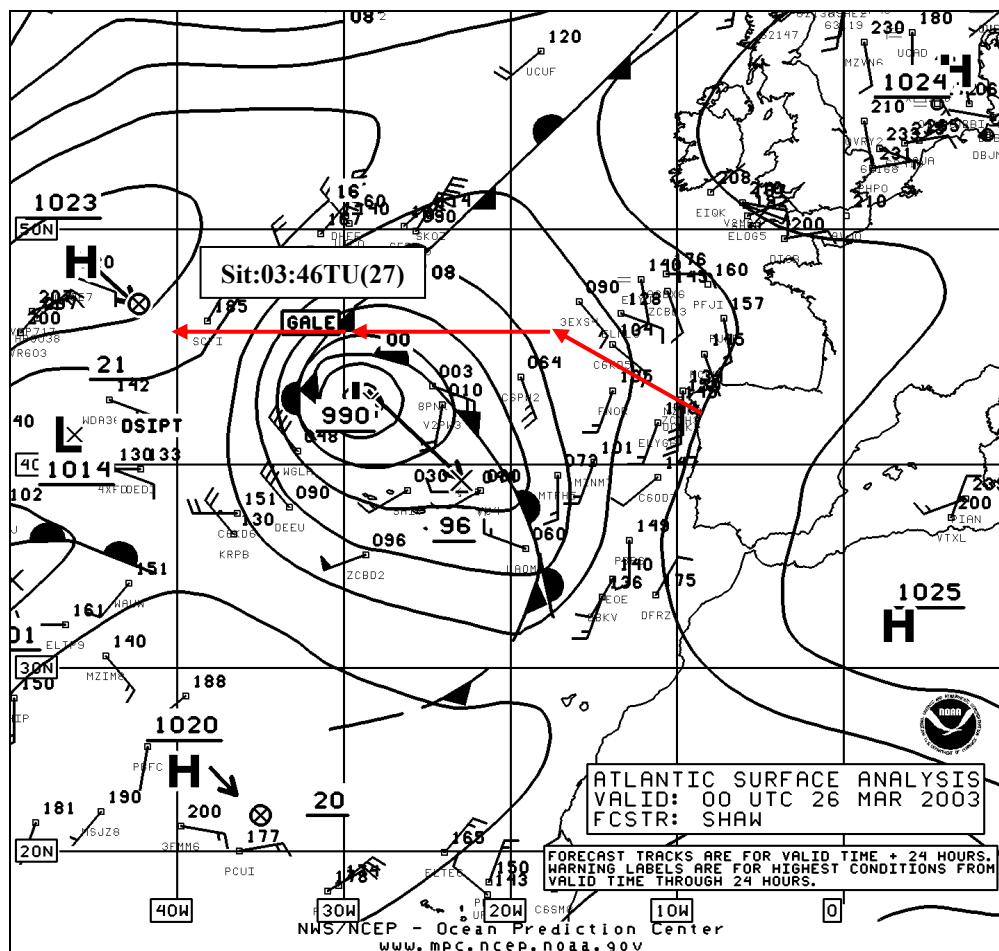


Figura 39 : Carta de análisis en Atlántico Norte con posición del buque. Fuente NOAA.

6.5.6 Cuarta singladura

Día 27/03/03 a las 00:00 horas TU.

Se realiza el mismo procedimiento:

1) En el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Como información de respaldo a la anterior, pediremos los archivos de históricos almacenados en la memoria del sistema como situaciones similares, con las acciones tomadas y los resultados de las mismas. La información local tomada de los archivos que contempla el correspondiente *Pilot chart* en memoria, permite contrastar niveles de presión, temperatura del aire y la mar y posibilidad de tormentas con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

También se descargan los diferentes partes de tiempo desde internet, en la estación de planificación. Dicha información nos informa de que existe la siguiente situación.

- Situación sinóptica que indica la existencia de centros de altas presiones de 1019 hPa en $l = 23^{\circ} 30'N$ y $L = 034^{\circ} 00'W$ y 1022 hPa, en $l = 47^{\circ} 30'N$ y $L = 040^{\circ} 00'W$, con una dorsal prolongándose hasta Bahamas y desplazándose al NE.
- Tormenta extratropical en $l = 62^{\circ} 00'N$ y $L = 043^{\circ} 00'W$ 990 hPa, generando mar del NNW de altura significativa alrededor de 5 metros.
- Mar de fondo levantada por la citada baja que nos afecta a la navegación.

Desde la última posición a las 03:46,8 horas del día 27, la velocidad del barco la calculará el sistema de planificación según la situación existente y el rumbo que se pretenda dar. Según la previsión, el centro de altas presiones que protege al buque, avanzará rápidamente al NE dando paso a la borrasca que se está desarrollando en el canal de Dinamarca y pudiendo afectar severamente la navegación.

Por lo que usando la opción de establecer la derrota personalizada se decide arrumbar más al sur en busca de un anticiclón que está situado en estos momentos en $l = 40^{\circ} 00'N$ y $L = 069^{\circ} 00'W$, que se presupone avanzará más despacio hacia el este y puede cubrir los próximos dos días de navegación del buque.

Evidentemente que los efectos del anticiclón se limitarán al viento, por que la mar levantada por las borrascas circundantes, afectarán la evolución del buque.

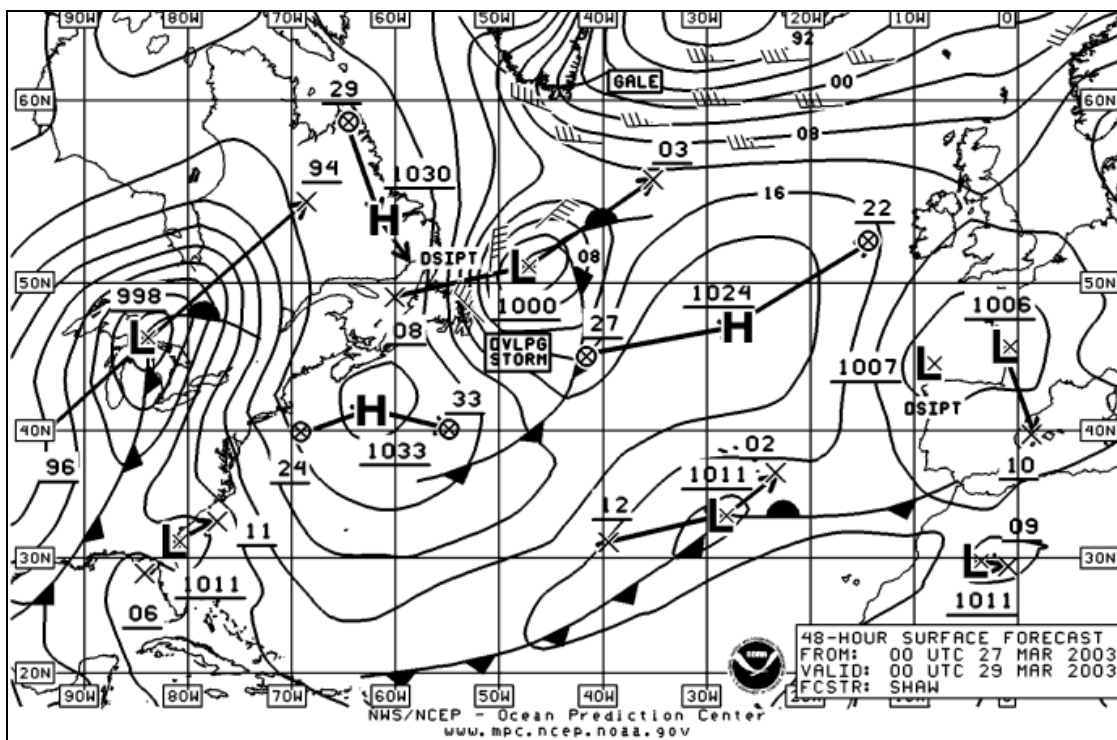


Figura 40 : Carta de previsión en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Se decide arrumbar desde el punto previo de $l = 45^{\circ} 26,1'N$ y $L = 040^{\circ} 00'W$, a las 03 horas y 46,8 minutos del día 27, hasta el punto en $l = 42^{\circ} 00'N$ y $L = 050^{\circ} 00'W$, siendo los respectivos incrementos de latitud y longitud, de:

$$\Delta l = 3^{\circ} 26,1'S$$

$$\Delta L = 010^{\circ} 00'W$$

$$A = \Delta L \cdot \cos l_m = 010^{\circ} \cdot \cos 44^{\circ} = \underline{007^{\circ} 14,5'W}$$

$$\operatorname{tg} R_4 = A / \Delta l ; R_4 = S 64,6^{\circ} W = \underline{244,6^{\circ}}$$

$$D_{lox} = \underline{480,9'}$$

La velocidad desarrollada por el buque será la obtenida de:

$$V = 20 - 10,2(V_o) \cdot H_s^2 / 1000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_o) / 10000 [(V_{vto\ rel}/V_o)^2 \cdot \cos \beta_{Vto\ Rel} - 1]$$

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- Velocidad relativa del viento, calculada tras el cálculo de un triángulo de velocidades, que alcanza los 39 nudos y ángulo de incidencia de 45° .

- Ángulo de incidencia del oleaje de 180° y altura significativa de 3 metros

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 3^2 / 10000 [\cos(180^\circ/2) + 0,3] - 0,28(20) / 10000 [(39/20) \cdot \cos 45^\circ - 1] =$$

$$V = 20 - 0,55 - 0,00021 = 19,44 \text{ nudos}$$

Que reducidos los 0,5 nudos de la corriente del Golfo, nos dejan en 19,14 nudos la velocidad.

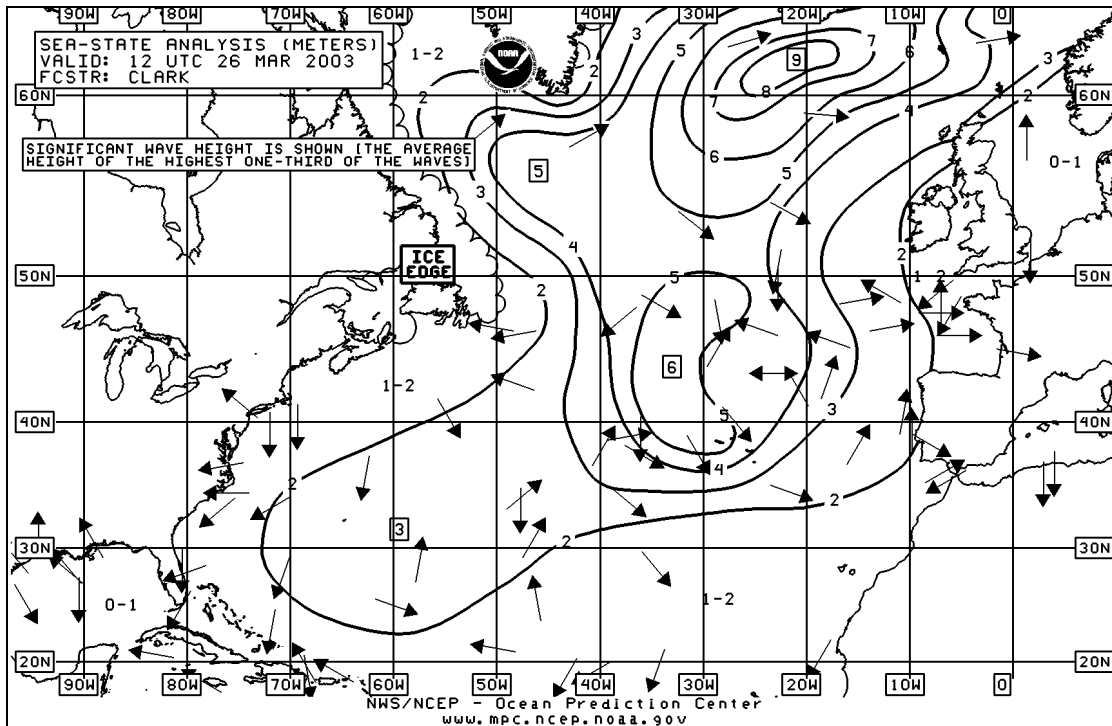


Figura 41 : Carta de análisis de oleaje. Fuente NOAA.

El tiempo necesario para recorrer la distancia hasta el siguiente way point, es de 25 horas y 07,5 minutos. Lo que nos traslada a las 04 horas y 54,3 minutos del día 28/03.

El día 27, para 3 metros de altura significativa, y ángulo de incidencia de 180°.

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{ g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 = 11245,93 \text{ J/m}^2$$

$$\text{Área de la popa} = \text{Calado} \cdot \text{Manga} \cdot \sin 45^\circ = 4 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} \cdot \sin 45^\circ = 60 \text{ m}^2$$

De modo que, energía por el área expuesta, suponen 674755,7 J.

La tormenta extratropical se ha desplazado al este y se halla en $l = 62^{\circ} 00'N$ y $L = 040^{\circ} 00'W$ 990 hPa, además de existir otros centros de bajas relativas entre los paralelos de 30 y 35°; al sur del área de altas presiones creada por los anticiclones descritos.

6.5.7 Quinta singladura

Día 28/03/03 a las 00:00 horas TU.

Se realiza el mismo procedimiento:

1) En el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Se toma la información local tomada de los archivos que contempla el correspondiente *Pilot chart* en memoria, permite contrastar niveles de presión, temperatura del aire y la mar y posibilidad de tormentas con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

También se descargan los diferentes partes de tiempo desde internet, en la estación de planificación. Dicha información nos informa de que existe la siguiente situación.

Situación sinóptica con alta presión de 1025hPa, en $l = 43^{\circ} 00'N$ y $L = 030^{\circ} 00'W$, desplazándose al NE. Dada esta posición registrada del anticiclón y la del buque, los vientos son favorables, aunque se mantiene la mar de fondo levantada previamente. El oleaje recibido alcanza los 4 metros de altura significativa y se recibe por la aleta de estribor.

Además se identifica una tormenta extratropical desarrollándose en $l = 51^\circ 00'N$ y $L = 058^\circ 00'W$, de 1000 hPa, generando mar del SW, y que se dirige hacia el SE a medida que el centro de altas presiones situado en esa zona, se va retirando al este. La altura significativa de la ola creada por la mar de viento es de alrededor de 3 metros.

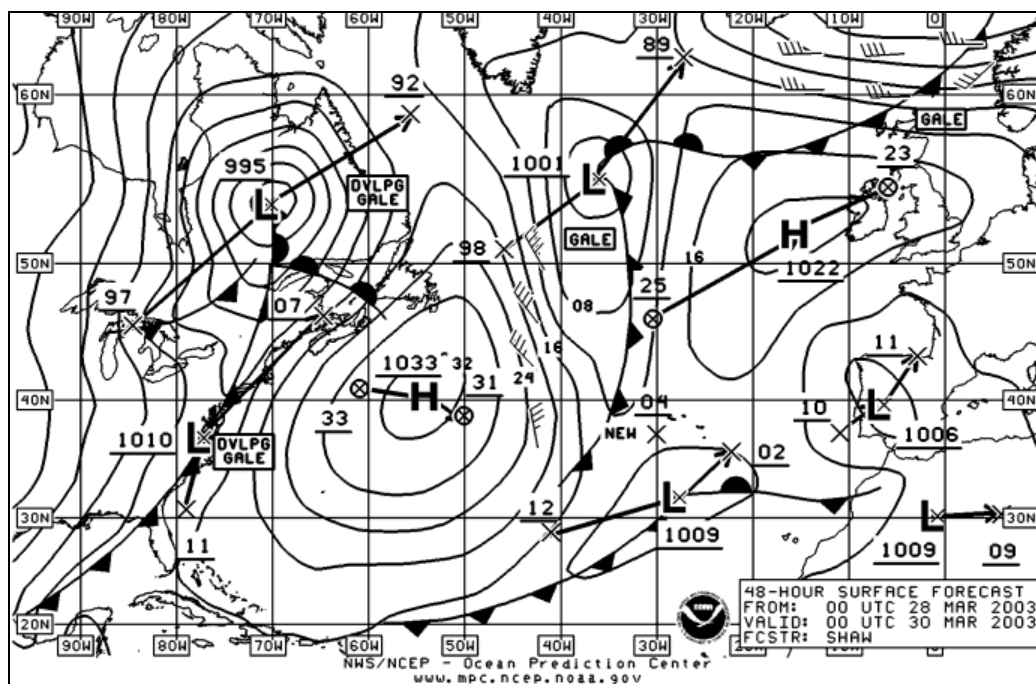


Figura 43 : Carta de previsión en superficie del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Se decide arrumbar desde el punto previo de $l = 42^\circ 00'N$ y $L = 050^\circ 00'W$, a las 04 horas y 54,3 minutos del día 28, hasta el punto en $l = 42^\circ 00'N$ y $L = 060^\circ 00'W$, siendo el incremento de longitud, de:

$$\Delta l = 00^\circ 00'$$

$$\Delta L = 010^\circ 00'W$$

$$l_m = 42^\circ 00'N, \text{ por lo que } A = 010^\circ 00' \cdot \cos 42^\circ 00' = 007^\circ 25,9'W$$

$$R_4 = W = 270^\circ$$

$$D_{lox} = 445,9'$$

La velocidad desarrollada por el buque será la obtenida de:

$$V = 20 - 10,2(V_o) \cdot H_s^2 / 10000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_o) / 10000 [(V_{vto\ rel} / V_o)^2 \cdot \cos \beta_{Vto\ Rel} - 1]$$

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- Velocidad relativa del viento, calculada tras el cálculo de un triángulo de velocidades, que alcanza los 60 nudos y ángulo de incidencia de 102°.
- Ángulo de incidencia del oleaje de 45° y altura significativa de 3 metros

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 3^2 / 1000 [\cos(45^\circ/2) + 0,3] - 0,28(20) / 10000 [(60/20) \cdot \cos 102^\circ - 1] =$$
$$V = 20 - 2,247 + 0,00091 = 17,75 \text{ nudos}$$

Los efectos de la corriente en este meridiano, oscilan alrededor de los 0,4 nudos en contra del buque, por lo que la velocidad resultante quedará en 17,35 nudos. Pudiendo recorrer dicha distancia en 25 horas y 42 minutos, lo que nos trasladaría a las 06 horas y 36 minutos del día 29.

La situación meteorológica se mantiene aproximadamente durante todo el día, e incluso la previsión a dos días, supone la situación del anticiclón en la posición de $\lambda = 38^\circ 00'N$ y $L = 050^\circ 00'W$, lo que supone un resguardo a la borrasca extratropical que se está desarrollando a la altura de Terranova.

Suponiendo que la velocidad del buque no se deteriore a lo largo del día; tenemos que el intervalo navegado hasta las 00:00 TU del día 29/03 son: 19 horas 05,7 minutos, que a la velocidad de 17,35 nudos, son 331,3' que suponen un apartamiento de 331,3' ($A = 331,3' \cdot \sin 270^\circ = 331,3'$) y supondrían una posición para el buque $\lambda = 42^\circ 00'N$ y $L = 057^\circ 25,8'W$, a las 00:00 de TU, del día 29/03, o las 20:00 del día 28/03 HRB.

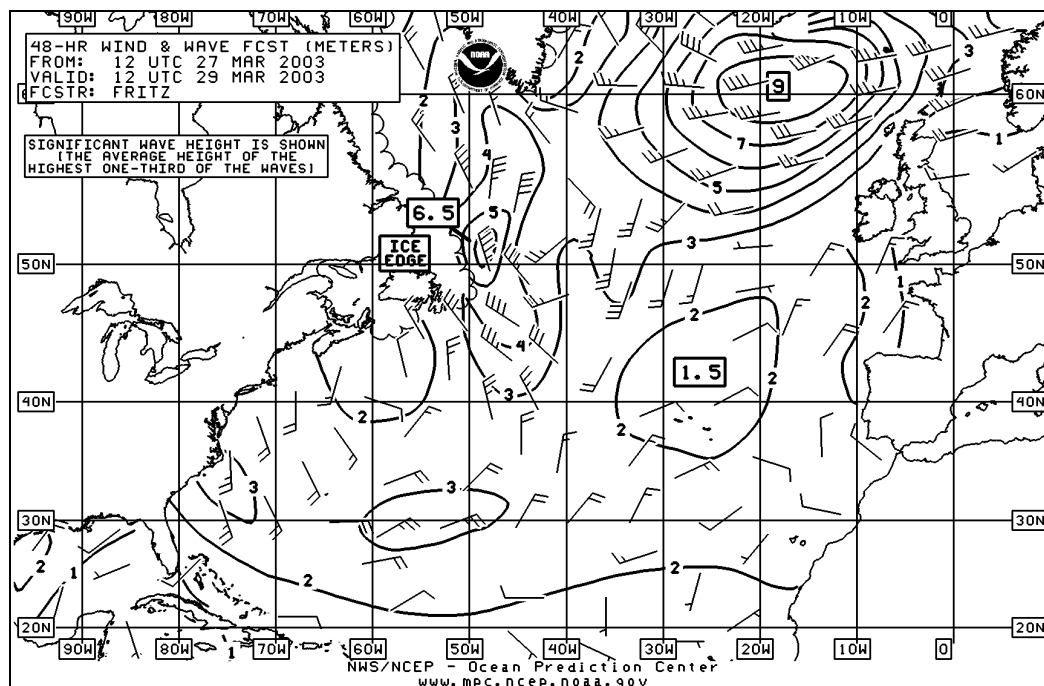


Figura 44 : Carta de previsión de viento y olas en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

El día 28, para 3 metros de altura significativa, y ángulo e incidencia de 45°

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 = 11245,93 \text{ J/m}^2$$

$$\text{Área de la amura} = \text{Calado} \cdot \text{Manga} \cdot \text{sen } 45^\circ = 4 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} \cdot \text{sen } 45^\circ = 42,4264 \text{ m}^2$$

De modo que, energía por el área expuesta, suponen 477124,38 J.

Asumiendo un período del oleaje de 8 segundos, deducimos que.

$$L = 1,56 \cdot T^2 = 1,56 \cdot (8 \text{ s})^2 = 99,84 \text{ metros,}$$

Cifra que no es múltiplo de 136 metros, valor de la eslora del buque, y no cabe esperar que el buque entre en sincronismo.

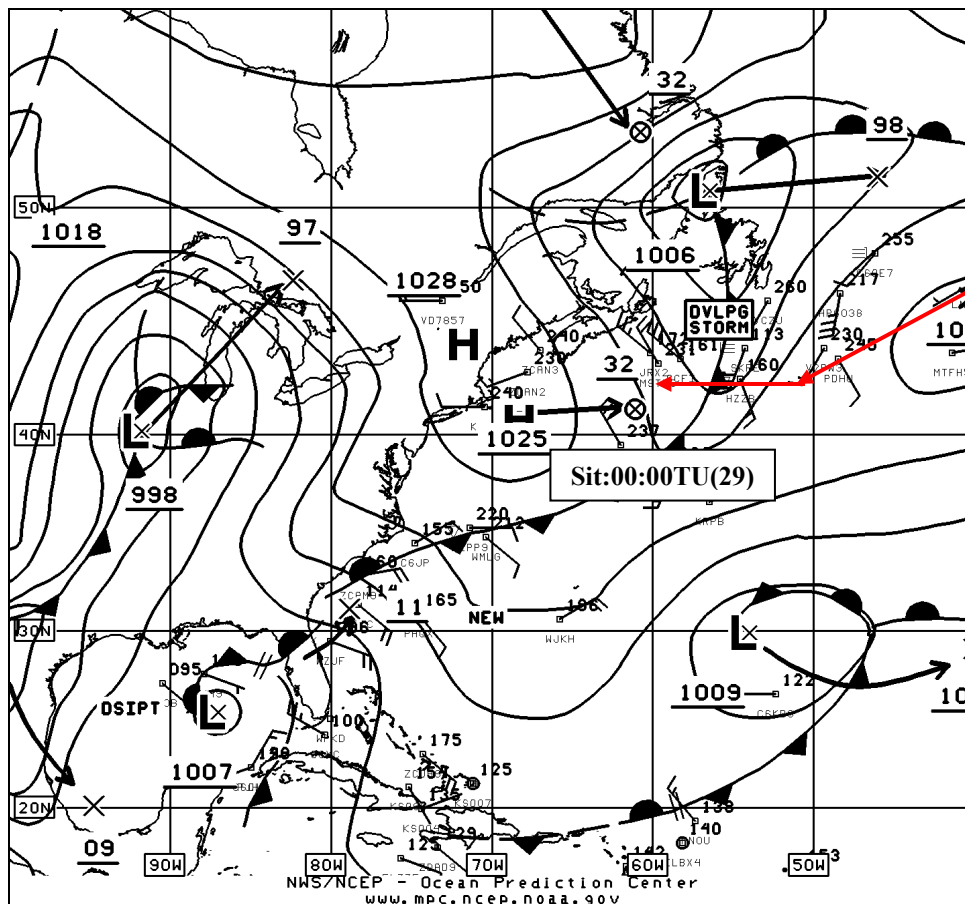


Figura 45 : Carta de situación del buque en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

6.5.8 Sexta singladura

Día 29/03/03 a las 00:00 horas TU.

Se realiza el mismo procedimiento:

1) En el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Se toma la información local tomada de los archivos que contempla el correspondiente *Pilot chart* en memoria, permite contrastar niveles de presión, temperatura del aire y la mar y posibilidad de tormentas con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

Desprendiéndose la siguiente información:

Alta presión de 1030hPa, en $l = 39^{\circ} 00'N$ y $L = 053^{\circ} 00'W$, desplazándose al NE. Desde esta posición, la tormenta extratropical que se está profundizando en la costa este de Estados Unidos, puede descender al SE, mientras el anticiclón se desplaza al NE, lo que supondría que cruzaría por el camino del buque, aunque a la vista de la carta de previsión se considere que arrumbará al NNE.

A medida que pasen las horas, la mar de viento que se prevé afectará en breve al buque, proviene del S, podrá levantar de olas de 3 metros.

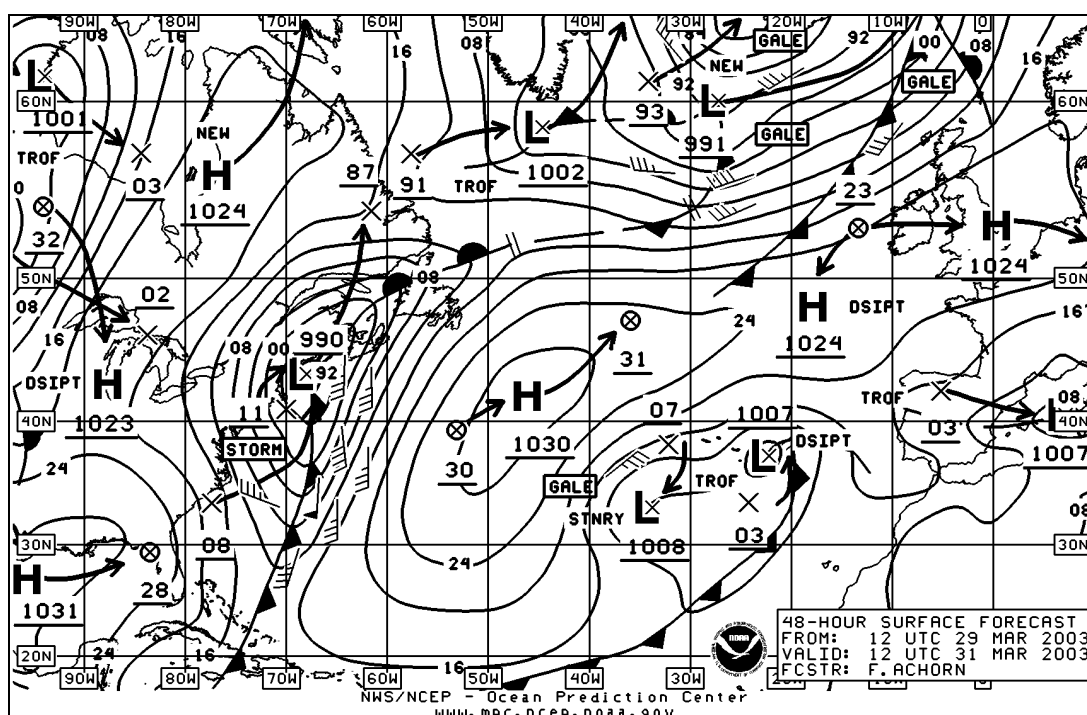


Figura 46 : Carta de previsión en superficie, del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

Dada la situación de $l = 42^{\circ} 00'N$ y $L = 057^{\circ} 25,8'W$, a las 00:00 de TU, del día 29/03, se opta a dar un rumbo directo al punto de destino, por lo que el rumbo resultante será el directo hasta la $l = 40^{\circ} 35'N$ y $L = 069^{\circ} 30'W$, siendo los respectivos incrementos de latitud y longitud, de:

$$\Delta l = 01^{\circ} 25'S$$

$$\Delta L = 011^{\circ} 04,2'W$$

$$l_m = 41^{\circ} 47'N, \text{ por lo que } A = 011^{\circ} 04,2' \cdot \cos 41^{\circ} 47' = 008^{\circ} 15,3'W$$

$$\text{tg}R_5 = A/\Delta l = 008^{\circ} 15,3'/01^{\circ} 25' = S 80,2^{\circ} W = \underline{260,2^{\circ}}$$

$$D_{lox} = \underline{502,54'}$$

La velocidad desarrollada por el buque manteniendo este rumbo, será la obtenida de:

$$V = 20 - 10,2(V_0) \cdot H_s^2 / 10000 [\cos(\alpha_{ola}/2) + 0,3] - 0,28(V_0) / 10000 [(V_{vto\ rel}/V_0)^2 \cdot \cos \beta_{V_{to\ Rel}} - 1]$$

Consideramos los datos del buque así como los obtenidos del parte del tiempo:

- Velocidad real del viento son 35 nudos y dirección S, siendo sus parámetros relativos al rumbo del buque, los 38 nudos y ángulo de incidencia de 148° .
- Ángulo de incidencia del oleaje de 90° y altura significativa de 3 metros

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 3^2 / 1000 [\cos(90^{\circ}/2) + 0,3] - 0,28(20) / 10000 [(38/20) \cdot \cos 148^{\circ} - 1] =$$

$$V = 20 - 1,85 + 0,00146 = 18,15 \text{ nudos}$$

El día 29, para 3 metros de altura significativa, y ángulo de incidencia de 90°

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 = 11245,93 \text{ J/m}^2$$

$$\text{Área de la banda} = \text{Calado} \cdot \text{Eslora flotación},$$

$$\text{Por tanto tenemos que, } \text{Área de la banda} = 4 \text{ m} \cdot 120 \text{ m} = 480 \text{ m}^2$$

De modo que, energía por el área expuesta, suponen 5,398050,6 J

Asumiendo un período del oleaje de 10 segundos, deducimos que.

$$L = 1,56 \cdot T^2 = 1,56 \cdot (10 \text{ s})^2 = 156 \text{ metros,}$$

Cifra que no es un múltiplo exacto de 15 metros, valor de la manga del buque, y no cabe esperar que el buque entre en sincronismo transversal, aunque es aconsejable que la mar incida con ángulo diferente para reducir el balance.

Los efectos de la corriente en este meridiano según la memoria del sistema, oscilan alrededor de los 0,5 nudos en contra del buque, por lo que automáticamente reduce la velocidad resultante quedando en 17,65 nudos.

Pero en atención a los trenes de olas que baten el buque por el través, se decide arrumbar al SW para recibir por la amura el oleaje, durante unas horas, reduciendo la velocidad de máquina a 15 nudos.

Por lo que la velocidad del buque se modifica a:

Velocidad real del viento son 35 nudos y dirección S, siendo sus parámetros relativos al rumbo del buque, los 28 nudos y ángulo de incidencia de 156°.

Ángulo de incidencia del oleaje de 45° y altura significativa de 3 metros

$$V = (15) - 10,2(15) \cdot 3^2 / 1000 [\cos(45^\circ/2) + 0,3] - 0,28(15) / 10000 [(28/20) \cdot \cos 156^\circ - 1] =$$
$$V = 20 - 1,685 + 0,000957 = 13,31 \text{ nudos}$$

Se desestima el efecto de la corriente, dado el rumbo que toma el buque.

Desde la posición anterior de $l = 42^\circ 00' N$ y $L = 057^\circ 25,8' W$, se decide continuar navegando al rumbo 225°, durante 12 horas y a la espera de nueva información meteorológica, por lo que los respectivos incrementos de latitud y longitud serían:

$$D_{lox} = 12 \text{ horas} \cdot 13,31 \text{ nudos} = 159,8'$$

$$\Delta l = 159,8' \cdot \cos 225^\circ = 01^\circ 53' S$$

$$A = 159,8' \cdot \sin 225^\circ = 001^\circ 53' W$$

$$l_m = 41^\circ 00' N$$

$$\Delta L = 001^\circ 53' W / \cos 41^\circ = 002^\circ 34,5' W$$

Siendo la situación a las 12:00 TU del día 29 de $l = 40^{\circ} 07'N$ y $L = 059^{\circ} 18,8'W$

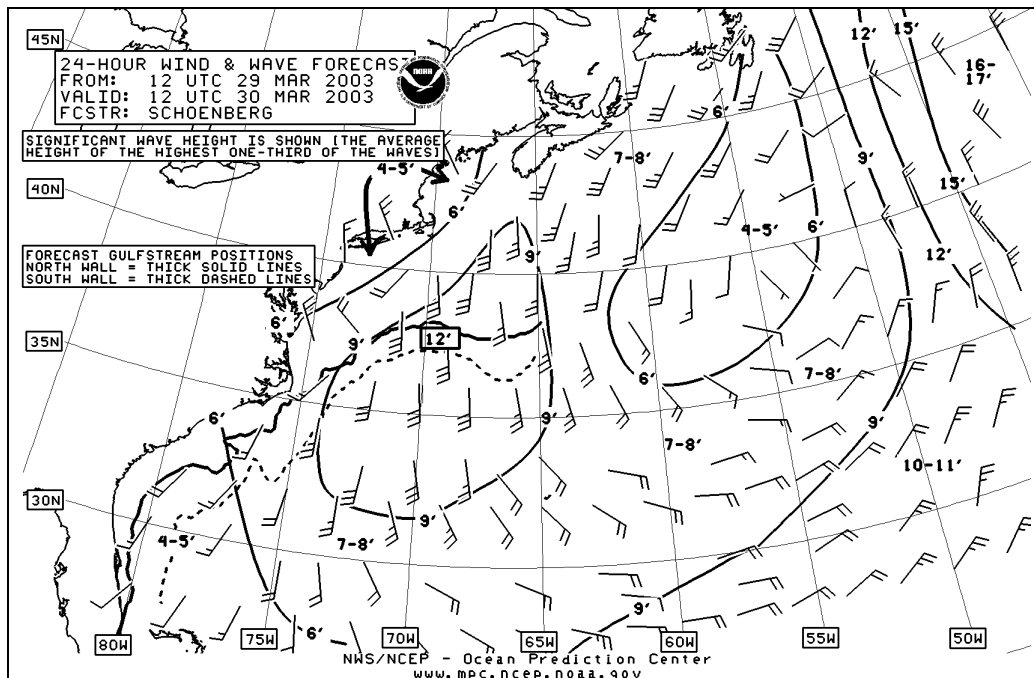


Figura 47 : Carta de previsión de viento y oleaje del Atlántico Norte. Fuente NOAA.

En atención a la última previsión obtenida a las 12 UTC del día, el buque se encuentra en una posición en la que la mar de viento empezará a recibirla por la aleta y con tendencia a rolar al E.

Se decide arrumbar directamente entonces, hacia el punto de recalada, dado que la previsión meteorológica, anticipa la formación de un centro de bajas presiones en $l = 44^{\circ} 00'N$ y $L = 068^{\circ} 00'W$; que se prevé avanzará al NNE.

Como la velocidad del anticiclón cercano es alta; en su retirada podría permitir descender de latitud a la borrasca citada y topar de proa con ella. En previsión de esto, se decide navegar arrumbando al punto de destino.

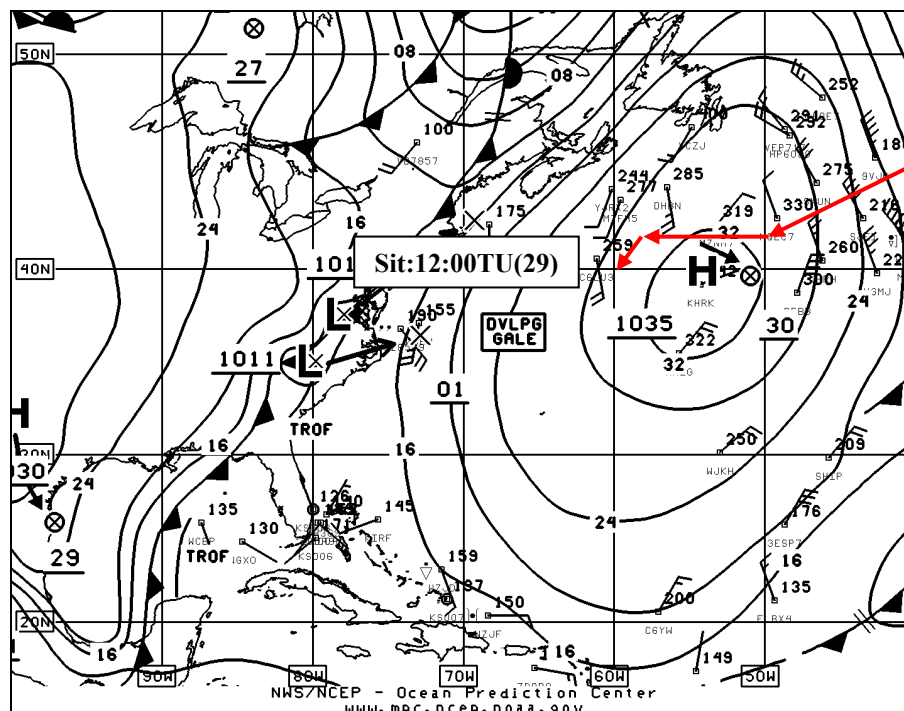


Figura 48 : Carta de análisis en superficie de la costa Atlántica de Estados Unidos. Fuente NOAA.

A las 12:00 UTC, situación I = 40° 07'N y L = 059° 18,8'W, se arrumba a I = 40° 35'N y L = 069° 30'W, por lo que el rumbo resultante será de:

$$\Delta I = 00^{\circ} 28'N$$

$$\Delta L = 010^{\circ} 11,2'W$$

$$I_m = 40^{\circ} 21'N, \text{ por lo que } A = 010^{\circ} 11,2' \cdot \cos 40^{\circ} 21' = 007^{\circ} 45,8'W$$

$$\text{tg}R_5 = A/\Delta I = 007^{\circ} 45,8'/00^{\circ} 28' = N 86,5^{\circ} W = \underline{273,4^{\circ}}$$

$$D_{lox} = \underline{502,54'}$$

la nueva incidencia de los elementos será de:

Velocidad real del viento son 25 nudos y dirección NE (rolando luego), siendo sus parámetros relativos al rumbo del buque, los 38 nudos y ángulo de incidencia de 130°.

Ángulo de incidencia del oleaje de 45° y altura significativa de 3,3 metros

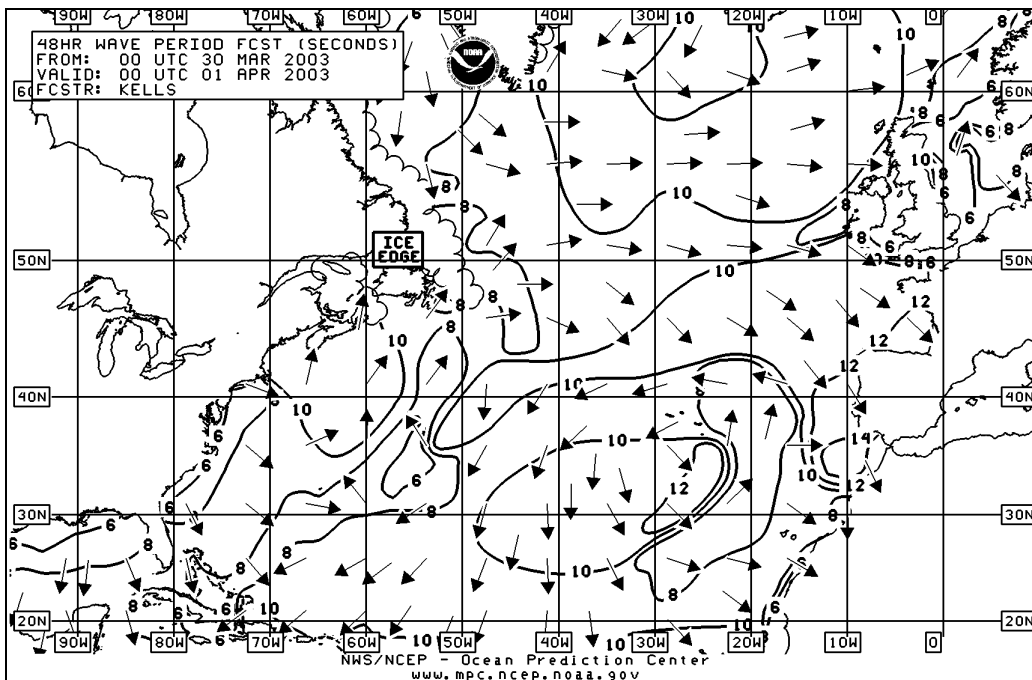


Figura 49 : Carta de previsión de viento y oleaje en el Atlántico Norte. Fuente NOAA.

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 3^2 / 1000 [\cos(45^\circ/2) + 0,3] - 0,28(20) / 10000 [(38/20) \cdot \cos 130^\circ - 1] =$$

$$V = 20 - 2,25 + 0,00048 = 17,75 \text{ nudos}$$

Teniendo en cuenta una reducción de 0,5 nudos por la corriente, queda una velocidad de 17,25 nudos.

Lo que suponen 28 horas y 18,4 minutos, para recorrer el resto del viaje. Pero se navega durante 12 horas a la espera del nuevo parte del tiempo a las 00:00 TU, lo que supone una distancia recorrida de:

$$D_{lox} = 12 \text{ horas} \cdot 17,25 \text{ nudos} = \underline{207'}$$

$$\Delta l = 207' \cdot \cos 273,4^\circ = 00^\circ 12,3' N$$

$$A = 207' \cdot \sin 273,4^\circ = 003^\circ 26,6' W$$

$$l_m = 40^\circ 27' N, \text{ por lo que } \Delta L = 003^\circ 26,6' \cdot \cos 40^\circ 27' = 004^\circ 31,5' W$$

$$\Delta L = 004^\circ 31,5' W$$

Situación a las 00:00TU del día 30/03 l = 40° 19,3'N y L = 063° 50,3'W

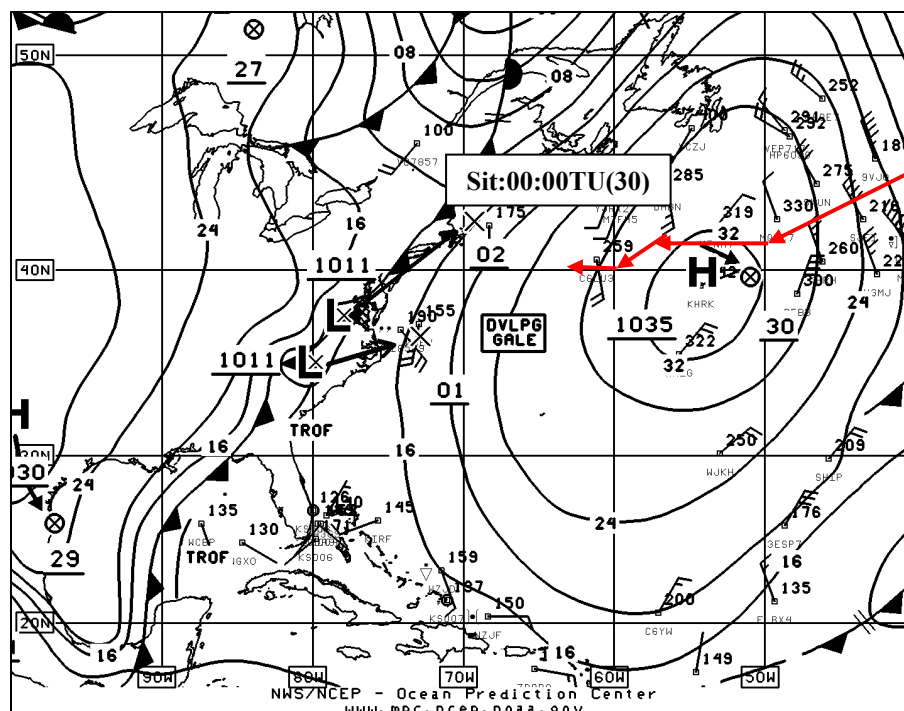


Figura 50 : Carta de análisis en superficie de la costa Atlántica de estados Unidos. Fuente NOAA.

6.5.9 Séptima singladura

Día 30/03/03 a las 00:00 horas TU.

1) En el menú para recibir la información se seleccionan todos los ítems, que serán presentados en pantalla dentro de diferentes ventanas.

- Navtex
- Radiofacsimil
- SMSSM
- Satélite

Además dentro de la opción de comunicaciones para solicitar datos *on line* a las estaciones de tierra o al satélite, se pedirá el parte por Internet.

2) Se toma la información local tomada de los archivos que contempla el correspondiente *Pilot chart* en memoria, permite contrastar niveles de presión, temperatura del aire y la mar y posibilidad de tormentas con la recomendación de ruta dada por la estación, en función de la situación meteorológica y rutas previas realizadas por la misma zona y época.

Desprendiéndose la siguiente información:

- Alta presión de 1024hPa, en $l = 48^{\circ} 00'N$ y $L = 018^{\circ} 00'W$, disipándose.
- Otro anticiclón de 1035hPa, se encuentra en posición $l = 40^{\circ} 00'N$ y $L = 053^{\circ} 30'W$, y se prevé que se desplace rápidamente al NE, junto al avance de la tormenta antes citada; permite que nos encontremos bajo su influencia directa y en su avance, aleje la baja presión que nos afectaba; suponiendo un parapeto de altas presiones que a medida que se desplace al NE, nos aportará vientos de levante.
- Por el momento el viento se recibe del cuadrante sur con una intensidad máxima de 30 nudos y generando una mar de viento de 2,5 metros.

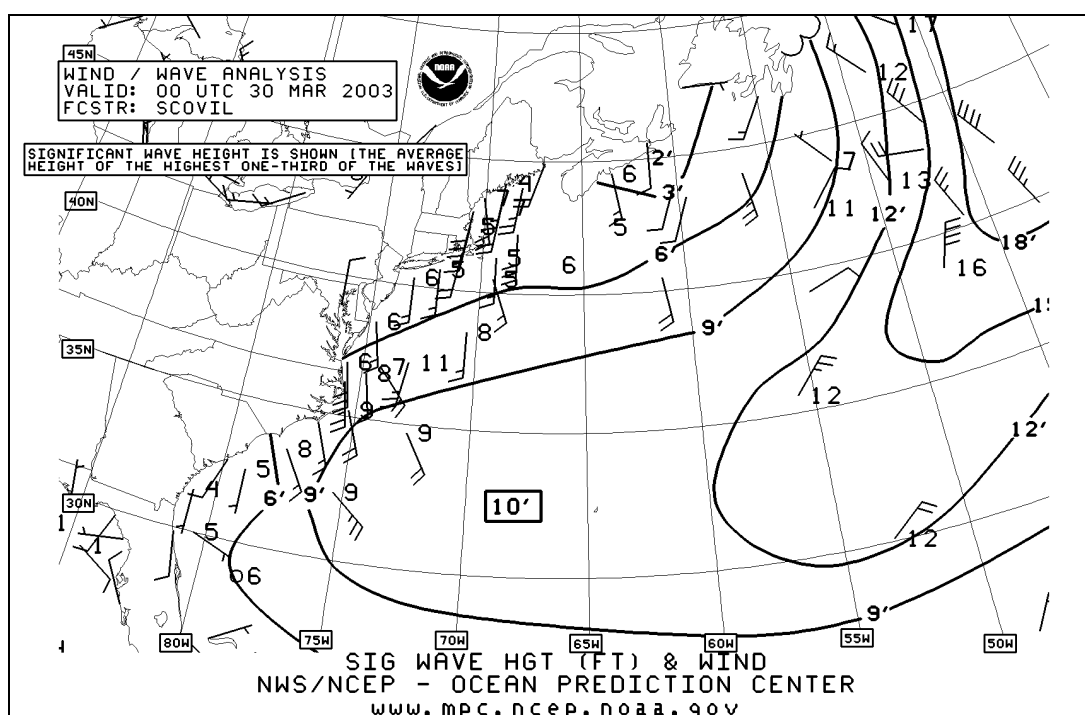


Figura 51 : Carta de análisis de viento y olas de la costa Atlántica de Estados Unidos. Fuente NOAA.

Quedan 295,24 millas para llegar al punto de destino.

La incidencia de los elementos en la navegación del buque, se traduce en lo siguiente:

Velocidad real del viento son 30 nudos y dirección S, siendo sus parámetros relativos al rumbo del buque, los 37 nudos y ángulo de incidencia de 148°.

Ángulo de incidencia del oleaje de 100° y altura significativa de 2,5 metros

$$V = (20) - 10,2(20) \cdot 2,5^2 / 1000 [\cos(100^\circ/2) + 0,3] - 0,28(20) / 10000 [(37/20) \cdot \cos 148^\circ - 1] =$$
$$V = 20 - 2,25 + 0,00014 = 18,8 \text{ nudos}$$

El día 30, para 2,5 metros de altura significativa, con ángulo de incidencia de 100°.

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H_s = 1/8 \cdot 1019 \text{g/dm}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (2,5 \text{ m})^2 = 7809,68 \text{ J/m}^2$$

Área de la banda = Calado • Eslora flotación,

Por tanto tenemos que²⁰², Área de la banda = 4 m • 120 m • sen 80° = 472,7 m²

De modo que, energía por el área expuesta, suponen 3,691696,04 J.

Asumiendo un período del oleaje de 10 segundos, deducimos que.

$$L = 1,56 \cdot T^2 = 1,56 \cdot (10 \text{ s})^2 = 156 \text{ metros,}$$

Cifra que no es un múltiplo exacto de 15 metros, valor de la manga del buque, y no cabe esperar que el buque entre en sincronismo transversal, aunque es aconsejable que la mar incida con ángulo diferente para reducir el balance.

Reducidas en 0,5 nudos por la corriente, con lo que quedan 18,3 nudos.

Por lo que 295,24 millas se recorren a 18,3 nudos en 15 horas y 42,3 minutos.

Llegando al punto de los bajos de Nantucket a las 15 horas y 42,3 minutos Tu o 10:42,3 HRB, del día 30, totalizando 6 días 15 horas y 42,3 minutos desde la salida.

²⁰² Dado que el ángulo de incidencia del oleaje es de 100°, aplicamos la proyección de la superficie de la banda.

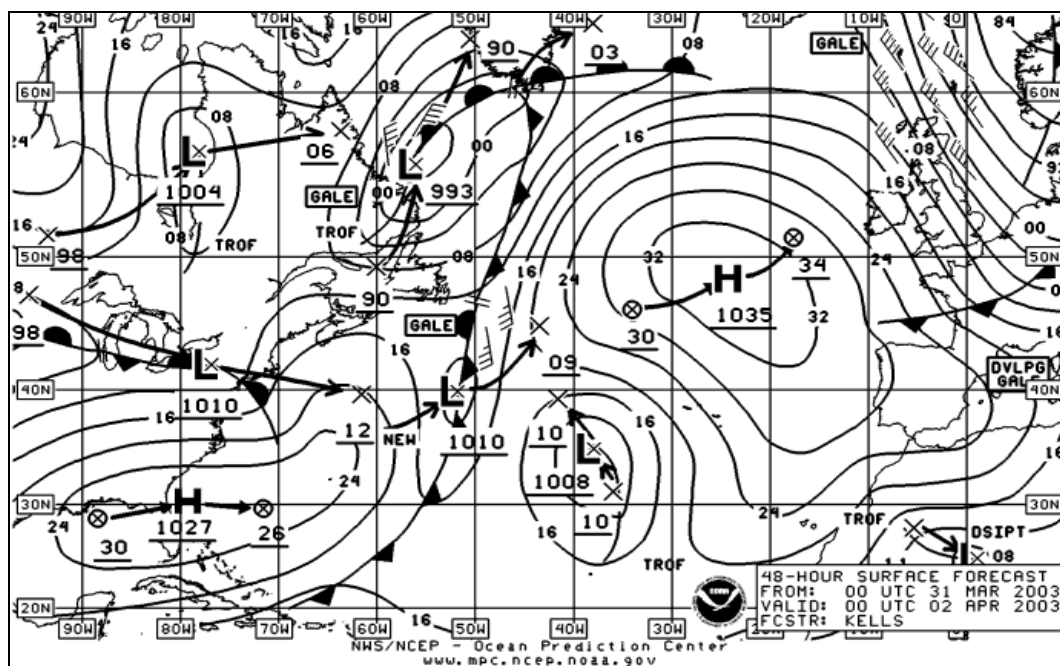


Figura 52 : Carta de análisis en superficie de la costa Atlántica de Estados Unidos. Fuente NOAA.

A partir de este último día ya es más factible el poder llegar a recibir la información de los diferentes partes del *National Weather Service*, como las emisiones de voz en HF para alta mar, zonas costeras y avisos de temporal.

Los USCG HF radiofax, emitido por el servicio de guarda costas, que emite mapas de tiempo de alta mar, temperatura superficial y previsiones en texto en la frecuencia de radiofax en HF. Los puntos de transmisión se sitúan en Boston (NMF), los partes del USCG MF en voz, con previsiones de alta mar y avisos de temporal, se emiten en 2670 kHz previo aviso en 2182 kHz.

El NAVTEX emitido por el USCG en formato texto, de las previsiones y los avisos de temporal, con una obertura de 200 millas, se deberán seleccionar las estaciones más cercanas. El USCG SITOR (NBDP) o impresión directa en banda estrecha, en emisiones de previsión para alta mar, junto a toda la información por *INMARSAT - C SafetyNET*. Y ya en las cercanías de la costa las previsiones de aguas costeras y los avisos de temporal, se transmiten en el canal VHF 22, tras un aviso en el 16 y la *NOAA Weather Radio*, con cobertura en todos los Estados Unidos, incluido Puerto Rico, con un alcance de unas 25 millas.

6.6 Conclusiones parciales

El conocimiento que tiene el marino de la situación atmosférica antes de emprender el viaje es una costumbre ancestral en la navegación. Decidir la mejor derrota posible desde un punto de vista meteorológico, es también un principio que rige desde los tiempos de la navegación a vela. Incluso buscar el momento más adecuado para zarpar y prevenir al buque de los temporales que pudieran afectar inicialmente en su ruta. Es decir, que las tres primeras conclusiones que podemos plantear con el trazado de la derrota meteorológica-oceanográfica son obvias.

- La indagación y conocimiento de las condiciones reinantes en la mar, antes de iniciar el viaje, permiten variar las coordenadas del primer punto de recalada y el rumbo al mismo sobre el inicialmente previsto en el cálculo ortodrómico. Con ello se obtiene una derrota que expone en menor medida la seguridad del buque a las condiciones de mar y viento.
- En las primeras horas de navegación, o cuando el buque realiza navegación costera, las manifestaciones meteorológicas pueden diferir notablemente de las deducidas para zonas contiguas de mar abierto. Ello depende de la naturaleza geográfica de la costa próxima, acentuándose la citada diferencia si ésta es abrupta, con acantilados escarpados y profundas ensenadas. En estos casos, las condiciones de la mar y el viento pueden experimentar grandes cambios entre zonas muy próximas, y la seguridad de la navegación descansa más en el conocimiento que posea el piloto acerca de las características de la zona. Se deberá tener presente la existencia de corrientes frías, pues favorecen la formación de nieblas costeras.
- Cuando el barco alcanza mar abierto se plantea el problema del rumbo a seguir. Existen derrotas estacionales normales perfectamente conocidas, e incluso otras recomendadas para buques pequeños o con poca carga, sin embargo obedecen a planteamientos de circulación atmosférica general, y no contemplan, por tanto, las condiciones particulares que puedan desarrollarse en cada momento. El análisis de los mapas y la previsión del tiempo deben aconsejar si se sigue un rumbo dado o es preferible dar un rodeo que permita evadir determinadas áreas de mal tiempo o condiciones de viento o mar inadecuados para las características del buque.

- Las derrotas meteorológicas pueden tener distintas funciones según sea el objetivo perseguido. Así, hay derrotas que minimizan el tiempo empleado en la travesía, son interesantes para los buques que tienen línea regular con varias escalas en puerto. En otros casos, la derrota es preparada para evitar los posibles daños potenciales. En tercer lugar podríamos tener derrotas para reducir el consumo de combustible.
- La optimización de la derrota desde un punto de vista de la seguridad o de la eficiencia de la navegación, proporciona resultados inmediatamente perceptibles a bordo, por ejemplo una reducción en el consumo del buque, el desarrollo de una velocidad superior o también una mayor estabilidad del buque. A corto y medio plazo serán perceptibles una mejor conservación del casco del buque por la disminución de vibraciones y esfuerzos flectores sobre el mismo.
- La posibilidad de recibir la información meteorológica en cualquier situación en la que se halle el buque y en cualquier momento que las pueda necesitar; en forma de cartas en superficie con las correspondientes previsiones a 24 ó 48 horas, supone una mejora importante del nivel de seguridad del buque, ya que permite a su Capitán el poder prever con suficiente antelación los fenómenos meteorológicos que puedan presentarse por la proa y tomar con antelación una decisión basada en la menor exposición posible del buque a peligros innecesarios.
- Dicha información debería llegar al buque, una vez no hubiera cobertura radio, a través de satélites de comunicaciones o a través de los propios satélites meteorológicos. El problema técnico no es una cuestión planteada en esta tesis, sin embargo insistimos en la necesidad de que los foros internacionales como la IMO, empiecen a tener en consideración la aceptación legal de constelaciones de satélites de comunicaciones que no sean el INMARSAT. Los problemas existentes de demora en la transmisión de la información por parte de los satélites LEO como el ORBCOMM, no supondrían una objeción mayor, pero la transmisión lo más cercana posible al tiempo real, sería deseable.
- Se considera útil la posibilidad por parte de los satélites meteorológicos de una capacidad de transmisión que permita a la propia plataforma, el comunicar la información que capta al buque. El problema subsiguiente provendría de la capacidad de sus oficiales para poder interpretar las imágenes proporcionadas en los diferentes canales de radiación en los que los satélites meteorológicos de sensores pasivos, captan la información.

7 CONCLUSIONES FINALES

Los objetivos planteados al inicio de la tesis, fijaban cuatro puntos, siendo éstos el analizar y procesar la información meteorológica y oceanográfica, investigar los sistemas de recepción de datos a bordo, buscar criterios para un sistema de presentación y trazado de una derrota optimizada; a los cuales se les ha dado respuesta a lo largo de los diferentes capítulos, poniendo además de manifiesto los problemas que se han observado.

Teniendo en cuenta que el tema tratado en cada parte de la tesis tiene sus propias connotaciones se termina cada una de ellas con un apartado de conclusiones parciales. Los datos aportados en las conclusiones parciales son objeto de una matización en los conceptos empleados, y utilizados en estas conclusiones finales de la tesis.

Si bien la meteorología es una ciencia muy antigua, de la cual encontramos textos que se remontan al siglo XVI, todavía hoy existen muchas lagunas. Esto se debe principalmente a una escasez de datos procedentes del océano, que consecuentemente limitan el entendimiento del sistema climático mundial. Y es que la dificultad radica en la extensión y situación de los océanos. Son zonas mayormente inaccesibles por observación directa, debido a su extensión, y los elementos de medición están sometidos a unas condiciones ambientales duras.

En el transcurso de los últimos años se ha creado una necesidad por parte de la comunidad internacional, de medir los diferentes elementos meteorológicos para realizar una predicción meteorológica posterior adecuada. Con esto se pretende mejorar un amplio campo de aplicaciones como son las siguientes:

- Prevenir catástrofes como las que se produjeron en los países costeros del Océano Pacífico durante los años 1982/1983 debido a ciclones tropicales inesperados.
- Establecer unas rutas seguras de navegación en función de los fenómenos meteorológicos ocurridos en los últimos años, a base de estadísticas y probabilidades.

- Realizar previsiones meteorológicas a largo plazo para que los buques puedan escoger la mejor derrota a seguir.
- Estimar el movimiento de los bancos de peces y nutrientes que pueda haber en el océano para una correcta evaluación y gestión de la pesquería.

Por esta razón hay diversas organizaciones como la *Organización Meteorológica Mundial* y la *Comisión Oceanográfica Intergubernamental* de la UNESCO que se encargan de realizar una continua vigilancia de los océanos a nivel mundial, y que han creado programas como el *Ocean Observations Panel for Climate* (OOPC), responsable de mantener un sistema de observación oceánico para el control a largo plazo del clima.

Para ello se dispone de plataformas y sensores tan modernos como los instalados en satélites, que si bien ofrecen la posibilidad de prestar una cobertura global, se encuentran limitados en el caso de la oceanografía, por el reducido número de parámetros que son capaces de medir dada la inaccesibilidad a capas de agua de cierta profundidad (tanto en el espectro visible como en el IR térmico solo unos pocos milímetros), y la baja resolución temporal de algunos satélites.

En el caso concreto de la oceanografía, las boyas disponen de una gran capacidad de registrar información local de una altísima calidad. Este es el caso por ejemplo de las boyas de medida ALACE que cuentan con el sistema de transmisión satelitario ARGOS para la emisión de los datos obtenidos por sensores de salinidad, temperatura, y sistemas de estudio de niveles de densidad (profundidad), que muestran perfiles del océano de hasta 2000 metros de profundidad.

Pero las plataformas por autonomía que durante siglos han proporcionado la mayor fuente de obtención de datos del océano, y que todavía hoy su existencia es altamente requerida; son los buques. Se ha creado un programa de incentivación (VOS: *Vessel Observing System*) para que los buques mercantes principalmente, informen a las oficinas meteorológicas del país acerca de parámetros meteorológicos de interés climático, a intervalos regulares de seis horas, o bien cuando sean requeridos. Y debido a la rentabilidad e importancia estratégica, se están instalando en numerosos buques, caros equipos automatizados para la mejora de la calidad en las observaciones.

No obstante existen elementos como la temperatura, o salinidad de la superficie del océano que si bien pueden medirse por medio de sensores dispuestos en plataformas satelitarias, dependen

de un sistema que corrobore los datos obtenidos, ya sea por medio de boyas a la deriva o buques pertenecientes al programa de observación voluntaria. Esto implica una escasez de datos fiables en ciertas zonas de los océanos denominadas como “áreas de datos escasos”, y que normalmente se encuentran en el hemisferio sur.

De todas formas hay deficiencias en los sistemas de observación, que si bien podrían ser mejorados, aumentaría el coste de las observaciones puesto que debería aumentarse el número de plataformas de medición, sensores o transmisiones a tierra, y tal vez los modelos de predicción actuales deberían cambiarse para modificar un mayor número de entradas.

La concienciación del interés de las observaciones marinas, empieza a calar en la administración por la propia seguridad de la navegación y por la importancia del océano sobre el cambio climático global. Este es el caso por ejemplo de España, que implantó un decreto con fecha del 24 de noviembre de 1955 por el cual los buques de la flota mercante nacional que sirvieran con carácter fijo líneas regulares de pasaje o carga quedaban obligados a prestar colaboración meteorológica, y se invitaba a los que efectuaban navegaciones trasatlánticas o de gran cabotaje en este servicio, pero que durante muchos años ha permanecido fuera del programa de observación voluntaria de buques. Sin embargo, actualmente se están intentando aunar los esfuerzos de colaboración de la *Dirección General de la Marina Mercante* y el *Instituto Nacional de Meteorología*, para volver a implantar el servicio en buques de bandera española.

Y la concienciación no debe estar solamente a un alto nivel, sino que también debe llegar a los usuarios finales, quienes deben hacer un correcto uso de la meteorología para por ejemplo trazar derrota seguras para la navegación. Desde mi modesta experiencia a bordo de buques mercantes me he encontrado con unos equipos de medición que no han sido calibrados, ni se les ha efectuado el oportuno mantenimiento. Este es el caso por ejemplo, del psicrómetro del que no ha sido humedecida correctamente la muselina, del barómetro que no ha sido correctamente calibrado, del barógrafo que no ha sido utilizado en ninguna navegación y cuyo estilete traza la curva semana tras semana sobre el mismo papel.

Porque si bien hay una normativa SOLAS acerca del material náutico que debe llevarse a bordo, unas recomendaciones de la OMM sobre cómo utilizar los instrumentos, y una normativa STCW sobre el nivel mínimo de formación de los oficiales de a bordo, parece un tema de poca importancia en el devenir cotidiano de la industria marítima.

En cuanto a la toma de las mediciones de las variables climáticas a bordo, la mayor parte de veces se adopta la costumbre de copiar los datos introducidos en la guardia anterior, con una ligera variación para que no parezca copiado. Y en cuanto a la recepción de partes entrantes vía Navtex o Inmarsat, se suelen guardar en el cajón hasta que el oficial encargado (normalmente el segundo o tercer oficial) los archiva en una carpeta para no volverlos a mirar.

Sin embargo la cuestión quizás reside en que si bien las condiciones de tiempo duro no hayan sido previstas o consideradas con exactitud y puedan echar a pique un barco, la pregunta es la de cómo dicho buque llegó a encontrarse en tales condiciones, existiendo tan amplia variedad de recursos informativos sobre el estado del tiempo, y cuál era su estado en cuanto a estabilidad y navegabilidad. La razón última de este párrafo apunta al por qué existiendo en la actualidad, dispositivos que proporcionan previsiones de tiempo fiables y que las comunicaciones por satélite permiten la casi ubicuidad de cantidades ingentes de información a los Capitanes de los buques, se siguen perdiendo los buques, las vidas de sus tripulantes y centenares de contenedores son barridos de las cubiertas de sus naves, debido al mal tiempo.

La implementación de los criterios que se han desarrollado en esta tesis, sirven para avalar la configuración de un sistema integrado de información meteorológico y oceanográfico, donde se eliminan algunos de los problemas que tienen los actuales sistemas. Para ello primero se deberá tener en cuenta la legislación actual y nuevas normas que regulen de forma clara todas las áreas de la Estación de Planificación. En segundo lugar se deben introducir nuevas tecnologías para permitir corregir los problemas técnicos enumerados en especial respecto a la estructura, formato y velocidad de transmisión y recepción de datos.

Considerando en este punto, las principales conclusiones de esta tesis y realizando un repaso ordenado en función de la distribución de los capítulos y objetivos, respecto del análisis de las fuentes de información creo que:

- Como recomendación genérica que parte de esta tesis, es la de diseñar sistemas con los que el buque pudiera interrogar a los satélites, y estos transmitieran la información procesada por las estaciones terrestres al buque. De forma que se asegurara un canal de comunicación entre los satélites y las centrales en tierra, para permitir la respuesta en forma de cartas de tiempo completas, levantadas en los centros meteorológicos

- En el caso de los satélites de órbita geosíncrona, disponemos de los modos WEFAX que puede recibir por APT con un convertidor de frecuencia y además retransmitir imágenes provenientes de otras fuentes, todo ello mediante una antena yagi. En cambio en el modo GVAR que permitiría resoluciones de 1, 4 ó 8 Km., al necesitar de una antena grande, direccional y de seguimiento, no la considero adecuada a bordo.
- Respecto de las imágenes, en los canales APT y WEFAX son de menor resolución y sus datos carecen de calibraciones precisas, por lo que sólo son útiles a los fines de observación y para la meteorología sinóptica. Con ellos se obtienen, análisis de nubes, sus formas, frentes y estimaciones globales; que a mi juicio, considero suficientes para que el marino tenga una visión global de lo que ocurre alrededor. Las imágenes cualitativas en cambio, recibidas mediante los modos HRPT y GVAR, contienen gran cantidad de información porque son de alta resolución y sus datos están altamente procesados, pudiendo utilizarse para una observación, análisis y estudio exacto de la atmósfera.
- Pudiendo elegir un sistema óptimo para la detección de parámetros meteorológicos de interés para el marino; sería deseable un sistema satelital rentable, que realizara frecuentes visitas en el tiempo y con una alta resolución espacial. Esto vendría ofrecido por una constelación de 5 a 10 satélites pequeños, que contaran con sensores de microondas pasivos, ópticos y también SAR; lo que podría cubrir muchas aplicaciones marinas como el control del hielo y terrestres.
- Se necesitan implementar mejoras en los sistemas de transmisión de datos e imágenes, para que los Servicios Meteorológicos Nacionales puedan aumentar la fiabilidad de sus previsiones.
- La imposibilidad de obtener información completa, directamente del satélite, supone una limitación cuya solución permitiría aumentar los niveles de seguridad para los buques.
- Tal volumen de información, debería ser procesado rápidamente por las estaciones receptoras, con ordenadores de alta velocidad y mandado sin demora a los usuarios. Además y en paralelo, el concepto de procesamiento a bordo mediante un software adecuado y un enlace directo a los datos de imágenes y SAR, se debería de desarrollar más en aras de lograr un producto asequible. Esta última posibilidad se enfrenta a la capacidad

de la propia tripulación para la interpretación de dichas imágenes, de forma que la falta del adiestramiento necesario, pondría en cuestión su utilidad.

- Los servicios de derrota para buques, gestionados desde estaciones de tierra, tienen su origen en los Estados Unidos en los años 50 y posteriormente esta práctica fue adoptada por varios servicios meteorológicos gubernamentales en Europa alrededor de los años 60. Hasta esos momentos, la práctica más común era la de hacer uso de los principios conocidos y ya contrastados a la hora de seleccionar rutas en viajes transoceánicos. El principal propósito era el de evitar las colisiones, pero también las condiciones meteorológicas eran también tenidas en cuenta. El servicio prestado en aquellos días puede considerarse como el primer sistema prestado de Routeing utilizado jamás.
- Un sistema similar se perpetúa hoy en día con las conocidas Pilot Charts desarrolladas por la Agencia Hidrográfica de los Estados Unidos para cada mes del año, conteniendo información sobre corrientes, distribución del viento y recomendaciones de rutas entre los principales puertos del mundo. El Almirantazgo Británico desarrolla sus *Routing Charts* con servicios similares a las americanas, recomendando rutas de acuerdo a condiciones meteorológicas, además su publicación "*Ocean Passages for the World*" estudia estas rutas recomendadas con mayor detalle.
- La aparición de dichos servicios de derrota con el fin de evitar las peores condiciones meteorológicas vino de la mano de los avances tecnológicos en la posguerra y la introducción de ordenadores cada vez más veloces recogiendo y transmitiendo datos meteorológicos, predicciones, desarrollos y movimiento de sistemas frontales. Aunque el término *Weather Routeing* (Derrota Meteorológica) se usa con bastante asiduidad, es más correcto emplear ***Ship Routeing*** (Derrota para Buques) debido a que aunque el factor tiempo es de los más importantes, también se usan otros como los principios de navegación, ingeniería naval, oceanografía y la construcción naval; principalmente a la hora de considerar una ruta como óptima o por el contrario descartarla.
- Hoy en día el Capitán está obligado a contar con recursos y ayudas externas, especialmente si se desea realizar una navegación económica. Datos climatológicos, boletines meteorológicos por radio y cartas facsímil son indudablemente útiles pero no siempre las tienen a su disposición, ni los enormes recursos de quienes las ofrecen, como los modernos centros meteorológicos como puede ser el de *Bracknell* en Inglaterra (aunque hoy en día

van surgiendo compañías privadas con tecnología suficiente a su alcance para competir en ciertos aspectos e incluso superar, a estos centros gubernamentales).

Estos centros cuentan para la tarea de seleccionar las mejores rutas, mediante un grupo de Capitanes con larga experiencia oceánica (asesorados por meteorólogos profesionales) que dedican su tiempo a elegir las derrotas más ventajosas para los buques que usan dicho servicio. Estos centros están dotados de un flujo continuo de datos de análisis y previsión meteorológica, información sobre hielos, avisos a los navegantes, facsímiles y fotografías satélite entre otros, así como inmensas bases de datos de dónde extraen e introducen información continuamente; con todo este aporte y flujo de datos ya solo resta la participación de profesionales cualificados para poner en marcha estos centros de planificación de derrotas.

En la actualidad estos servicios de Routeing tienen una mayor aceptación y por tanto un incremento de demanda debido principalmente a su buen funcionamiento, al ahorro de combustible que suponen así como al aumento de la seguridad del buque, tripulación y carga. Por estos motivos es cada vez más frecuente la contratación del servicio, bien por parte de los mismos armadores, fletadores o cargadores. De todos modos, el Capitán de un barco es la persona más adecuada para elegir la ruta que seguirá su buque si tenemos en cuenta el factor local conjugado con la reacción del propio barco inmerso en los elementos.

De toda la información meteorológica disponible a bordo, considero destacable desde el punto de vista de la seguridad en la navegación, el viento como la primera variable a tener en cuenta, por la incidencia que tiene en la generación de oleaje, al incidir sobre la superficie de la mar. Sin embargo el oleaje es un parámetro más determinante en el rumbo y estabilidad del buque, ya que puede obligar a variar nuestra derrota. En otro estadio dentro de la seguridad, la niebla claramente es un factor importante.

Pero las investigaciones realizadas actualmente ponen de manifiesto algunas deficiencias e incongruencias en la utilización de los datos, dado que existe una:

- Falta de observaciones sobre la mar. La dificultad estriba en poder mantener estaciones oceánicas fijas, formando una red lo suficientemente amplia para facilitar datos que sirvan a los modelos numéricos como base de partida de sus cálculos. De hecho, y desde el punto de vista del marino, con unos mínimos conocimientos del tiempo, se puede llegar a hacer una previsión local a corto plazo, del tiempo mediante la observación del cielo, el viento,

la presión y el conocimiento meteorológico del marino; se puede hacer un esbozo inicial válido, para llegar a una previsión de la tendencia unas horas por delante.

- La posibilidad de instalar boyas o sensores en zonas próximas a la costa, es una solución factible y efectiva dada la experiencia obtenida por servicios meteorológicos como el *Servei Meteorològic de Catalunya*, las cuales proporcionan una información local que permite corregir la información sinóptica para usuarios como buques deportivos, veleros o embarcaciones de alta velocidad. Pero sabiendo de las limitaciones que supone el tener una estación o boya de adquisición de datos en sondas donde el fondeo plantea dificultades que lo convierten en una opción descartable. Desde esta Tesis, planteo la solución de establecer boyas de adquisición de datos que deberían de mantenerse situadas en su posición mediante sistemas de posicionamiento dinámico como los usados en los buques cableros o los de prospección petrolífera, solución que se alimentaría de la información proporcionada por el sistema GPS, la energía se obtendría a partir de paneles fotovoltaicos y la transmisión de datos, se realizaría mediante sistemas satelitales.
- Falta de fiabilidad en las observaciones. Es una consecuencia directa de la limitación del número de observaciones sobre las áreas oceánicas, surgen errores o desviaciones en las primeras iteraciones que los modelos numéricos utilizados para calcular el comportamiento del aire, y siendo la atmósfera un sistema caótico, los pequeños errores o carencias al principio de un proceso, pueden conducir a predicciones muy diferentes de la realidad.
- Existen claras limitaciones en el momento de recibir información ya procesada a bordo. Si utilizamos los sistemas tradicionales basados en la transmisión desde estaciones terrenas tienen problemas y limitaciones de alcance. Si nos servimos de la infraestructura de satélites el problema puede ser legal y económico, ya que los costes son elevados y algunos sistemas de transmisión por satélite no son reconocidos por la OMI.
- Un sistema avanzado de información, debe garantizar una cobertura global y la comunicación on-line en todo momento. Por ejemplo, la falta de datos actualizados de temperatura de la mar y temperatura de punto de rocío, puede significar encontrar nieblas súbitamente.

- Los actuales modelos de predicción, utilizados por las organizaciones generan campos de viento que difieren mucho unos de otros, especialmente en áreas de datos escasos. La utilización de satélites para compensar este efecto, garantiza una cobertura global razonable pero se deben de continuar los esfuerzos para mejorar la calidad de los datos obtenidos y en concreto la dirección y fuerza del viento.
- Para la optimización de la toma de datos de presión, se podría plantear:
 - Corrección por la posición del barómetro respecto al nivel de la mar: Entrando el valor del calado en la estación meteorológica, y estando programada en la estación los valores del francobordo de verano más la altura del alerón del puente sobre la cubierta de francobordo; la altura total del barómetro al nivel de la mar, nos la calculará el programa que además nos proporcionará la reducción a aplicar. De modo que.

$$\textit{Altura del alerón s/ cubierta francobordo} + \textit{francobordo actual} = \textit{altura total}$$

Conversión altura en hPa, 10 metros/ 1 hPa.

- Corrección por temperatura, en el caso de los barómetros de mercurio, se programa la tabla de conversión de las diferentes temperaturas, con la de dilatación del mercurio y de la escala metálica. Estos valores deberán introducirse para cada barómetro.
- Comparación gráfica con la curva de marea barométrica diaria, de la evolución de la presión a lo largo del presente día. Lo cual nos lleva a la deducción de las variaciones que sobre una curva estadística, obtenida a partir de los valores registrados durante diferentes viajes por una misma zona, nos permitiría obtener la próxima aparición de una baja. Comparativa de lo anterior con la tendencia y característica barométrica, a lo largo del día.
- Seguimiento y registro en la estación de trabajo, de la evolución de los centros de bajas presiones que se forman en la cuenca oceánica por la que navega el buque, lo que permitiría justificar los cambios en los valores de presión detectados anteriormente y además superpuesto a la derrota del buque, nos permitiría situar relativamente dichos centros con la situación del propio barco.

- La falta de aparatos termosalinógrafos de alta capacidad, junto a sensores eficaces para la medida de la salinidad y temperatura, puede limitar la posibilidad de detectar la circulación de corrientes marinas. De hecho, podemos aseverar que desde un punto de vista de la industria del transporte marítimo, la no garantía de la cobertura global de los datos oceanográficos, y en concreto la falta de mediciones de salinidad puede tolerarse, pero la falta de mediciones de temperatura tanto en superficie como en diferentes sondas, entraña una mayor gravedad desde el punto de vista de la seguridad de la navegación como dato original para calcular la posibilidad de nieblas (seguridad), como desde el punto de vista de prospecciones de pesca.

El proceso de optimización del cálculo de una derrota, debe de plantearse, mediante un proceso iterativo de contraste de la información meteorológica recibida y la exposición que pueda sufrir el buque a las condiciones previstas. En un sencillo proceso de combinación de los valores y parámetros disponibles y mediante sucesivas iteraciones, podremos llegar a obtener la derrota que maximice o minimice el parámetro elegido.

La tendencia actual, se dirige a la integración de las funciones realizadas en el buque en un número limitado de estaciones de trabajo, que específicamente reciben y presentan la información que se les ha aportado. Dicha integración físicamente supone desde el punto de vista técnico, la:

- Reducción del número de consolas
- Reducción del coste de instalación y cableado
- Reducción del tiempo de diseño
- Reducción de interconexiones eléctricas
- Reducción en la discusión del criterio de construcción del puente de gobierno entre astillero, armador y fabricante del sistema SCC.

El análisis físico realizado, ha permitido relacionar el escenario de las dimensiones físicas del puente en relación con el usuario, la distribución de las estaciones y el campo visual exterior, mientras que el análisis funcional, refiere a las relaciones funcionales entre el usuario operando un centro de control en cualquiera de sus estaciones de trabajo, moviéndose entre las mismas y el campo habitable y visual interior y exterior al sistema.

El análisis realizado desde el punto de vista de la operatividad, que establece una interfaz sólida entre el usuario y el centro de control del buque, contemplaría los siguientes factores²⁰³:

- Armonización de las presentaciones en pantalla
- Normalización de definiciones, designaciones, abreviaturas, mandos, colores y sintaxis de presentación de la información.
- Estandarización física y funcional de los controles e indicadores.
- Estandarización de la localización de los componentes en las diferentes estaciones de trabajo

El planteamiento de una metodología para el diseño de criterios para proponer una estación de trabajo para el procesamiento de la información meteorológica, pasa por un diseño ergonómico de la misma que a su vez implica también el mismo criterio de diseño para el centro de control completo, y que como se ha mencionado brevemente con anterioridad; hoy día se ve ayudado por las técnicas de asistencia informáticas, a través del correspondiente análisis físico y funcional.

Las conclusiones más interesantes obtenidas son las que afectan a la presentación y la distribución de información sobre la Estación de Planificación de derrotas, y se caracterizan por pretender un incremento en la seguridad de la operativa por hacerla más amigable e intuitiva y una disponibilidad de tripulación cada vez menor para atender la guardia, hecho que ocurre hoy en día con demasiada frecuencia.

Todas las razones apuntadas van encaminadas a reducir la carga de trabajo sobre el oficial de guardia, facilitando la contestación a los interrogantes que se le puedan plantear durante el viaje.

- Las principales características que definen una estación de planificación, son:
 - Un diseño ergonómico, pensado para poder ser operado por un solo tripulante durante largos períodos de tiempo.

²⁰³ WENTZELL,H.F. (1999). *Modern bridge design: State of the art and future chances*. Estudio elaborado por SAM Electronics.

- Posibilidad de un acceso rápido y claro a toda la información que se precise en cada momento para que el piloto se halle constantemente informado de la situación existente.
- Disponer de una comprobación automática de los datos mediante alarmas y funciones de seguridad, que además permitan conocer si un determinado parámetro excede de las condiciones de utilización normales del barco.

Los criterios legislativos enunciados apuntan a que:

- No hay legislación suficientemente específica para la presentación de datos meteorológicos y oceanográficos en sistemas integrados para implementar a bordo de los buques, ya que se utilizan normas parciales que han sido propuestas para equipos o elementos empleados de forma aislada.
- La estación meteorológica y oceanográfica deberá seguir las reglas actuales contenidas en los Convenios Internacionales promulgados por la OMI, la ISO, las directrices de las Sociedades de Clasificación y los estándares de las organizaciones internacionales;
- Los criterios que no sirvan para mejorar la claridad de la presentación de los datos, su integridad y la independencia de otras estaciones, no serán considerados;
- La normativa debe tener en cuenta los principios que actualmente son obligatorios para los diseñadores y constructores en general, incorporando los que han sido contrastados en campos de otras áreas, maritimizando sus características para adaptarlos a las condiciones en las que operan los diferentes tipos de buques.
- La metodología de diseño de una estación de trabajo que forme parte de un sistema SCC, debe por tanto seguir esta normativa, introduciendo incluso las recomendaciones que aún no siendo de obligado cumplimiento, implican una fuerte carga de conocimiento y experiencia; en aspectos relevantes del sistema

Resumiendo y considerando lo anterior como una premisa, los criterios legislativos establecidos, se consideran normas excluyentes, referentes a la estación destinada a la presentación de datos meteorológicos-oceanográficos. Los criterios se nutren de la

información contenida en la normativa existente con los aspectos relativos a la tecnología empleada, los procedimientos utilizados y los diseños adoptados, pero siempre respetando la seguridad y estandarización.

Los criterios que tratan de introducir los equipos y tecnología necesaria para la presentación y tratamiento de las variables meteorológico-oceanográficas, deben ser los siguientes:

- Establecimiento de sensores capaces de obtener datos meteorológicos y oceanográficos automáticamente, del entorno por el que navega el buque, para ser incorporados en la estación de trabajo de planificación de derrotas como información local.
- Respetar la compatibilidad electromagnética en todos los equipos para evitar las interferencias que se puedan producir en las transmisiones de datos, además de evitar la misma incompatibilidad en el caso del equipo de toma de datos meteorológicos con las antenas montadas previamente en los palos del buque.
- Respetar la compatibilidad de estándares de comunicación entre los equipos, para evitar la necesidad de interfasearlos. Como criterio por defecto el lenguaje usado, debería ser el de la NMEA 0183, por ser el usado masivamente en el equipo del puente de los buques. Estudiar la posibilidad de aplicar lenguajes de tipo XML²⁰⁴ para salvar los problemas de compatibilidad e incluso los del tipo MSML.²⁰⁵
- Presentar toda la información meteorológica, junto con la de las derrotas planificadas en una única pantalla, accediendo a las diferentes posibilidades en cuanto a derrotas, mediante los correspondientes menús. Desde el punto de vista de la integración, sería conveniente que dicha información exclusiva de la estación de trabajo de planificación, fuera accesible desde al menos la estación de trabajo de navegación; para propósitos de consulta.

Los criterios operativos propuestos se resumen en:

- Los procedimientos para la verificación de la información presentada, pueden llevarnos demasiado tiempo, especialmente cuando se trabaja en situación de tensión. Las

²⁰⁴ Extensive Marked-Up Language.

²⁰⁵ Maritime Specificied Marked-Up Language. Cuya aplicación se estudia en el proyecto del 5º Programa Marco, de la Comisión Europea. MANATEE:

recomendaciones realizadas en el párrafo 5.4, son idóneas para resolver estos problemas ya que la simplicidad propuesta, evita la pérdida de tiempo.

- Disponibilidad de la información suficiente, para cubrir las necesidades de navegación y de seguridad en cada momento.
- Compatibilidad de los datos presentados con los generados y los recibidos de otras estaciones o del exterior.
- Posibilidad de valoración y evaluación de la información calculada, por parte del piloto para la posterior ejecución de las tareas programadas de forma automática. Esta posibilidad se tiene en cuenta para permitir al factor humano tener un criterio supervisor de la información final.
- Contraste de la fiabilidad y seguridad de la información que nutrirá cada operación individual y en conjunto.

Desde el punto de vista ergonómico:

- Los criterios ergonómicos deben ser el punto de partida en el diseño de la Estación de Planificación, ya que su aplicación revierte en el bienestar del tripulante, lo cual supone trabajar de forma agradable y cómoda. En principio, podría parecer un factor banal, pero si analizamos su incidencia en las personas, se descubre que la falta de criterios ergonómicos crea una carga de trabajo adicional dado el tiempo que pasa el piloto en el puente durante su guardia y la tensión que puede añadirse en situaciones de tráfico o delicadas.
- La presentación de los datos en la pantalla, debe ser realizada mediante colores, símbolos y abreviaturas estandarizados, fácilmente reconocibles por el usuario y que gocen de la normalización oficial por parte de gobiernos y organizaciones internacionales. De hecho los criterios de presentación usados en la pantalla de una estación, deben de respetarse en las restantes, por ejemplo ubicación física de los datos, colores y tamaños; deben de ser los mismos para cada uno de los datos y funciones; en todas las pantallas.

- La información textual y los datos de las variables, deben tener formatos compatibles con otras representaciones, por ejemplo las cartas presentadas por el sistema ECDIS, para poder superponer ambos datos. De hecho la utilidad de la geo-referenciación de dichos datos a una carta electrónica; es lo que da el valor al sistema, ya que el piloto puede entender el contexto sinóptico en el que está inmerso el buque.
- Una de las premisas que actualmente no cumplen las diferentes estaciones de trabajo desde el punto de vista de la integración, y que se pretende que este sistema cumpla es precisamente la posibilidad de realizar el intercambio de información entre las pantallas de las diferentes estaciones de trabajo en el puente, principalmente la de navegación. Para ello es necesario que las mismas manejen datos con el mismo formato o que se deba de interponer un interfaz entre las diferentes estaciones.

El tiempo meteorológico, es un factor importante que es aludido en los litigios legales, desde el momento en el que se pretende defender la pérdida o daño de un buque o de su carga. Esta es una razón más, que justifica el que un buque disponga de una Estación de Planificación que presente resultados y conclusiones al respecto, de gran fiabilidad.

La derrota propuesta ha permitido subrayar ciertas consideraciones como las siguientes:

- La indagación y conocimiento de las condiciones reinantes en la mar, antes de iniciar el viaje, permiten variar las coordenadas del primer punto de recalada y el rumbo al mismo sobre el inicialmente previsto en el cálculo ortodrómico. Con ello se obtiene una derrota que expone en menor medida la seguridad del buque a las condiciones de mar y viento.
- En las primeras horas de navegación, o cuando el buque realiza navegación costera, las manifestaciones meteorológicas pueden diferir notablemente de las deducidas para zonas contiguas de mar abierto. Ello depende de la naturaleza geográfica de la costa próxima, acentuándose la citada diferencia si ésta es abrupta, con acantilados escarpados y profundas ensenadas. En estos casos, las condiciones de la mar y el viento pueden experimentar grandes cambios entre zonas muy próximas, y la seguridad de la navegación descansa más en el conocimiento que posea el piloto acerca de las características de la zona. Se deberá tener presente la existencia de corrientes frías, pues favorecen la formación de nieblas costeras.

- Cuando el barco alcanza mar abierto se plantea el problema del rumbo a seguir. Existen derrotas estacionales normales perfectamente conocidas, e incluso otras recomendadas para buques pequeños o con poca carga, sin embargo obedecen a planteamientos de circulación atmosférica general, y no contemplan, por tanto, las condiciones particulares que puedan desarrollarse en cada momento. El análisis de los mapas y la previsión del tiempo deben aconsejar si se sigue un rumbo dado o es preferible dar un rodeo que permita evadir determinadas áreas de mal tiempo o condiciones de viento o mar inadecuados para las características del buque.
- Las derrotas meteorológicas pueden tener distintas funciones según sea el objetivo perseguido. Así, hay derrotas que minimizan el tiempo empleado en la travesía, son interesantes para los buques que tienen línea regular con varias escalas en puerto. En otros casos, la derrota es preparada para evitar los posibles daños potenciales. En tercer lugar podríamos tener derrotas para reducir el consumo de combustible.
- La optimización de la derrota desde un punto de vista de la seguridad o de la eficiencia de la navegación, proporciona resultados inmediatamente perceptibles a bordo, por ejemplo una reducción en el consumo del buque, el desarrollo de una velocidad superior o también una mayor estabilidad del buque. A corto y medio plazo serán perceptibles una mejor conservación del casco del buque por la disminución de vibraciones y esfuerzos flectores sobre el mismo.
- La posibilidad de recibir la información meteorológica en cualquier situación en la que se halle el buque y en cualquier momento que las pueda necesitar; en forma de cartas en superficie con las correspondientes previsiones a 24 ó 48 horas, supone una mejora importante del nivel de seguridad del buque, ya que permite a su capitán el poder prever con suficiente antelación los fenómenos meteorológicos que puedan presentarse por la proa y tomar con antelación una decisión basada en la menor exposición posible del buque a peligros innecesarios.
- Dicha información debería llegar al buque, una vez no hubiera cobertura radio, a través de satélites de comunicaciones o a través de los propios satélites meteorológicos. El problema técnico no es una cuestión planteada en esta tesis, sin embargo insistimos en la necesidad de que los foros internacionales como la IMO, empiecen a tener en consideración la

aceptación legal de constelaciones de satélites de comunicaciones que no sean el INMARSAT. Los problemas existentes de demora en la transmisión de la información por parte de los satélites LEO como el ORBCOMM, no supondría una objeción mayor, pero la transmisión lo más cercana posible al tiempo real, sería deseable.

Se considera útil la posibilidad por parte de los satélites meteorológicos de una capacidad de transmisión que permita a la propia plataforma, el comunicar la información que capta al buque. El problema subsiguiente provendría de la capacidad de sus oficiales para poder interpretar las imágenes proporcionadas en los diferentes canales de radiación en los que los satélites meteorológicos de sensores pasivos, captan la información.

El trazado de una derrota optimizada, teniendo en cuenta los parámetros del buque y las variables meteorológicas reinantes, en una estación de planificación como la propuesta, proporcionaría un adecuado conocimiento de los esfuerzos que está sufriendo el buque, que presentado al oficial de guardia, en tiempo real, favorecería la toma de decisiones.

Finalmente cabe decir que partiendo de estas conclusiones, se puede desarrollar una Estación de Planificación de la derrota, basada en la información de tipo meteorológico y oceanográfica con plenas garantías de seguridad para preparar derrotas capaces de ser optimizadas según los parámetros que nos interese optimizar y que se adapten a las características y necesidades de nuestro buque y la segura entrega de su carga.

GLOSARIO

| | |
|----------|---|
| ACSYS | Artic Climate System Study |
| AIS | Automatic Identification System |
| ALACE | Autonomous Lagrangian Circulation Explorer |
| ASAP | Automated Shipboard Aerological Programme |
| APT | Automatic Picture Transmission |
| ATOMOS | Advanced Technology to Optimise Maritime Operational Safety |
| ATSR | Along-Track Scanning Radiometer |
| AVHRR | Advanced Very High Resolution Radiometer |
| BOE | Boletín Oficial del Estado |
| CENCIMAR | CEntro Nacional de CIencias del MAR |
| CES | Coast Earth Station |
| CLIVAR | CLimate VARIability and Predictability Experiment |
| CMM | Commission on Marine Meteorology |
| CSIC | Consejo Superior de Investigaciones Científicas |
| DG TREN | Directorate General for TRansport and Energy |
| DISC | Demonstration of Integrated Ship Control systems |
| ECDIS | Electronic Chart Display Integrating System |
| EGC | Enhanced Group Calls |
| ECMWF | European Centre for Medium Weather Forecast |
| ENC | Electronic Nautical Chart |
| ENSO | El Niño / Southern Oscillation |
| GCC | Global Collection Centres |
| GCOS | Global Climate Observing System |
| GEWEX | Global Energy and Water Experiment Cycle |
| GIS | Geographic Information System |
| GOES | Ground Observing Earth Satellites |

| | |
|----------|---|
| GPS | Global Positioning System |
| GTOS | Global Terrestrial Observing System |
| GTS | Global Telecommunication System |
| GVAR | GOES Variable |
| HRPT | High Resolution Picture Transmission |
| HSC | Higher Space Communication |
| ICS | International Chamber of Shipping |
| ICSU | International Council of Scientific Unions |
| IDBE | Impresión Directa de Banda Estrecha |
| IGOSS | Integrated Global Ocean Services System |
| INMARSAT | INternational MARitime SATellite |
| IMO | International Maritime Organisation |
| IOC | International Oceanographic Commission |
| IOS | Initial Observing System |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| JCOMM | Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology |
| JMA | Japan Meteorology Agency |
| JSC | Joint Scientific Committee |
| LIDAR | LIght Detection And Ranging |
| LSD | Llamada Selectiva Digital |
| MASIS | Human element in Man/Machine interface And interaction to improve Safety and effectiveness transport for the European fleet |
| MCSS | Marine Climatological Summaries Scheme |
| MDCP | Marine Data Collection Platform |
| MSI | Maritime Safety Information |
| MSL | Mean Sea Level |
| NAVTEX | NAVigational TEXt |
| NASDA | Nippon Agency for Space Development |
| NEC | Nippon Electric Company |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| NWP | Numerical Weather Prediction |
| OCEANOBS | OCEAN OBServation conference'99 |
| OCYT | Oficina de Ciencia Y Tecnología |
| OMM | Organización Meteorológica Mundial |

| | |
|---------|--|
| OOPC | Ocean Observations Panel for Climate |
| OOSDP | Ocean Observations Development Panel |
| PMO | Port Meteorological Officer |
| PSU | Practical Salinity Unit |
| SAR | Systhetic Aperture Radar |
| SENC | System Electronic Navigational Chart |
| SMSSM | Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima |
| SOLAS | Safety of Life at Sea |
| SOOP | Ship Of Opportunity Program |
| SSS | Sea Surface Salinity |
| SST | Sea Surface Temperature |
| STCW | Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers |
| STR | Scanning Television Radiometre |
| TAO | Tropical Atmosphere Ocean |
| TOGA | Tropical Ocean and Global Atmosphere Programme |
| UNEP | United Nations Environmental Programme |
| UNESCO | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization |
| UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change |
| UTC | Universal Time Coordinated |
| VISSR | Visible and Infrared Spinning Search Radiometre |
| VOS | Voluntary Observing Ship |
| VSOP-NA | Voluntary Observing Ships Special Observing Project - North Atlantic |
| WCRP | World Climate Research Program |
| WEFAX | Weather Fax Transmission |
| WMO | World Meteorological Organization |
| WOCE | World Ocean Circulation Experiment |
| XBT | eXpendable BathyTermograph probe |

BIBLIOGRAFÍA

Libros

ALARCÓN, M.; CASAS, M.C. *Meteorología i clima*. Barcelona, Edicions UPC, 1999.

ALDRIDGE, A.J. et altri. *A user-centred evaluation for integrated bridge systems*. Safety at sea international, nº.337.1997.

ALMOND, John; WENTZELL, Hubertus F; CEEN, Richard; KING Tom. *Examining Planned Product Roll-out in Terms of Cost, Performance and Reliability, Future Proofing and Standardisation*. Kelvin Hughes, STN Atlas, C-Tech and Sperry Marine Ltd. Conferencia London, enero 1996

ASSOCIACIÓ CATALANA de METEOROLOGIA. 4º Jornadas de Meteorologia Eduard Fontseré. Barcelona 1998.

BOE 19-02-1986 nº 43 (Tomo I, pág. 1302-1303) – Marginal 509: Material náutico y ayudas electrónicas a la navegación de que deben ir provistos los buques y embarcaciones mercantes nacionales

BURROUGHS, J; LYNCH, N. *Maritime Weather and Climate*. Witherby & Co.Ltd. London, United Kingdom. 1999.

CARBAJOSA, J.; LARRAURI, F. *¿Estamos preparados para la nueva generación de buques?*. Revista del Instituto de Navegación de España. Tercer Cuatrimestre, No.7. 1999.

CASTAÑEDA P., CUESTA M., HERNÁNDEZ P. – *Espejo de Navegantes de Alonso de Chaves*. Ed. Deimos, Madrid, 1977.

CHEREGUINI de TAPIA B.– *Refranes de la mar al compás de los vientos*. Ed. Noray-Tabapress, Barcelona 1988.

Código STCW 1994, BOE 20-5-1997 en que aparecen las enmiendas de 1995 al Anexo del convenio de 1978.

CONESA, G. *Anàlisi meteorològica a la mar*. Barcelona, Edicions UPC, 1993.

CORBERA, J; MARTÍNEZ de OSÉS; X, Lozano, J.L; Giráldez, C. *Problemática y necesidades de la Cartografía Náutica Navegable*. Proceedings 4a Semana Geomática, Barcelona, España. Abril 2000.

CORBERA, J; MARTÍNEZ de OSÉS; X, Lozano, J.L; Giráldez, C. *Design and assessment of a control system for high speed craft: I.M.B.B.O.S. Concept: Interactive maritime Black box*. Poster 2nd International Congress on Maritime Technology, Cádiz, España. Noviembre 2000.

COSTA, J. *Determinación de criterios y metodología para la validación integral del puente de gobierno*. Tesis Doctoral dirigida por el Dr. E. González Pino en el DCEN. Junio 2000.

CUADRAT, J.M^a.; FERNÁNDEZ PITA, M. *Climatología*. Madrid, Cátedra, 1997.

DRAPER, L. “Freak ocean waves”. Revista *Weather* nº 21, p. 2-4, 1996.

DVORAK, V.F. “Tropical Cyclone analysis and forecasting from satellite imagery”. Revista *Mariners Weather Log*, nº19 p. 199-206, 1975.

ESA SP-383: *Second ERS Applications Workshop* (Diciembre 1995)

ESA SP-1176/I: *Scientific Achievements of ERS-1*

EURET PROGRAMME. ATOMOS Task 2.3/1.7. *Future IMO Requirements to Look Out Functions*. Final Report. Author of Task: DMA, Danish Maritime Administration, Denmark, April 1994.

EURET PROGRAMME. ATOMOS Task 2.3/1.7. *Future IMO Requirements to Look Out Functions*. Supplementary Final Report. Author of Task: DMA, Danish Maritime Administration, Denmark, August 1994.

EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE – GENERAL TRANSPORT. TRANSPORT RESEARCH, APAS, MARITIME TRANSPORT. *Technology and Human Aspects of Maritime Efficiency and safety (THAMES)*.

FERNÁNDEZ de CAÑETE J.M^a.– *Venturas y desventuras de la navegación meteorológica*. Ponencia presentada en la 4^o Jornada de Meteorología, Eduard Fontseré. Barcelona 1998.

FROESE, Jens y HLL, Trevor. *Defining the watch One Notation and Determining How to comply with it. A Panel Discussion*. ISSUS y BP Shipping. Conferencia, London, enero 1996

GODTS; Albert. *Identifying the Shortcomings of the On-board GMDSS Equipment and How Integration can Relieve Them*. Sait Marine. Conferencia, London, enero 1996

HALL, Trevor. *Selecting and Implementing te Optimum Integrated Bridge System. Re-assessing the Opportunities and Current Developments in Bridge Technology. The Ship Owner's view*. BP Shipping, Conferencia, London, Enero 1996

JANSÀ, J.M^a. *Tratado de meteorología teórica*. Madrid, Instituto Nacional Meteorología.

KOREVAAR, C.G. *North Sea Climatology*. Rotterdam, Kluwer Academic Press, 1990.

KOTSCH, W.J. *Weather for mariners* (3^a edición). Washington, US Naval Institute, 1983.

LLOYD, A.R.J.M. *Seakeeping. Ship behaviour in rough weather*. Ellis Horwood Ltd. Chichester. England, 1989.

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. *Navigational Arrangements for Periodic One Man Watch. Rules and Regulation for the Classification of Ships*. Part 7, Chapter 9

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. *New Rules for Periodic One Man Watch: Bringing LR's Rules for one man navigation up to date.* London, 1995

LOZANO, J.L; CORBERA, J; MARTÍNEZ de OSÉS, X. *Design of a remote monitoring system for High Speed Craft.* The Journal of Navigation, Cambridge University Press, London, 2000

MARTIN S. BARON (National Weather Service) – Mariner's Weather Log, Agosto 2000. Voluntary Observing Ship Program: Observations From Moving Ships Are Very Important

MARTÍN VIDE, J. *Mapas del tiempo: fundamentos, interpretación e imágenes de satélite.* Barcelona, Oikos-tau S.A, 1991.

MARTÍNEZ de OSÉS, X. *Meteorología aplicada a la navegación.* Edicions UPC. Barcelona, España. Marzo 2003

MARTÍNEZ de OSÉS, X. *The merchant ship as a platform for marine meteorological data processing and profiting.* Ponencia presentada en el 3rd. International Congress of Maritime Technology, Bilbao, España. Noviembre 2002.

MARTÍNEZ de OSÉS, F.X; CORBERA J. *Meteorological and Oceanographical information system onboard: the ship control centre as an integrated platform for data acquisition.* Ponencia presentada y publicada en el 1st International Congress on Maritime Transport. Barcelona, España. Noviembre 2001

MARTÍNEZ de OSÉS, X; CORBERA, J. *Sistema de integración de información para la optimización de la navegación en las Cartas electrónicas.* Proceedings 4a Semana geomática, Sitges, España. Abril 2000

MCILVEEN, R. *Fundamentals o weather and climate.* Londres, Chapman & Hall Ed.,1997.

MSC/Circ 674 del 21 de diciembre de 1994 (OMI – T2/8.03)

National Weather Prediction Centre. *Mariner's Weather Log.* Revista del NWP, varios números

NAYA, A. *Meteorologia Superior*. Barcelona, Espasa-Calpe, 1984.

NICKERSON, J.W. *Freak waves*. *Revista Mariners Weather Log*. 37. No.4, 14-19, 1993.

PEDGELY, D.E. "The Fastnet Storm of 1979: A mesoscale surface jet". *Revista Weather* n° 52, p.: 230-242, 1997.

PORTEOUS, Murray, KIRAKOWSKI, Jurek; CORBETT, Mary. *Software Usability Measurement Inventory (SUMI)*. Human Factors Research Group, University College Cork, Ireland, 1993

PSARAFTIS, H.N.; BABILIS, L; SKALEOS, D and STAMATELLOS, T. *Defining of Ship Competitiveness Criteria*. ATOMOS Deliverable 2301.1, November 1992

PSARAFTIS, H.N, ANDRONIKDIS, C; Babilis, L; Bartzis, P; Boulmetis, V; Chiotopoulos, Y; Skaleos, D and Stamatellos, T. *Identification of Possibilities of reducing Manpower*. ATOMOS Deliverable 2301.2, May 1993.

PSARAFTIS, H.N, Adalis, V; Andronikis, C; Bartzis, P; Dilzas, C and Vranas, P. *Collection of Costs and Benefits*. ATOMOS Deliverable 2319.1, April 1994

PSARAFTIS, H.N, Adalis, V; Andronikis, C; Bartzis, P; Dilzas, C and Vranas, P. *Cost-benefit Analysis and Recommendations: Final report*. ATOMOS Deliverable 2319.2a, August 1994

PSARAFTIS, H.N. *Impact of Ship Automation Technologies on merchant Fleet Competitiveness*. XIV Pan-American Congress of Naval Engineering, Maritime Transportation and Port Engineering (XIV COPINAVAL), Lima, Peru. June 1995

PSARAFTIS, H.N. *Ship Automation as a Factor of Merchant Fleet Competitiveness*. NTUA working Paper. February 1996

PSARAFTIS, H.N. *Reduced Manning to Increase Fleet Competitiveness*. Proceedings, 9th International Maritime Lecturers Association Conference, Kobe, Japan. September 1996

PUENTE, J.M. de la. *Arquitectura y realidad virtual: teoría, Técnica y debate*. Barcelona 1996

Resolución A.528 (13) aprobada el 17 Noviembre 1983: Recomendación sobre navegación meteorológica

Resolución A.705 (17) aprobada el 6 de noviembre de 1991: Difusión de información sobre seguridad marítima

Resolución A.706 (17) aprobada el 6 de noviembre de 1991: Servicio mundial de radioavisos náuticos

Resolución A.617 (15) aprobada el 19 de noviembre de 1987: Implantación del sistema Navtex como componente del servicio mundial de radioavisos náuticos

ROEDSETH, Oernulf Jan. *Ensuring Compatibility with Existing Equipment and Planning for Add-ons*. Norcontrol Seacraft A.S./ Sintef. Conferencia, London. Enero 1996

RODRÍGUEZ-MARTOS DAUER, R. *El buque mercante. Un análisis sociológico*. Edicions UPC. Barcelona. 1996.

SÁNCHEZ REUS, G.; ZABALETA VIDALES, C. *Curso de meteorología y oceanografía* (5ª edición). Madrid, Subsecretaría de Pesca y Marina Mercante, 1978.

SAUCIER, W.J. *Principles of Meteorological Analysis*. Londres, Dover Ed., 1987.

SOLAS Consolidado 1999 y Normas Complementarias SOLAS

STOCKDALE, T.N.; ANDERSON, D.L.T; ALVES, J.O.S.; BALMASEDA, M.A. "Global seasonal rainfall forecasts using a coupled ocean atmosphere model". Revista *Nature* nº 392, p.: 370-373, 1998.

The Ocean Observing System Development Panel, 1995 - The Scientific Design for the Common Module of the Global Ocean Observing System and the Global Climate Observing System: An Ocean Observing System for Climate.

The Society of International gas Tanker and Terminal Operators Ltd. (SIGGTO). *Human Error: Error reduction Strategies*. London. December 1990

The Society of International gas Tanker and Terminal Operators Ltd. (SIGGTO). *Human Error: Error reduction Strategies*. London. December 1990

The WMO Voluntary Observing Ship Programme: An enduring partnership de la WMO y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO

UK Meteorological Office. *The Mariner's Observer's Handbook* (11^a edición). Londres, HMSO, 1995.

WENTZELL, Hubertus F. *Design Philosophy and Criteria for Integrated Bridges*. STN Atlas Elektronik. Conferencia. London. Enero 1996

WHITNEY, Frederik L. *Elementos de Investigación*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1958. traducción de José Savé

WMO 5th Long - Term Plan 2000 - 2009 (WMO n° 908)

WMO-471 *Guide to the Marine Meteorological Services*. Anex 5-E: Guidelines for organizing port meteorological officer (PMO) activities

WMO/TD-No. 1009 "The Voluntary Observing Ships Scheme: A Framework Document"

YOUNG, I.R.; HOLLAND, G.J. *Atlas of the Oceans: Wind and Wave Climate*. Pergamon, 1996.

Publicaciones realizadas en el Campo

CORBERA, J; MARTÍNEZ de OSÉS; X, Lozano, J.L; Giráldez, C. *Problemática y necesidades de la Cartografía Náutica Navegable*. Proceedings 4a Semana Geomática, Barcelona, España. Abril 2000.

CORBERA, J; MARTÍNEZ de OSÉS; X, Lozano, J.L; Giráldez, C. *Design and assessment of a control system for high speed craft: I.M.B.B.O.S. Concept: Interactive maritime Black box*. Poster 2nd International Congress on Maritime Technology, Cádiz, España. Noviembre 2000.

MARTÍNEZ de OSÉS, X. *Meteorología aplicada a la navegación*. Edicions UPC. Barcelona, España. Marzo 2003

MARTÍNEZ de OSÉS, X. *The merchant ship as a platform for marine meteorological data processing and profitting*. Ponencia presentada en el 3rd. International Congress of Maritime Technology, Bilbao, España. Noviembre 2002.

MARTÍNEZ de OSÉS, X; CORBERA J. *Meteorological and Oceanographical information system onboard: the ship control centre as an integrated platform for data acquisition*. Ponencia presentada y publicada en el 1st International Congress on Maritime Transport. Barcelona, España. Noviembre 2001

MARTÍNEZ de OSÉS, X; CORBERA, J. *Sistema de integración de información para la optimización de la navegación en las Cartas electrónicas*. Proceedings 4a Semana geomática, Sitges, España. Abril 2000

MARTÍNEZ de OSÉS, X. *Apuntes de meteorología náutica*. Bústia del Profesor - UPC. Barcelona, España. Diciembre 1998

Información de Páginas consultadas en Internet

Apuntes de Radiocomunicaciones Marítimas, R. González Blanco, Biblioteca Facultat de Nàutica de Barcelona. 2000.

Apuntes de meteorología Q-5,X. Martínez de osés, Biblioteca Facultat de Nàutica de Barcelona. 1998.

Bases de datos de buques y centros del Reino Unido (www.marine.gov.uk/ships.htm)

Centro de Información de las Naciones Unidas para México, Cuba y República Dominicana – El tiempo, los Océanos y la Actividad humana – 1998
(<http://serpiente.dgsca.unam.mx/cinu/comun/comu123.htm>)

Development of the Ocean Climate Observing Requirements for the GOOS and GCOS
(http://www.gosic.org/ios/GOOS_pdv.htm)

Directiva 94/58/CE del Consejo de 22 de noviembre de 1994 y Directiva 98/35/CE del Consejo de 25 de mayo de 1998, relativas al nivel mínimo de formación en profesiones marítimas (<http://www.europa.eu.int>)

Electronic Navigational Charts (http://www.caris.com/S-57/electronic_charts.html)

Environmental Monitoring Division – Voluntary Observing Ships Program
(http://www.atl.ec.gc.ca/msc/em/marine_ships.html)

Global Climate Observing System (<http://www.wmo.ch/web/gcos/cop3/cop3.html>)

GMDSS Concepts (<http://www.gmdss.com.au/concepts.htm>)

Información proporcionada por Mikhail Krasnoperov, Scientific Officer de la División de Asuntos Oceánicos de la Organización Meteorológica Mundial
The Voluntary Observing Ships Special Observing Programme – North Atlantic
(<http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/MET/vsop.pnps>)

Instituto de Ciencias del Mar (<http://www.icm.csic.es/index2.html>)

Instituto Español de Oceanografía (<http://www.ieo.es>)

Introducción al uso de la Teledetección en Oceanografía
(<http://www.seriestemporales.net>)

Los buques de investigación
(http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/067/htm/sec_13.htm)

Masso C, IEO - Primeras imágenes de la botadura del nuevo buque del Instituto Oceanográfico Español. BorNet: Revista de Divulgación Científica
(<http://www.bornet.es/news/OCEANOGRAFIA/270300150242.shtml>)

Meteorological Applications of GPS Integrated Column Water Vapor Measurements in the Western Mediterranean (http://www.acri.fr/magic/magic_home.html)

Métodos de Investigación Oceanográfica
(www.unam.mx/ciencias_mar_posgrado/metodos.htm)

Needler G, Smith N. y Villwock A.– The Action Plan for GOOS/GCOS and Sustained Observations for CLIVAR (<http://oceanobs99.cls.fr>)

Ocean Observations Panel for Climate (<http://www.wmo.ch/web/gcos/oopc.htm>)

Oceanographic instrumentation
(<http://gaea.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc/notes/lecture13.html>)

Organismos I+D españoles (www.mcyt.es/Enlaces/centros_investiga.htm)

Research Ships Schedules & Information (www.cms.udel.edu/ships)

Research Topics: Airflow distorsion studies - Merchant ships
(http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/MET/ciu_merchant.pnps)

Ship Opportunity Programme (www.ifremer.fr/ird/soopip/)

Ship's Routes (1999) (<ftp://www.wmo.ch/wmo-ddbs/Pub47.routes.990331.data>)

Smith N. y Koblinsky C.- Conclusiones de la Conferencia OCEANOBS'99 celebrada en Octubre de 1999 en Saint Raphael, Francia (<http://oceanobs99.cls.fr>)

Taylor, P y Kent, E - The accuracy of meteorological observations from voluntary observing ships –present status and future requirements
(<http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/MET/PDF/AthensVOS.pdf>)

The Automated Shipboard Aerological Programme
(<http://www.ogp.noaa.gov/misc/Development/asap.html>)

The Joint WMO-IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM): the establishment (<http://ioc.unesco.org/goos/jcomm.htm>)

The remarkable Ocean World: Weather Buoys
(http://www.oceansonline.com/weather_buoys.htm)

The WMO Voluntary Observing Ships (<http://www.gos.udel.edu/ios/VOS.htm>)

Unidad de Tecnología Marítima ([http:// www.utm.csic.es](http://www.utm.csic.es))

VOS Data Flow (http://www.gos.udel.edu/goos/VOS_dflow.htm)

WMO-471 Guide to the Marine Meteorological Services. Chapter 6: The WMO Voluntary Observing Ships' scheme (<http://www.wmo.ch/web/aom/marprog/WordPDFs/GuideChp6.html>)

WNI Oceanroutes (UK) Ltd: Ship routing (<http://www.wni.co.uk/sectors/shipping.htm>)

World Meteorological Organization: A United Nations Specialized Agency
(<http://www.wmo.ch>)

a) Organismos oficiales Portales de meteorología:

- Instituto nacional de meteorología <http://www.inm.es>
- Servei de meteorologia de Catalunya <http://www.gencat.es/servmet/>
- Ministerio de protección civil <http://www.proteccioncivil.com>
- Infomet <http://www.infomet.fcr.es/>
- MeteoWeb <http://www.meteoweb.es.org>
- MeteoClub <http://usuarios.tripod.es/meteoclub/index.htm>
- MeteoRed <http://www.meteored.com>

b) Internacional. Servicios meteorológicos nacionales: Organizaciones y Portales meteorológicos:

- Argentina. Servicio Meteorológico Nacional <http://www.meteofa.mil.ar/>
- Australia. Bureau of Meteorology, Melbourne, Victoria <http://www.bom.gov.au/>
- Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) <http://www.inmet.gov.br/>
- Canadá. Environment Canada, Downsview, Ontario <http://www.msc.ec.gc.ca>
- China. Hong Kong Observatory <http://www.hko.gov.hk/contente.htm>
- Colombia. Institute of Hydrology, Meteorology and Environment Studies <http://www.ideam.gov.co/>
- Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional <http://www.imn.ac.cr/>
- Estados Unidos. National Weather Service, Silver Spring, Maryland <http://www.nws.noaa.gov/>
- Francia. Météo-France, Toulouse http://www.meteo.fr/e_index.html
- Grecia. Nacional observatory of Athens <http://www.noa.gr/~telefleu/bolam/index.htm>
- Holanda. Royal Netherlands Meteorological Institute, DeBilt <http://www.knmi.nl/>
- Islandia. The Icelandic Meteorological Office <http://www.vedur.is/>
- Italia. Centro Nazionale di meteorología e climatología aeronautica <http://www.meteo.difesa.it/>
- México. Servicio Meteorológico Nacional <http://smn.cna.gob.mx/SMN.html>
- Nueva Zelanda. Meteorological Service of New Zealand, Ltd. Wellington <http://www.met.co.nz/>
- Noruega. Norwegian Meteorological Institute <http://www.dnmi.no/>
- Paraguay. Meteorología e Hidrología del Paraguay

<http://www.highway.com.py/dinac/tiempo.html>

- Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología <http://www.senamhi.gob.pe/>
- Portugal. Instituto de Meteorologia <http://www.meteo.pt/>
- Singapur. Meteorological Service Singapore, Singapore <http://www.gov.sg/metsin/>
- Sudáfrica. Weather Bureau, Pretoria <http://cirrus.sawb.gov.za/>
- Tailandia. Meteorological Department of Thailand <http://www.thaimet.tmd.go.th/>
- Reino Unido. The Meteorological Office, Bracknell <http://www.meto.govt.uk/>
- República de Corea. Korea Meteorological Administration <http://www.kma.go.kr/>
- Uruguay. Servicio Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada <http://www.ei.edu.uy/sohma/>
- Venezuela. Dirección de Hidrología y Meteorología <http://marnr.gov.ve/dhym.htm>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) <http://www.wmo.ch>
- Sociedad Meteorológica Europea (EMS) <http://www.emetsoc.org>
- Organización Europea de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) <http://www.eumetsat.de>
- Centro Europeo de Predicción a Medio plazo (ECMWF) <http://www.ecmwf.int>
- ECOMET <http://www.meteo.oma.be/ECOMET>
- Accuweather <http://www.accuweather.com>
- UM Weather <http://cirrus.sprl.umich.edu/wxnet/>

ANEXOS

Estándares y recomendaciones IMO²⁰⁶

| IMO | |
|---------------------|---|
| SOLAS 74/78 | <i>Consolidated Text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its protocol of 1978 incorporating all amendments up to and including the 1990 amendments. Chapter IV Radiotelegraphy and Radiotelephony.</i> |
| | <i>IMO International Convention for Safety of Life at Sea, texts of Amendments Relating to Ro-Ro Ferries Adopted on 21st April and 28th October 1998 and Other Amendments Adopted o 11th May 1989.</i> |
| | <i>IMO 1988 Amendments to the 1974 SOLAS Convention concerning Radiocomunications for the GMDSS.</i> |
| IMO MSC Circ 566 | <i>IMO MSC/Circ. 566, 2nd July 1991. Provisional Guidelines on the Conduct of Trials in which the Officer of the Navigational Watch Acts at the Sole Look-out in Periods of Darkness.</i> |
| IMO Res. A708 | <i>IMO Resolution A708. Navigation Bridge Visibility and Functions.</i> |
| IMO Res. A694 (17) | <i>IMO Resolution A694 (17), 6th November 1991. General Requirements for Shipborne Radio Equipment Forming Part of the GMDSS and Electronic Navigational Aids.</i> |
| IMO Res. A468 (XII) | <i>IMO Resolution A468 (XII). Code on Noise Levels on Board Ships.</i> |
| IMO Res. A343 (IX) | <i>IMO Resolution A343 (IX) Recommendation on Methods of Measuring Noise Levels at Listening Posts.</i> |
| IMO Res. A382 (X) | <i>IMO Resolution A382 (X). Performance Standards for Magnetic Compasses.</i> |
| IMO Res. A424 (XI) | <i>IMO Resolution A424 (XI). Performance Standards for Gyro Compasses.</i> |
| IMO Res. A477 (XII) | <i>IMO Resolution A477 (XII). Performance Standards for Navigational Radar Equipment.</i> |
| IMO Res. A422 (XI) | <i>IMO Resolution A422 (XI). Performance Standards for Automatic Radar Plotting Aids.</i> |
| IMO Res. A224 (VII) | <i>IMO Resolution A224 (VII). Performance Standards for Echo Sounding Equipment.</i> |
| IMO Res. A478 (XII) | <i>IMO Resolution A478(XII). Performance Standards for Devices to Indicate Speed/Distance.</i> |

²⁰⁶ Se ha pretendido respetar la versión original en inglés, a efectos de estandarización lingüística.

| | |
|--------------------|--|
| IMO Res. A342 (IX) | IMO Resolution A342 (IX). <i>Performance Standards for Automatic Pilots.</i> |
| IMO Res. A562 (13) | IMO Resolution A562 (13). <i>Performance Standards for Rate of Turn Indicators.</i> |
| | IMO Draft <i>Performance Standards for ECDIS.</i> |
| COLREG | International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 as amended. |
| | IMO. 37 th session of the Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV37), 33- 27 th September 1991. <i>Officer of the navigational watch acts as the sole look –out in periods of darkness..</i> |
| | IMO. MSC/Circ. 566. 2 nd July 1991. <i>Provisional guidelines on the conduct of trials in which the officer of the navigational watch acts as the sole look –out in periods of darkness.</i> |
| | 38 th session of the Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV38). |
| | 39 th session of the Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV39). |
| | 23 rd session of STW (STW23), 24-28 February 1992. |
| | 24 th session of STW (STW24). |
| | 25 th session of STW (STW25). |
| | 60 th session of the Maritime Safety Committee (MSC60), 6-10 April 1992. |
| | NAV 37/8 (France). |
| | NAV 37/8/1 (United States). |
| | MSC 59/11/6 (ICFTU). |
| | NAV 38/8 (Germany). Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV38), Item 8, 3 rd April 1992. <i>Officer of the navigational watch acting as the sole look-out in periods of darkness.</i> Report on trials conducted in accordance with the provisions of MSC/Circ. 566. |
| | NAV 39/7 (Germany). Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV39), Item 7, 10 th June 1993. <i>Officer of the navigational watch acting as the sole look-out in periods of darkness.</i> Report on trials conducted in accordance with the provisions of MSC/Circ. 566. |
| | NAV 39/7/2 (Norway). Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV39), Item 7, 21 st June 1993. <i>Officer of the navigational watch acting as the sole look-out in periods of darkness.</i> Report on the results of trials (MSC/Circ. 566). |
| | NAV 39/20 (Netherlands). Sub-Committee on Safety of Navigation (NAV39), Item 20, 16 th July 1993. <i>Role of the human element in maritime casualties. Information on research on human factors in bridge operations.</i> |
| IMO Res. A694 (17) | IMO Res. A694 (17) <i>General Requirements for Shipborne Radio Equipment Forming Part of the Global Maritime Distress and Safety system (GMDSS) and for Electronic Aids.</i> |

Normas ISO

Las Normas ISO, *International Organisation for Standardisation*, que se presentan tienen aplicación tanto en el puente de gobierno como en la estación de planificación.

| ISO | |
|------------------|---|
| ISO 8468 | <i>ISO 8468 Second Edition 1990-11-01 Ship's Bridge Layout and Associated Equipment-Requirements and Guidelines.</i> |
| ISO 2269 | <i>ISO 2269. Magnetic Compass.</i> |
| ISO 2412:1982 | <i>ISO 2412:1982. Shipbuilding – Colours of Indicator Lights.</i> |
| ISO 3254:1989 | <i>ISO 3254:1989. Shipbuilding and Marine Structures-Toughened Safety Glass Panes for Rectangular Windows.</i> |
| ISO 3434:1975 | <i>ISO 3434:1975. Shipbuilding-Heated by Hot Air of Glass Panes.</i> |
| ISO 3904:1990 | <i>ISO 3904:1990. Shipbuilding and Marine Structures-Clear View Screens.</i> |
| ISO 8863:1987 | <i>ISO 8863:1987. Ships' Wheelhouse Windows-Heating by Air of Glass Panes.</i> |
| ISO 8728 | <i>ISO 8728. Gyro Compass.</i> |
| ISO 9000-3:1991 | <i>ISO 9000-3:1991. Quality Management and Quality Assurance Standards-Part 3: Guidelines for the Application of ISO 9001 to the Development, Supply and Maintenance of Software.</i> |
| ISO 9001:1987 | <i>ISO 9001:1987. Quality Systems-Model for Quality Assurance in Design/Development, Production, Installation and Servicing.</i> |
| ISO 9875 | <i>ISO 9875. Echo Sounder.</i> |
| ISO 6385:1981 | <i>ISO 6385:1981. Ergonomic principles in the design of work systems.</i> |
| ISO 9241 | <i>ISO 9241, Part 1-7.</i> |
| ISO 8995:1989 | <i>ISO 8995:1989. Principles of visual ergonomics. The lighting of indoor working systems.</i> |
| ISO 2631-1 | <i>ISO 2631-1. Evaluation of human exposure to whole body vibrations.</i> |
| ISO 5349:1986 | <i>ISO 5349:1986. Mechanical vibration: guidelines for measurement and the assessment of human exposures to hand transmitted vibration.</i> |
| ISO 1996-1:1982 | <i>ISO 1996-1:1982. Acoustics: Description and measurement of environment noise.</i> |
| ISO 7779:1988 | <i>ISO 7779:1988. Acoustics: Measurement of airborne noise emitted by computer and business equipment.</i> |
| BS EN 614-1:1995 | <i>BS EN 614-1:1995. Safety of machinery – Ergonomic design principles.</i> |

Normas IEC

Las normas y reglas de la IEC, *International Electrotechnical Commission*, tienen su aplicación principalmente en la construcción de los equipos ubicados en el puente de gobierno.

| IEC | |
|----------|---|
| IEC 51 | <i>Recommendations for Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories.</i> |
| IEC 447 | <i>Standard Directions of Movement for Actuators which Control the Operation of Electrical Apparatus.</i> |
| IEC 529 | <i>Degrees of Protection Provided by Enclosures.</i> |
| IEC 533 | <i>Electromagnetic Compatibility of Electrical and Electronic Installations in Ships.</i> |
| IEC 872 | <i>Marine Automatic Radar Plotting Aids (ARPA).</i> |
| IEC 936 | <i>Shipborne Radar.</i> |
| IEC 1023 | <i>Marine Speed and Distance Measuring Equipment (SDME).</i> |
| IEC 945 | <i>Marine Navigational Equipment. General Requirements.</i> |
| IEC 1075 | <i>Loran C Receivers for Ships.</i> |
| IEC 1097 | <i>Global Marine Distress and Safety System (GMDSS).</i> |
| IEC 1135 | <i>Decca Navigator System.</i> |

Sociedades de Clasificación

- **International Association of Classification Societies.**

IACS OMBO. International Association of Classification societies IACS Ad Hoc Group OMBO, July 1992, One Man Bridge Operated (OMBO) Ships, 4th draft (final).

- **Det Norske Veritas. DnV.**

Rules for Classification of Ships. Newbuildings. Part 6 Chapter 8. Nautical Safety. July, 1991.

- **Germanischer Lloyd. GL.**

Rules for classification and construction. I – Ship Technology. Part 1 – Seagoing Ships. Chapter 11. Bridge Design on Seagoing Ships, One-man Control Console.

| Lloyd's Register of Shipping | |
|-------------------------------------|---|
| LRS 3.11 | Lloyd's Register of Shipping, January 1991 Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 3 Chapter 11, Closing and Arrangement for Shell, Deck and Bulkheads. |
| LRS 5.15 | Lloyd's Register of Shipping, January 1991 Rules and Regulations for Classification of Ships, Part 5 Chapter 15, Piping Systems for Oil Tankers. |
| LRS 5.19 | Lloyd's Register of Shipping, January 1991 Rules and Regulations for Classification of Ships, Part 5 Chapter 19, Steering Gear. |
| LRS 6.1 | Lloyd's Register of Shipping, January 1993 Rules and Regulations for Classification of Ships, Part 6 Chapter 1, Control Engineering Systems. |
| LRS 6.2-1 | Lloyd's Register of Shipping, January 1993 Rules and Regulations for Classification of Ships, Part 6 Chapter 2-1, Electrical Installations-Equipment and Systems Design. |
| LRS 6.2-2 | Lloyd's Register of Shipping, January 1993 Rules and Regulations for Classification of Ships, Part 6 Chapter 2-2, Electrical Installations-Passengers Ships and Cargo Ships. |
| LRS IFP | Lloyd's Register of Shipping, September 1990 Provisional Rules for Ships with Integrated Fire Protection Systems (IFP). |
| LRS Nav | Lloyd's Register of Shipping, June 1991 Provisional Rules for the Classification of Shipborne Navigational Equipment. |
| | Lloyd's Register of Shipping, July 1986 Rules for Ships for Liquefied Gases Incorporating the IMO International code for the Construction and Equipment of Ships |

| | |
|----------|---|
| | Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code). |
| LRS 4.9 | Lloyd's Register of shipping, January 1991 Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 4 Chapter 9, Ship structures-Oil Tankers. |
| LRS 3.11 | Lloyd's Register of Shipping, January 1991 Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 3 Chapter 11, Closing and Arrangement for Shell, Deck and Bulkheads. |

Estándares aplicables a las estaciones de trabajo del sistema SCC

En cuanto a las estaciones de trabajo del sistema SCC, la norma ISO 8468 contiene las siguientes sub-cláusulas:

- 5.2: Location of instruments and equipment
- 5.3: Configuration and dimensions of consoles
- 6.1: Bridge equipment, general
- 6.2: Instruments
- 6.3: Illumination and individual lighting of instruments
- 6.4: Outer shape of instruments

La norma ISO 11064 proporciona unas normas generales para ser aplicadas al diseño de las estaciones de trabajo en el sistema SCC. Estas normas se estructuran en los siguientes capítulos:

- Parte 4: Workstation layout and dimensions
- Parte 5: Displays and controls
- Parte 7: Principles for the evaluation of control centers
- Parte 8: Ergonomic requirements for specific applications

La norma BS EN 614-1:1995, recomienda unos principios durante el proceso de diseño del equipo de trabajo del sistema SCC:

- Diseño considerando factores antropométricos y biomecánicos
- Diseño considerando la habilidad mental del usuario
- Diseño de pantallas, símbolos y controles
- Interacción del usuario con la ambientación física del lugar de trabajo

- Ergonomía respecto de las tareas a realizar
- Desarrollo de especificaciones de diseño relativas a principios ergonómicos

La norma ISO 9241 contiene diversas partes que debe ser consideradas en el diseño de estaciones de trabajo:²⁰⁷

Parte 1: General introduction

Parte 2: Guidance on tasks requirements

Parte 3: Visual display requirements

Parte 4: Keyboard requirements

Parte 5: Workstation layout and postural requirements

Parte 7: Display requirements with reflections

Parte 8: Requirements for displayed colours

Parte 9: Requirements for non-keyboard input devices

La norma ISO CD 13406, Parte 2 *Flat panel display ergonomic requirements* es también importante.²⁰⁸

²⁰⁷ La sub-comisión SC 4/TC 159 Ergonomics of human-system interaction, desarrolló la parte del estándar ISO 9241 respecto de la ergonomía para pantallas de información. La norma está organizada en partes, cada una trata distintos aspectos relativos al uso de pantallas de información. Los requisitos descritos en esta sección, están pensados para ser utilizados en trabajos de oficina, por lo que la atención se centra en la presentación de caracteres y textos. A pesar de que las estaciones de trabajo del puente de gobierno no se puedan comparar a los centros de trabajo considerados en la norma, es posible aplicar muchas de las consideraciones fijadas en la misma, sobretodo los relativos a la combinación de pantallas gráficas e información.

²⁰⁸ La información visual presentada en pantalla de las cartas de navegación electrónicas, es extensa y diversa; lo que justifica el desarrollo de especificaciones y guías desarrolladas por la IHO (International Hydrographic Organization) a partir de 1988. El grupo de trabajo se denominó *Colours & Symbols Working Group (C & SWG)* es el responsable de la elaboración de borradores respecto a este tema para el sistema ECDIS (IHO SP52, 1994).

Emisiones RTTY y receptores de radio

a) RTTY.

Las señales RTTY son un método de transmisión y recepción de texto mediante el uso de dos tonos distintos. Un tono representa el estado ON o número 1, y el otro el estado OFF o número 0. La velocidad con que se envían estos tonos se mide en baudios²⁰⁹, y las emisiones comerciales usan 50 o 70 baudios, mientras que las de aficionados se realizan a 45 baudios²¹⁰.

Las frecuencias de ambos tonos suelen ser 1275 Hz y 1455 Hz, con un desplazamiento de 170 Hz para aficionados, mientras que las emisiones profesionales utilizan desplazamientos del orden de los 850 Hz. Es obvio que mayor deslizamiento entre tonos supone una mayor protección contra interferencias. Cada carácter transmitido consta de 1 bit de inicio, 5 bits de datos y 1 ó 2 bits de fin de carácter. Como cada carácter va precedido de un bit de inicio, la sincronización entre las estaciones emisora y receptora no es crítica, pues la recepción puede sincronizarse con el bit de inicio de cada carácter, por lo que la sincronía sólo debe mantenerse durante la recepción de 7 ó 8 bits. Una de las transmisiones más importantes que se efectúa por vía de radio teletipo es la información meteorológica, que se recibe codificada en quintetos numéricos. Las frecuencias de emisión usuales son 4002 MHz, 4443 MHz y 4489 MHz.

b) Receptores de radio.

Si el buque dispone de un receptor de radio de onda corta con capacidad de recibir banda lateral única (SSB), un ordenador y un módem decodificador, se podrán recibir datos meteorológicos que permiten ser representados en mapas meteorológicos en formato SYNOP y en formato de tiempo significativo: el ICS SYNOP II.

La aplicación informática está diseñada para recibir mediante RTTY datos meteorológicos, que después de ser procesados son presentados en la pantalla del ordenador. El programa no sólo decodifica datos de las estaciones meteorológicas, sino también los procedentes de aviones en vuelo (*Aircraft reports*), lo que supone disponer de un mapa adicional de información meteorológica. La mayor parte de los informes aéreos procede de aviones en

²⁰⁹ Bits enviados por segundo.

²¹⁰ La diferencia entre ambos tonos se llama deslizamiento o desplazamiento.

rutas trasatlánticas, por lo que esta utilidad es especialmente importante cuando se trabaja sobre rutas del Atlántico Norte.

La representación de los datos recibidos puede efectuarse de dos formas distintas: a partir de datos RTTY previamente captados y almacenados en un fichero, o en tiempo real, esto es, representando los datos a medida que se van recibiendo, lo que es particularmente interesante.

El programa también dispone de una función de tiempo automático (*Time Auto*) que puede ser activada o no. Solo funciona cuando el sistema trabaja en tiempo real, y sirve para recibir datos durante largos periodos de tiempo, actualizando automáticamente la fecha y hora. De esta manera el programa se comporta de un modo especial:

Primero se pone en “modo de dibujo”, y va representando en el mapa las variables que se hayan seleccionado. En los dos minutos finales de cada tres horas, el sistema sale del modo de dibujo y (si está activada la opción **Auto-PCX** del menú PCX) guarda un fichero con el mapa dibujado hasta ese momento. La fecha y hora se actualizan, adelantándose tres horas, y entra de nuevo en el modo de dibujo, continuando el proceso por tiempo indefinido, hasta que se presiona la tecla ESCAPE. Esto permite establecer un servicio de vigilancia a tiempo real, y obtener un buen número de mapas meteorológicos sin necesidad de atender permanentemente el equipo.

Si el ejemplo que pretendemos presentar en esta tesis, es el de un hipotético viaje trasatlántico, nos centraremos en las regiones de Europa y el Atlántico Norte, para el que las principales estaciones meteorológicas son Bracknell (U.K), Offenbach (Alemania) y Roma (Fiumicino).

El módem decodificador, denominado DSD-3, es al mismo tiempo “llave” del programa, de manera que este no puede trabajar si no reconoce al citado módem conectado a una de las puertas serie (COM) del ordenador. La transmisión puede ser decodificada mediante cualquier otro modulador conectado a una puerta serie (por ejemplo un PK-232), pero el software sólo funcionará correctamente si además está conectado el DSD-3 en la otra puerta serie.

Este módem puede trabajar de dos maneras, según que la transmisión se reciba en banda ancha (WIDE) o banda estrecha (NARROW), lo que es necesario ajustar mediante un conmutador que lleva incorporado. Las estaciones de Bracknell y Hamburgo transmiten en banda estrecha, mientras que Roma y Moscú lo hacen por banda ancha, y aunque la transmisión se recibe en

cualquier caso, pueden producirse errores si la posición del conmutador es errónea. La información recibida es almacenada en ficheros con formato ASCII estándar, (WDX), que son interpretados y manipulados así por el software del programa, que dispone de distintos mapas predefinidos para las zonas de interés antes mencionadas.

Las distintas observaciones se representan sobre estos mapas de acuerdo con las convenciones y estándares de la Organización Meteorológica Mundial (códigos FM13 para barcos y FM11 para estaciones terrestres) pudiendo representar en la pantalla hasta cincuenta puntos de estación, con todos los datos meteorológicos en cada uno de ellos, o hasta doscientos si seleccionamos un solo dato meteorológico en cada estación. Dentro de un área geográfica definida, el usuario puede especificar su propio mapa y escala.

El programa permite mostrar en pantalla, sucesivamente y a intervalos de tiempo prefijados, distintos datos meteorológicos para un mismo mapa o región, por ejemplo, mapa de vientos (ráfagas), temperaturas máximas y mínimas, presiones, etc. También es posible mostrar en la pantalla, parcial o totalmente, los datos contenidos en un fichero o los datos recibidos de una estación emisora concreta. Las imágenes obtenidas pueden ser archivadas en formato comercial estándar (.PCX), por lo que pueden ser tratadas mediante cualquier programa de tratamiento de imagen.

Frecuencias de trabajo en estaciones españolas

La información que el marino puede necesitar y es confeccionada por el Instituto español de Meteorología es difundida a través de las estaciones costeras españolas, que emiten sus boletines tanto varias bandas y frecuencias.

a) Onda media.

Todas las estaciones costeras de onda media transmiten boletines meteorológicos previo anuncio en la frecuencia de escucha de 2.182 kHz.

| Estación | Horario U.T.C. | Frecuencia | Zonas Marítimas |
|---------------|-------------------|------------|--|
| MACHO | 0903, 1233, 1733, | 1707 kHz | Gran Sol, Vizcaya, Cantábrico, Finisterre, Azores |
| CABO DE PEÑAS | 0803, 1203, 1703, | 1677 kHz | Gran Sol, Vizcaya, Cantábrico, Finisterre, Azores |
| A CORUÑA | 0833, 1233, 1733, | 1698 kHz | Gran Sol, Vizcaya, Cantábrico, Finisterre, Azores |
| FINISTERRE | 0803, 1203, 1703, | 1764 kHz | Gran Sol, Vizcaya, Cantábrico, Finisterre, Azores |
| CHIPIO NA | 0833, 1233, 1733, | 1656 kHz | Azores, San Vicente, Cádiz, Alborán |
| TARIFA | 0803, 1233, 1703, | 1704 kHz | S.Vicente, Cádiz, Alborán, Azores |
| CABO DE GATA | 0833, 1233, 1733, | 1767 kHz | Alborán, Palos, Argelia, Cabrera, Baleares, Menorca, León, Provenza, Liguria, Córcega, Cerdeña, Annaba |
| PALMA | 0803, 1203, 1703, | 1755 kHz | Alborán, Palos, Argelia, Cabrera, Baleares, Menorca, León, Provenza, Liguria, Córcega, Cerdeña, Annaba |
| ARRECIIFE | 0903, 1803, 1233 | 1644 kHz | Cádiz, Canarias, Sahara |
| LAS PALMAS | 0903, 1203, 1803, | 1689 kHz | Canarias, Sahara, Cádiz |

Tabla 6: Frecuencias de trabajo en onda media

b) VHF.

Todas las estaciones costeras de VHF transmiten boletines meteorológicos para las zonas costeras nacionales, previo anuncio en el canal 16, en los canales de trabajo que se citan.

| CCR BILBAO | CANAL | HORARIO (UTC) |
|---------------------|--------------|--------------------------------|
| Pasajes | 27 | 0940-1140-2140 |
| Bilbao | 26 | 0940-1140-2140 |
| Santander | 24 | 0940-1140-2140 |
| Cabo Peñas | 26 | 0940-1140-2140 |
| Navia | 27 | 0940-1140-2140 |
| CCR ACORUÑA | CANAL | HORARIO (UTC) |
| Cabo Ortegal | 2 | 0950-1150-2150 |
| A Coruña | 26 | 0950-1150-2150 |
| Finisterre | 22 | 0950-1150-2150 |
| Vigo | 20 | 0950-1150-2150 |
| La Guardia | 82 | 0950-1150-2150 |
| CCR MÁLAGA | CANAL | HORARIO (UTC) |
| Cádiz | 26 | 0940-1140-2140 |
| Tarifa | 81 | 0940-1140-2140 |
| Málaga | 26 | 0940-1140-2140 |
| Cabo Gata | 27 | 0940-1140-2140 |
| CCR VALENCIA | CANAL | HORARIO (UTC) |
| Cartagena | 4 | 0940-1140-2140 |
| Alicante | 1 | 0940-1140-2140 |
| Cabo La Nao | 2 | 0940-1140-2140 |
| Castellón | 28 | 0940-1140-2140. 0950-1150-2150 |
| Marmellá | 23 | 0950-1150-2150 |
| Barcelona | 27 | 0950-1150-2150 |
| Bagur | 28 | 0950-1150-2150 |
| Menorca | 82 | 0920-1120-2120 |
| Palma de Mallorca | 7 | 0920-1120-2120 |
| Ibiza | 3 | 0920-1120-2120 |
| CCR TENERIFE | CANAL | HORARIO (UTC) |
| Arrecife | 25 | 0840-1040-2040 |
| Fuerteventura | 22 | 0840-1040-2040 |
| La Gomera | 24 | 0840-1040-2040 |
| El Hierro | 23 | 0840-1040-2040 |
| La Palma | 22 | 0840-1040-2040 |
| Las Palmas | 26 | 0840-1040-2040 |
| Tenerife | 27 | 0840-1040-2040 |

Tabla 7 : Frecuencias de trabajo en VHF.

c) Teletiempo.

El servicio Teletiempo es un servicio telefónico automatizado, activo durante las 24 horas del día, que suministra información meteorológica. Los teléfonos del *TELETIEMPO MARÍTIMO* proporcionan información meteorológica marítima hasta 2 días para zonas costeras y zonas de alta mar. Además de la información marítima el Teletiempo proporciona información de ámbito terrestre a nivel estatal, provincial e internacional. Los números son los siguientes:

- 906 - 36 53 70: Información costera de Baleares y de alta mar para el Mediterráneo.
- 906 - 36 53 71: Información costera de las provincias del litoral mediterráneo y de alta mar para el Mediterráneo.
- 906 - 36 53 72: Información costera para el litoral cantábrico y gallego y de alta mar para las zonas del Atlántico de: Gran Sol, Vizcaya, Cantábrico y Finisterre.
- 906 - 36 53 73: Información costera para el litoral andaluz occidental y Canarias y de alta mar para las zonas del Atlántico de: San Vicente, Cádiz, Azores, Canarias y Sáhara.

Sumario de las compañías que operan en el sector de planificación de derrotas

OCEANROUTES.

Oceanroutes, creada en 1952, es el líder mundial en suministros de servicios meteorológicos marinos. El abanico de servicios meteorológicos ofrecidos por la compañía fue sustancialmente ampliado en 1993 cuando Oceanroutes paso a ser parte del grupo WNI.

WNI Oceanroutes provee un amplio abanico de servicios meteorológicos adaptados a gran variedad de usuarios. El centro de pronósticos de Aberdeen esta especializado en servicios a la industria marítima además de suministrar un completo servicio meteorológico a las estaciones de televisión de UK y Europa y a una parte de la industria incluyendo servicios públicos y autoridades locales. Las soluciones de software adaptadas para la industria marítima incluye el sistema SATURNO, para plataformas petroleras y de gas, y los sistemas ORION y POLARIS para la industria marítima mundial.

Los productos que oferta en cuanto a análisis y visualización del tiempo, y el Software para las derrotas de buques

- SATURN: Avanzado sistema que muestra en pantalla mediante gráficos las previsiones costeras
- POLARIS: Sistema de dirección de flotas suministrando derrotas e información meteorológica
- ORION: Derrotas de barcos y seguimiento meteorológico

La compañía entró en el negocio en 1952 bajo el nombre de *Pacific Weather Analysis*. Esta fue la primera compañía que empezó con lo que luego se llamó operaciones de “Weather routing” como resultado de las demandas de varias compañías consignatarias de la costa oeste de EE.UU. Estas consignatarias deseaban inicialmente reducir los daños y perdidas debidas al mal tiempo en el Pacífico Norte, pero a medida que el precio del combustible aumentaba, las demandas de las navieras se volvieron más hacia una reducción de costes siguiendo rutas que fueran más cortas en tiempo que aquellas aceptadas como normales según la estación del año en el Pacífico Norte. Estas fueron las bases de la operación *Optimum Ship Routing* que sigue en vigor hoy en día.

Durante 1970, Oceanroutes aumentó su capacidad tecnológica marítima para proporcionar pronósticos meteorológicos y servicios de consulta medioambiental a la industria petrolífera offshore. Estos servicios incluyen pronósticos de situación para perforaciones y producción, avisos sobre movimientos de maquinaria, sofisticados estudios climatológicos y servicios meteorológicos en general. En 1979, Oceanroutes se convierte en parte del grupo mundial SWIRE enriqueciéndose con la vasta experiencia de una organización con más de dos siglos de participación en el comercio marítimo.

Hoy en día, tiene oficinas y centros operacionales estratégicamente colocados en Australia, Canadá, China, Hong Kong, Japón, Corea, Oriente Medio, Singapur, Estados Unidos y Europa, y está en una situación privilegiada para proporcionar un servicio mundial 24 horas al día, siete días a la semana. Sus diferentes centros locales, están enlazados por una avanzada red de comunicaciones con un alto nivel de eficiencia; y esto se refleja por el hecho de ser el servicio de Routeing más ampliamente utilizado y el líder mundial en este campo. A grandes rasgos, más de 900 compañías alrededor del mundo utilizan el sistema de derrota óptima de Oceanroutes de forma regular, proporcionando unas 1400 rutas marítimas al mes. A cualquier hora, de noche o de día, hay al menos 750 buques en la mar que están siendo seguidos y reciben noticias y avisos, de Oceanroutes.

En las últimas tres décadas se han producido significativos avances en la disponibilidad de datos meteorológicos detallados y en la predicción del *seakeeping* y *speedkeeping* (mantenimiento de las condiciones de mar y velocidad) dentro de los algoritmos de respuesta del buque. La economía de las operaciones marítimas se está entendiendo mucho mejor y es seguida mucho más de cerca de lo que ha estado nunca anteriormente.

Un ejemplo cuantificado sobre la seguridad en la mar que ofrece el uso de Oceanroutes se llevó a cabo por la universidad de Stanford. El análisis comparó cerca de 150.000 viajes Transpacíficos y Transatlánticos en un periodo de cuatro años, concluyendo que el número de accidentes para buques usando servicios de Ocean routeing fue un 54% inferior que para los buques que no lo usaban. Los beneficios que la compañía asegura, proporcionar en la contratación de estos servicios son:

- Tiempos de ruta más cortos (Más rapidez en la derrota).
- Mejora en los tiempos de viaje.
- Reducción en el consumo de combustible.
- Aumento o mejora en la seguridad de la tripulación.

- Reducción de los daños por mal tiempo en el casco y la carga.
- Un sistema de seguimiento que permite evaluar el comportamiento del buque.

Todos estos factores son extremadamente importantes para asegurar un mayor beneficio de las operaciones y maximizar el tándem coste- efectividad. La ruta recomendada se transmite generalmente a los agentes del buque antes de su salida a la mar o al buque al mismo tiempo, especialmente si este está ya navegando. La recomendación inicial de la ruta incluirá siempre:

- Ruta completa y razones para la conveniencia de esa ruta en particular,
- la previsión meteorológica a corto plazo,
- un análisis del tiempo a encontrar en la totalidad del viaje,
- una previsión de la actividad en las zonas marinas adyacentes y
- los requisitos para hacer más efectiva dicha derrota.

El contacto de forma regular con el buque es esencial, y es de vital importancia que se mantenga la cobertura 24 horas al día en caso de necesitarla. Oceanroutes comprueba cada buque como mínimo cada 12 horas en el seguimiento de su plan de viaje. El contacto se mantiene para proporcionar al Capitán la información actualizada del tiempo, posibles cambios en la meteorología e incluso cambios en el plan inicial de viaje. Por ejemplo, durante las épocas de gran actividad de las tormentas tropicales, el Capitán y el naviero están plenamente informados de las situaciones que podrían tener efectos adversos sobre el buque, incluso aunque ocurran a distancia considerable de la ruta planificada.

METROUTE.

Metroute es el servicio de derrota de la Agencia Meteorológica Británica, se estableció en 1968 para proporcionar servicios de derrota a los buques que cruzaban el Océano Atlántico. Desde entonces se ha ido extendiendo en prestaciones, hasta ofrecer cobertura mundial para todo tipo de buques. Según la propia compañía, de entre todo los buques a los que ha servido Metroute ninguno se ha perdido mientras operaba con dicha empresa.

Los profesionales que trabajan aquí son todos Capitanes, la mayoría con gran experiencia de mando lo que facilitan la comprensión de los capitanes a los que se está asesorando ya sea con avisos meteorológicos o meras cuestiones de navegación. La oficina de Metroute está dotada

con las mismas cartas de navegación usadas a bordo, ofreciéndoles un conocimiento total de posibles problemas de navegación, por ejemplo la existencia de bajos peligrosos si la derrota se desvía de la original prevista. Todos estos factores, además de otros, se tendrán en consideración a la hora de establecer la ruta personalizada para cada buque.

Un factor importante del servicio, de hecho esencial, son las comunicaciones con el buque; dónde la información deberá transmitirse con el mínimo retraso. Hoy en día las comunicaciones son, casi en su totalidad, vía el sistema de satélites Inmarsat usando el modo télex. Como es de suponer el sistema trabajando a través de Inmarsat no conlleva retrasos en las comunicaciones de ningún tipo, ya que se desarrollan en tiempo real. Cuando un cliente solicita Metroute, debe facilitar a un tiempo, las características y facilidades de su equipo de radio, asegurándose así que las comunicaciones se efectuarán de la manera más adecuada.

A un buque en puerto participando de los servicios Metroute de derrota meteorológica se le requerirá su ETD y destino, con lo que se desarrollará una carta de derrota con sus correspondientes waypoints. La información basada en predicciones climatológicas, se transmite al buque 24 horas antes de su salida a la mar, permitiendo al Capitán y al Oficial de navegación planificar la derrota con suficiente antelación.

El oficial Metroute encargado de nuestra derrota contactará con el agente, prácticos, control de puerto o el mismo buque para asegurarse de la exactitud de su ETD y la confección de una ruta lo más exacta posible. Una demora de 12 horas en la salida puede acarrear una diferencia de 200 millas o cambios sustanciales en la derrota recomendada. Una vez iniciado el viaje, el buque reportará su posición a Metroute cada 24 horas de modo que su oficial de derrota pueda hacer los ajustes necesarios en su pronóstico de posición, y teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas presentes y pronosticadas, para mandar un aviso de cualquier cambio en la derrota.

Al igual que otros servicios de routing, Metroute no solo ofrece recomendaciones en base a la meteorología. Se tienen en cuenta otros muchos factores como derrotas más usuales, zonas de tráfico, peligros a la navegación o las limitaciones inherentes al tipo de buque. Este es el motivo por el cual los oficiales encargados de confeccionar dichas derrotas sean Capitanes con amplia experiencia. El equipo de Metroute ha desarrollado modelos por ordenador de los diferentes tipos de buques, su maniobrabilidad, características y comportamiento en

condiciones adversas. Esta información se introduce en una completa base de datos de fácil acceso que les ayuda a confeccionar las diferentes derrotas.

El servicio Metroute está situado junto a la Agencia Central de Previsión (Agencia meteorológica) en Bracknell, lo que supone una enorme ventaja para el acceso inmediato al tiempo presente y pronosticado en cualquier parte del globo, aprovechándose así de los conocimientos de meteorólogos profesionales con gran experiencia.

Durante las dos últimas décadas la Agencia Británica ha sido uno de los líderes mundiales en el desarrollo de modelos por ordenador para la previsión de la meteorología y condiciones marítimas en cualquier parte del globo. Se obtienen previsiones de viento y olas con validez para 7 días y precisión cada vez más exacta a medida que evolucionan las capacidades de cálculo de los ordenadores.

Se sobreentiende que dichos modelos requieren que los datos observados e introducidos en el ordenador sean lo más precisos posibles, estos datos son obtenidos de satélites, boyas, estaciones en buques o en tierra y que los centros de comunicaciones de la Agencia Meteorológica reciban dicha información a las pocas horas de haber sido registrada. La agencia meteorológica interviene continuamente en el desarrollo de sus avanzados modelos de pronosis de olas, y un avance en los últimos años ha sido la incorporación de imágenes del satélite ERS-1 destinadas a mejorar la precisión de los pronósticos de mar y oleaje.

Los ciclones tropicales también se siguen de un modo innovador en los recientes modelos de ordenador, mediante una técnica recientemente desarrollada por el Dr. Chan en Hong Kong, que se basa en modelos con distribución de vientos asimétricos alrededor del ciclón, diferentes a los circulares al contorno usados con anterioridad. Los resultados han sido sorprendentes, ya que solo en un año, el error de derrota en 24 horas de un ciclón ha sido reducido a la mitad, esto es de 200 Km. a cerca de 100 Km. y con períodos más largos los resultados todavía son mejores.

AEROSPACE & MARINE INTERNATIONAL.

Esta empresa ofrece desde 1991 servicios de información meteorológica y estudios oceanográficos a muchas empresas relacionadas con el negocio marítimo en todo el mundo. Entre sus principales clientes se encuentran la mayoría de compañías petrolíferas y compañías

de fletadores. Proporciona información meteorológica a través de todo el mundo a las diferentes flotas de estas compañías.

- Optimun Voyage Routing service. Este servicio incluye una ruta inicial recomendada se envía al buque así como a la oficina bien presentada antes de la salida a mar del buque, de forma que esto permite usarlo durante el proceso de planificación del viaje del buque. En la derrota optima se tiene en cuenta el tiempo mínimo de llegada evitando las zonas de mal tiempo. También nos ofrece la posibilidad de elegir los criterios para seleccionar las derrotas.

Un seguimiento diario monitorizado del la progresión del barco y pronósticos meteorológicos con la posibilidad de consultas del parte por donde transcurre la derrota del barco, así como alternativas a la derrota seguidas en caso de mal tiempo.

Un informe resumen del viaje que incluye un análisis preliminar del rendimiento (si es necesario), incluyendo el tiempo, las corrientes, rendimiento de la velocidad, tiempo perdido, cifras de consumo de combustible; un resumen diario del viaje del barco con el tiempo, distancias recorridas, velocidades medias, intervalos de velocidades, tablas de análisis climático y carta del viaje. De la misma forma se pueden adjuntar tablas diferentes a las anteriores requeridas por el contratante del servicio.

Acceso al sistema de *Weather 3000* el sistema on line de gestión de flotas. Con cualquier PC con una página “web browser” instalada se puede hacer un seguimiento diario de la ruta seguida por el barco, revisar los mensajes de tráfico, ver el tiempo que hay en la zona con la derrota del barco y posición, confirmar el último ETA, revisar viajes pasados.

- Weather 3000. Este sistema utilizando la red de Internet es capaz de ofrecernos una información en tiempo real de la situación meteorológica y de la situación de nuestros buques durante las veinticuatro horas del día. El *Weather 3000* nos informa a la vez en tiempo real de la situación de nuestro buque de las condiciones climáticas reinantes así como e la corriente, esto permite aumentar la productividad de los barcos reduciendo los costos al no perder tiempo debido a la falta de información. Proporciona un resumen de la situación del buque en tiempo real, esto permite en teoría tomar decisiones sobre situaciones reales para mejorar la planificación y explotación de los barcos, tomar decisiones operacionales, entre otras.

El sistema tiene una base de datos con todos los viajes de los diferentes barcos a los que se les ha hecho un seguimiento, de forma que podemos utilizar estos datos para comparar diferentes viajes.

Toda esta información puede ser consultada desde cualquier ordenador PC o Mac o cualquier estación de trabajo que tenga un navegador en Internet.

- Información meteorológica. En este servicio se ofrecen las predicciones meteorológicas de diferentes agencias:
 - Servicio nacional de EE.UU.
 - Servicio meteorológico de la marina de EE.UU.
 - Bureau meteorológico de Australia para alta mar.
 - Boletín meteorológico del Instituto Danés del mar.
 - Instituto Meteorológico Noruego.
 - Boletín del servicio meteorológico Turco para la navegación.
 - Servicio meteorológico de Singapur.

DARTCOM II System de British Aerospace.

El sistema meteorológico DARTCOM de British Aerospace es un receptor de imágenes satélite conjugado con una estación de análisis que se vale de un ordenador compatible PC de sobremesa. Las mejoras principales de su última versión, afectan al control de recepción, el cual pasa de llevarse a cabo mediante interruptores mecánicos a gobernarse por software, de forma que la unidad puede almacenar automáticamente las imágenes seleccionadas, además de disponer de un software de animación. La capacidad de almacenaje automático de las imágenes supera a las prestaciones de la versión anterior, en la que el usuario debía elegir que imagen deseaba recibir, por ejemplo, en el caso de una transmisión de dos imágenes polares había que decantarse por la imagen infrarroja o la fotográfica, recibiendo solo la seleccionada y perdiendo la otra hasta el siguiente paso del satélite.

Con el Dartcom II ambas imágenes se reciben en el mismo paso de satélite, la seleccionada entra directamente en la pantalla mientras la otra se almacena para su posterior visualización. Además incluye un nuevo display de animación multimodal que a través de un interruptor de

doble fotograma compara imágenes fotográficas o infrarrojas y por medio de un teclado permite ajustar las funciones de animación de imágenes de modo continuo y con velocidad variable.

Otra función del software de animación es la que permite al usuario programar el sistema para un continuo escaneo de las frecuencias del satélite, evitando así la pérdida de cualquier transmisión. Esto ocurría en el sistema anterior al efectuar el escaneo a intervalos de 30min. o 1 hora perdiendo así las transmisiones fuera de horario.

En cuanto a las mejoras en el hardware la más significativa es que ya no es necesaria la instalación de una tarjeta pinchada en la placa del PC, simplemente con un adaptador al puerto serie es suficiente, haciéndolo compatible con cualquier ordenador PC. Los interruptores de recepción dejan de ser mecánicos para controlarse por el software con lo que la sintonización se hace de forma automática, ahora la unidad solo tiene un interruptor que indica el canal de recepción sintonizado.

Este sistema se conoce comúnmente con el nombre de *Metmap* y dónde ha tenido un mayor éxito es en el sector pesquero, teniendo también ventas a nivel educacional y en el mundo de la vela de competición. Otra característica interesante de este sistema es la posibilidad de recepción de datos transmitidos a través del interface NMEA 0183 (National Marine Electronics Association's Standard) como pueden ser hora UTC, dirección del viento, velocidad, altitud, sonda, presión barométrica, humedad, temperatura ambiente o posición, calculando incluso derrotas ortodrómicas y dándonos distancias, rumbos y perfiles de temperatura superficial.

WS-3 DE ICS ELECTRONICS.

ICS Electronics de la compañía *Arundel*, West Sussex, ha entrado en el mercado de los receptores vía satélite con el WS-3 presentado a principios de 1995. El sistema permite la recepción de imágenes del satélite en órbita sobre nuestra posición, directamente a la pantalla del ordenador IBM PC compatible. El WS-3 se suministra con una antena marina, receptor de doble canal NOAA y el paquete de software, el receptor se conecta directamente al puerto RS-232 del ordenador.

El WS-3 proporciona las previsiones, determinación del movimiento de los sistemas frontales y etiquetado de los mismos y el seguimiento de sistemas no pronosticados. Usando las imágenes infrarrojas, pueden determinarse las temperaturas en superficie y con ello las posiciones de las corrientes oceánicas. Un sistema de predicción de órbita del satélite, nos muestra las posiciones presentes i futuras de los satélites NOAA, con lo que podemos conocer la posición de cualquier satélite con una anticipación de varios días.

PC WEATHERSAT DE PC MARITIME.

El PC WeatherSat de la compañía inglesa PC Maritime ofrece funciones y características similares a los anteriores, pero está diseñado principalmente para su uso en yates y en general para la navegación deportiva. El sistema se compone de un cable de conexión y un de modulador que nos permitirá decodificar las señales del satélite meteorológico, además del propio ordenador PC compatible. Como en los casos anteriores no es necesario insertar tarjeta alguna en el PC lo que significa que puede trabajar como un ordenador normal cuando no se esté usando como receptor satélite.

NEPTUNE DE METEO FRANCE.

El sistema Neptune de Meteo-France proporciona información meteorológica y oceanográfica a través del Inmarsat C. Se ofrece en dos versiones, la primera llamada *EGC-FleetNet* donde se suministran las siguientes informaciones:

- Predicciones de presión y dirección y velocidad del viento hasta 5 días
- Predicción de altura de olas, amplitud, dirección, y periodo hasta 3 días
- Cartas de temperatura de la superficie de la mar
- Análisis y pronosis de frentes e isóbaras hasta 3 días

Estos datos se reciben a bordo a través de Inmarsat C y se almacenan en el ordenador, el software lo proporciona Meteo-France y permite la visualización de los datos necesarios y otras ayudas a la navegación como animación, simulación de rutas, avisos. El sistema Neptune cumple con el estándar del sistema mundial *Maritime Safety Information* como por ejemplo SafetyNET y GMDSS.

En cuanto a la segunda versión del sistema es la denominada *Point to Point*, que es el sistema propio de punteo para una derrota oceánica con servicio de recomendación de derrota. Aunque está incluido en esta sección, el sistema de Meteo-France es más bien un servicio de routeing de los denominados “shore-based”.

WEATHERVIEW DE NDWS.

Noble Denton Weather Services es otra compañía privada que ofrece servicios especializados meteorológicos (routeing entre ellos) a la industria marítima, principalmente a grandes estructuras como plataformas petrolíferas. Su principal objetivo se centra en la protección de la carga y muchas veces actúan como tercera parte independiente entre el operador y la compañía aseguradora. Ofrecen un tipo de servicio “shore-based” con el propósito de evitar daños a la carga en caso de meteorología adversa, trabajando como el resto de los sistemas por medio de Inmarsat, transmitiendo informes vía telex, fax o correo electrónico.

Aunque recientemente ha desarrollado un producto “ship-board system” llamado *Weatherview* el cual convierte la información en modo gráfico sobre pantalla PC conectado a la terminal de Inmarsat. El coste de dicho paquete de software es de 100 libras y el precio del servicio en viaje suele centrarse en unas 65 libras por día.

Otra novedad que esta compañía ha introducido en el mercado es el nuevo sistema *Marinet* de alta velocidad y bajo coste. Está basado en la instalación a bordo de un ordenador con el software especial de comunicaciones *Marinet* utilizado conjuntamente con Inmarsat A. Se dice que puede llegar a ser 1000 veces más rápido que el tráfico normal vía telex y recibe cartas y mapas meteorológicos en formato alfanumérico.

ORION DE OCEANROUTES.

La compañía *Oceanroutes* fusionada con el gigante japonés de la meteorología *Weathernews*, introdujo a finales de 1992 su programa *Orion*, una nueva herramienta para la creación a bordo de derrotas meteorológicas, en respuesta a las demandas del complejo mercado marítimo. Este sistema de guía de derrota está diseñado para optimizar la seguridad, consumo y tiempo de

trayecto de los buques, y no es más que un software que puede ser colocado en cualquier buque y permite al Capitán del mismo tomar decisiones estratégicas sobre la derrota del buque a bordo, basándose en previsiones meteorológicas a 10 días vista proporcionadas por WNI Oceanroutes. Con el propósito de permitir a los operadores de los buques y a aquellos clientes cuyos barcos están usando el servicio de derrota óptima para seguir a su flota en tiempo real, Oceanroutes ha introducido el programa POLARIS, un software para gestión de flotas, que provee datos meteorológicos así como información sobre los barcos de la flota.

Esta empresa ofrece tradicionalmente su servicio “shore-based” denominado *Optimum Ship Routeing Service* (Servicio de derrota óptima) y para ir en concordancia con las últimas tendencias del mercado ha desarrollado *Orion*, dónde la información se suministra al buque y un sistema la analiza permitiendo la propia interpretación. Orion es un paquete de software optimizado al máximo, que funciona sobre un PC. Actualiza diariamente los partes de previsión meteorológica mostrando los efectos del viento, olas y corrientes sobre el buque durante su viaje, asegurando que puede calcular la mejor derrota en función de las condiciones reinantes en cualquier momento. El programa Orion puede usarse como herramienta única o como parte del sistema de gestión de flotas WNI Oceanroute’s Polaris.

Las prestaciones del sistema Polaris incluyen los datos meteorológicos, imágenes satélite, trazado de rutas optimizado, comparativa de rutas y su presentación, informes a bordo y en tierra de las anteriores, integración de la posición del GPS, modelo del buque y cartas de todo el mundo. El sistema también permite presentar las posiciones de los buques de la flota, los buques que estén en peligro y los efectos del tiempo sobre la ruta trazada por el buque.

Los datos llegan al sistema, suministrados por Oceanroutes vía Inmarsat A y se accede a ellos a través del programa de correo electrónico de Lotus cc:mail, desde dónde pasarán a la pantalla del ordenador como formato gráfico. Este sistema permite las modificaciones en predicciones que se tornan erróneas y la alteración por lo tanto de un plan de derrota sin validez en ese momento.

SPOS de Meteoconsult.

La empresa holandesa de previsión meteorológica *Meteoconsult* es una nueva compañía en el mercado del Routeing, cuyo departamento marino ha desarrollado y producido un sistema de

información meteorológica y optimización de derrotas a bordo llamado **SPOS** “*Ship Performance Optimising System*”. El sistema está diseñado para cualquier tipo de buque, ya sean rápidos porta-contenedores transoceánicos como remolques sumergidos; Para su uso solo es necesario el equipo estándar a bordo de cualquier buque como un PC y los terminales de comunicación por satélite Inmarsat A, B o M.

Dicho sistema incorpora un enlace de datos con instrumentos como el GPS (interfaz NMEA 0183) y cuenta con un módulo de planificación de derrotas usando datos climatológicos. Se sirve de Inmarsat A para enviar información a los buques, y proporciona a los Capitanes herramientas para la toma de sus propias decisiones. De acuerdo con el fabricante, el interfaz del usuario ha sido diseñado para que una hora de aprendizaje sea suficiente para familiarizarse con el sistema, a la vez que dispone del llamado “*routeing wizzard*” para adiestrar a los nuevos usuarios, en el proceso de trazado de la ruta óptima. En dicho proceso el operador introducirá las especificaciones del buque, para que el sistema al calcular la ruta óptima la compare con las otras rutas previamente definidas por el usuario, creandose un registro automático de todas las rutas introducidas.

Cada día *Meteoconsult* prepara una previsión marina global de hasta 5 días de adelanto, basada en la información proporcionada por el *UK Meteorological Office*. Los archivos con los datos, son mandados entonces a los buques vía e-mail, asegurando que un terminal Inmarsat A solo necesita un minuto para recibirlos. Una vez a bordo la información puede ser visualizada en la pantalla del PC con animaciones o bien ser impresa. Esta información contiene entre otros datos los de presión, viento y mar de viento, de fondo y visos de huracanes así como una base de datos climática global. A pesar de ser un sistema nuevo, el **SPOS** estuvo trabajando en periodo de pruebas en el petrolero de la Shell “*Stellata*” antes de su lanzamiento comercial a finales de 1994.

IMDSS DE OCEAN SYSTEMS.

El producto de Ocean Systems – Integrated Marine Decision Support o IMDSS – es el resultado de un proyecto de trabajo en común entre dos empresas, Ocean Systems y la firma Ocean Weather. Se basa en un terminal de Inmarsat A conectado a un módem y a un PC compatible y tiene un coste aproximado mensual de 950\$. Al igual que el sistema SPOS

mencionado anteriormente, incorpora otras funciones suplementarias a las del propio servicio de Weather Routeing.

Un aspecto al que este sistema dedica gran importancia es el de los esfuerzos del casco y daños al mismo por acción del oleaje, este es un factor difícilmente comprobable para el marino y ahí es dónde este sistema entra en acción con la incorporación de sensores en el casco que nos avisarán en caso de sufrir esfuerzos superiores a los permitidos.

SEA MAC DE INFORMATIQUE ET MER.

La empresa francesa Informatique et Mer (I&M) con el producto “Sea Mac” apuesta por una alternativa a las plataformas PC, corriendo dicho programa en un Apple Macintosh conectado a un terminal de InmarsatC. A dicho sistema se le suministran datos de dirección y velocidad del viento, presión barométrica, temperatura ambiente, temperatura del agua de mar y este la presentará en un formato gráfico. Incorpora funciones avanzadas de animación de mapas meteorológicos con zooming en áreas específicas del globo para información al detalle. Sus clientes son pesqueros, yates, veleros de competición o pesqueros de altura.

AIDCOM DE DCN.

“DCN Bassin D’Essais des Carenes” de Francia ha desarrollado el sistema de derrota Aidcom, un programa informático trabajando sobre un PC, un módem y un terminal Inmarsat. Los datos de previsión meteorológica proceden de Meteo France y se envían a través de Inmarsat directamente al ordenador de a bordo. Cada instalación se complementa con la información personalizada del buque y su comportamiento en ciertas condiciones.

Según DCN, Aidcom se ha desarrollado para determinar el rumbo y la velocidad más favorables permitiéndonos un menor gasto en combustible y optimizar el tiempo de llegada. En base a simulaciones, la compañía estima que la reducción anual de consumo para un buque haciendo línea regular entre Europa y USA, puede ser del 3%. Este software ha sido desarrollado bajo supervisión del armador “Compagnie Generale Maritime- CGM” y el comité central “Des Armateurs de France”. Su primera versión fue probada durante un año por los Capitanes y Oficiales del containero de la CGM “*Fort Saint Charles*” antes de que se

instalara en ningún otro buque. El sistema está pensado para buques de gran velocidad como containeres o carga rodada, que puedan cambiar rápidamente el rumbo para evitar la climatología adversa.

NOWCASTING PRO de Nowcasting International.

La empresa Nowcasting International está especializada en previsiones a corto plazo más exactas, a partir de la adquisición de partes del tiempo más elaborados y posteriormente adaptados a los requisitos de los usuarios. Los datos comprimidos se pueden recoger regularmente y ser visualizados en la pantalla de un PC a través del software de la compañía.

La empresa ofrece tres servicios diferentes:

- **Nowcasting Pro:** Diseñado para ferries convencionales y buques mercantes de línea regular. Esta versión proporciona la velocidad y dirección del viento y la altura significativa de ola, a intervalos regulares.
- **Nowcasting Pro Fastcraft:** Diseñado específicamente para buques de alta velocidad, los datos que proporciona son el periodo, altura y dirección de la mar de fondo, además de la dirección y velocidad del viento y altura significativa de la mar de viento.
- **Nowcasting Pro Offshore:** Desarrollado para buques que realizan operaciones especiales, tales como buques prospectores, buques de guerra, pesqueros... y otros cuyas zonas de operación pueden variar a diario, de modo que el usuario puede elegir entre diferentes tipos de datos a recibir y áreas a cubrir.

VOSS de Oceanweather.

Empresa con sede en Connecticut (EE.UU.), que ofrece el servicio **VOSS** (*Vessel Optimisation and Safety System*) para la elección de la derrota óptima. El software se diseñó con un potente algoritmo que permite analizar miles de posibles derrotas con el fin de obtener la de menor coste y menor duración de tiempo. Para un buque determinado se modela matemáticamente el casco y la hélice, para predecir las reacciones del casco ante el viento y las olas y asegurar de este modo que el buque opera dentro de sus límites de seguridad.

Los datos proporcionados por el servicio junto a las observaciones realizadas a bordo, pueden usarse durante el viaje como herramienta de decisión, el programa reproducirá los

movimientos del buque a partir de la información proporcionada por sensores y recomendará la velocidad óptima, las revoluciones por minuto de la máquina y el rumbo más adecuado para reducir los riesgos y daños en la máquina que puedan producirse a causa del mal tiempo.

Otras de las aplicaciones del programa VOSS son las de crear una simulación de la derrota de un remolque con datos históricos o previsiones, de las distintas regiones marítimas y en cualquier día del año, pudiendo conectarse a los sistemas integrados de navegación y cartografía electrónica.

WEATHER WIZARD de Transas.

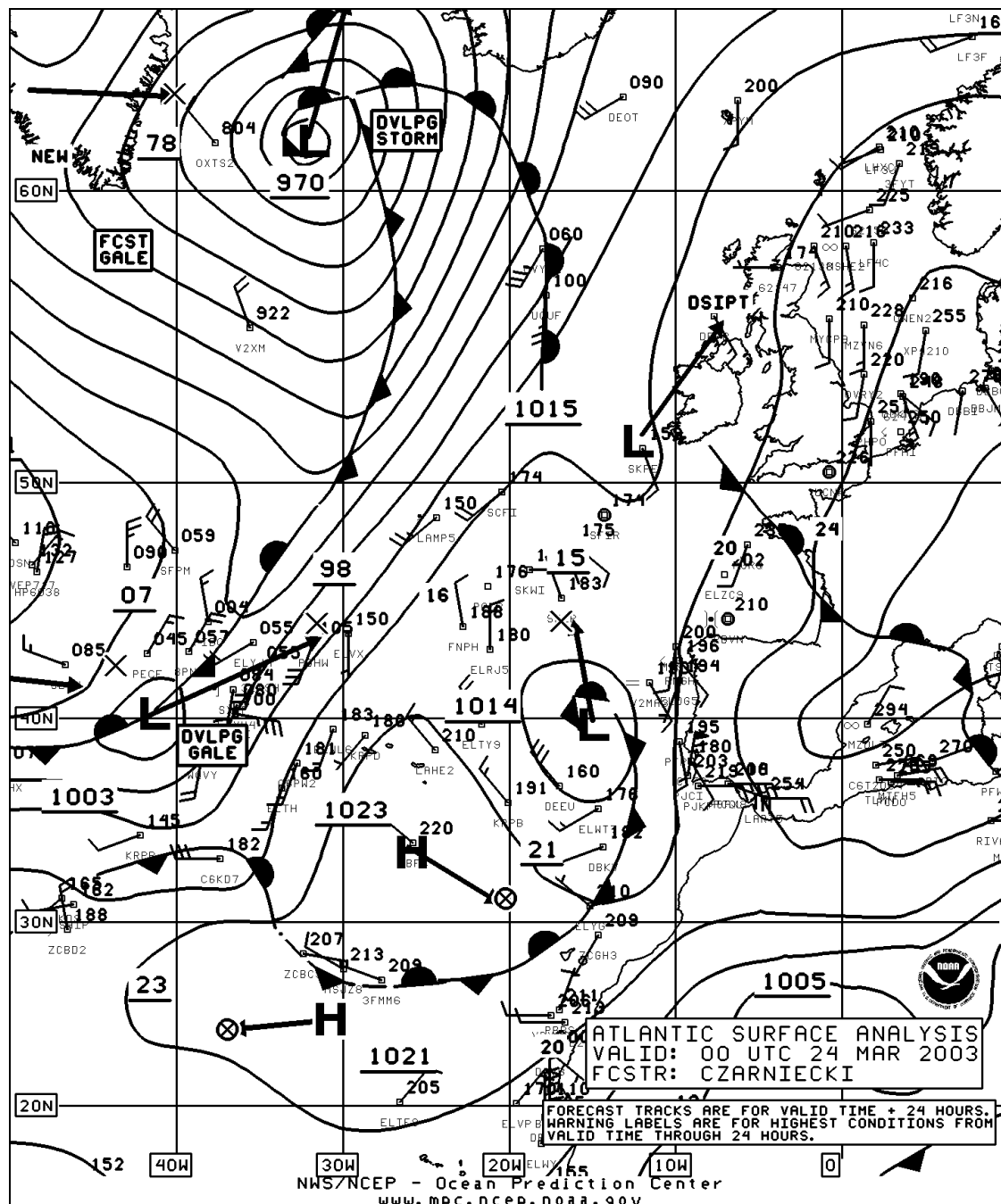
La empresa Transas, especialista en sistemas electrónicos dentro del mundo marítimo, ganó el premio CITIS 2001 a la innovación en seguridad del equipamiento náutico electrónico, gracias a la presentación de su nuevo servicio *Weather Wizard*. Este software trabaja sobre el sistema de cartas electrónicas y navegación integrado *Navi-Sailor*, también de la casa Transas, a partir de los datos de predicción marítima suministrados por la *UK Meteorological Office*.

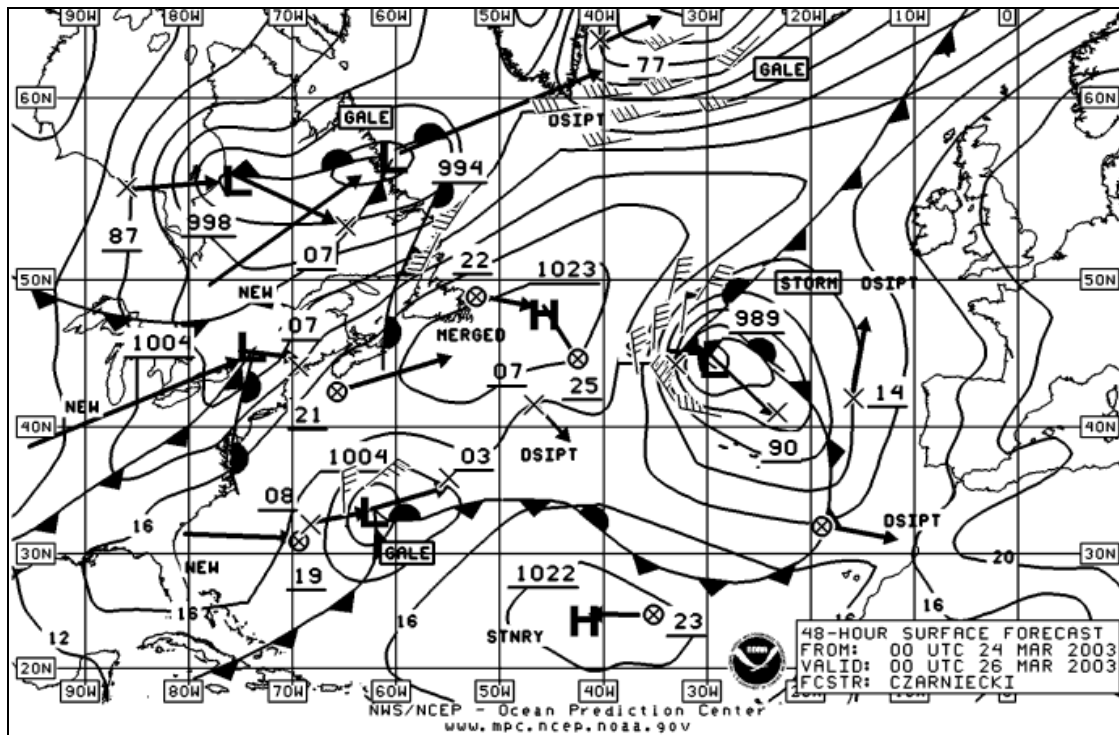
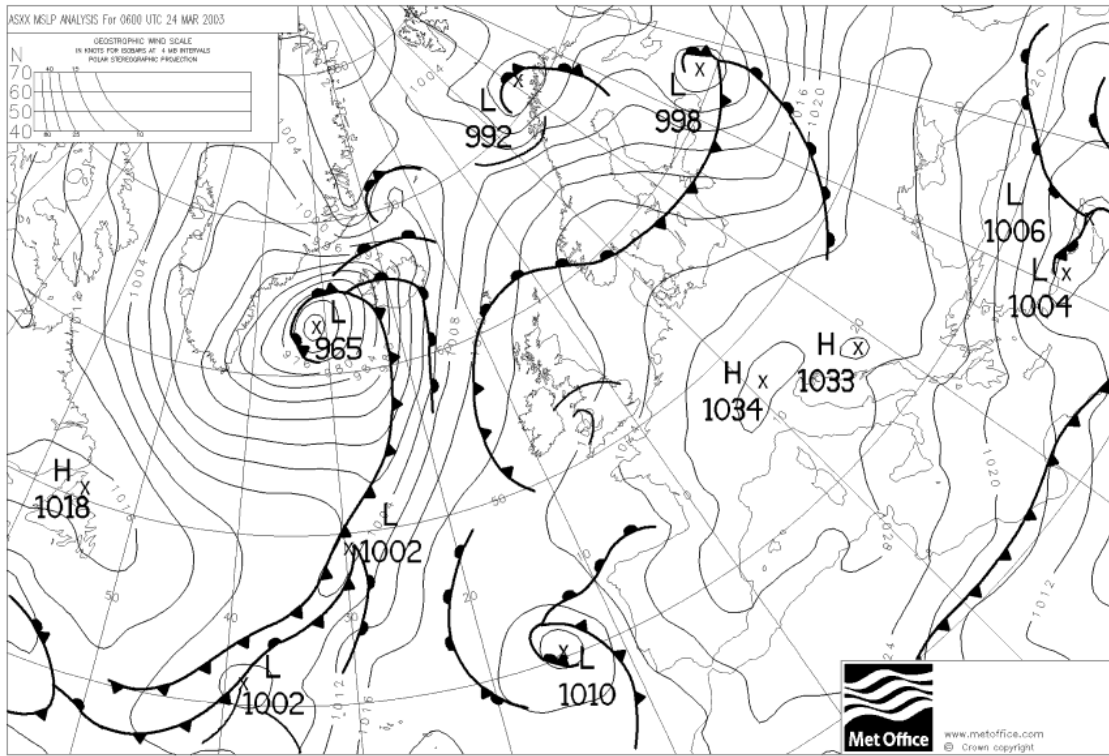
Tras recibir las previsiones del tiempo, los datos se presentan de forma vectorial sobre la carta electrónica con alcances de hasta 5 días por delante. También permite mostrar el tiempo reinante durante la navegación, calculando la pérdida de velocidad del buque en función de las corrientes, viento, mar de viento y mar de fondo. El propio sistema especifica al usuario la frecuencia de las previsiones requeridas, en función del área, duración del viaje y detalle de previsión.

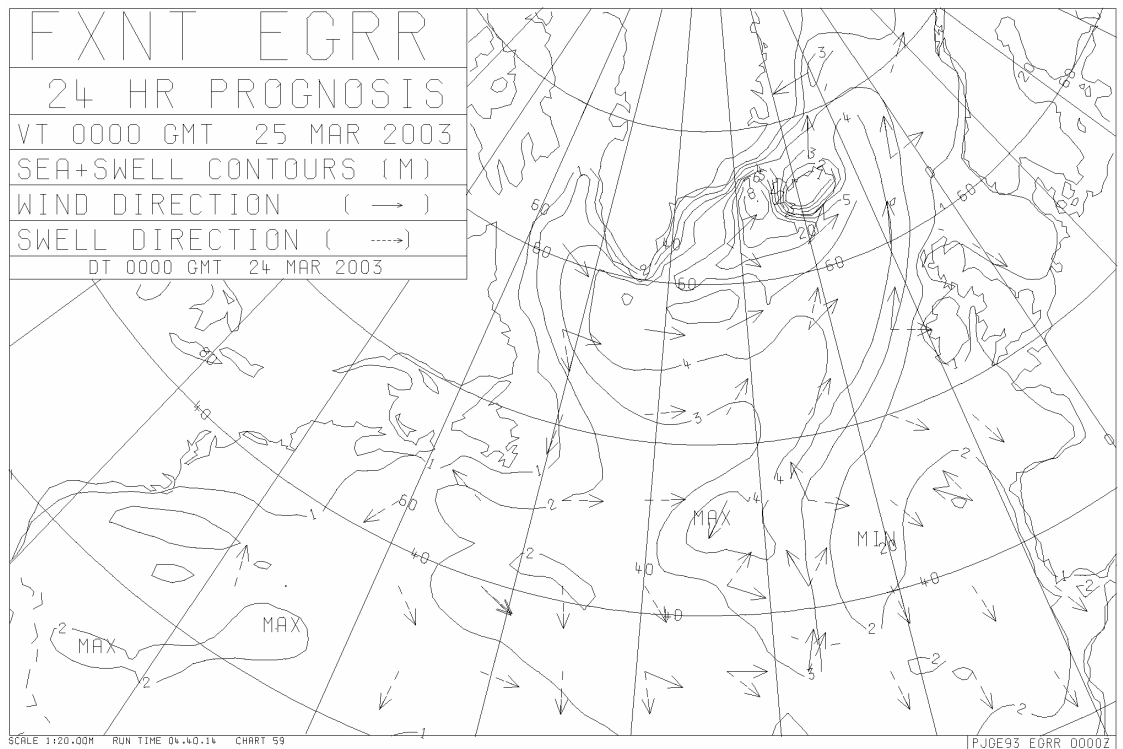
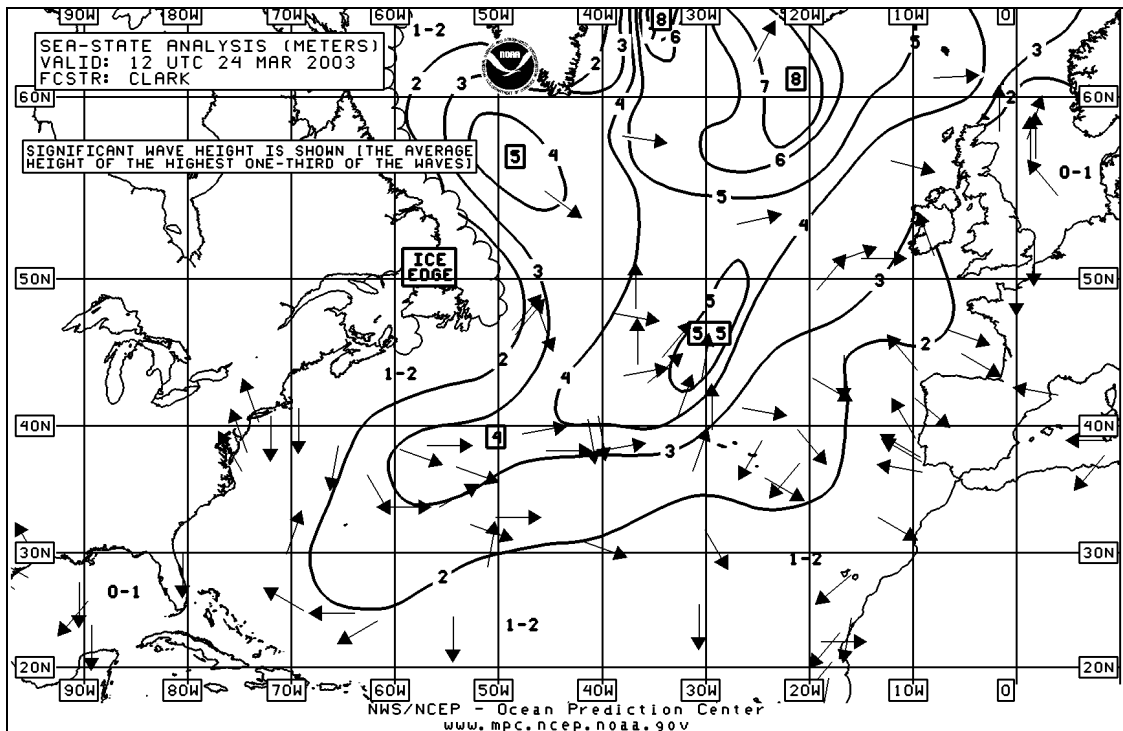
Cartas de tiempo empleadas

A continuación se incluyen las cartas de tiempo que se han utilizado para la confección de la derrota.

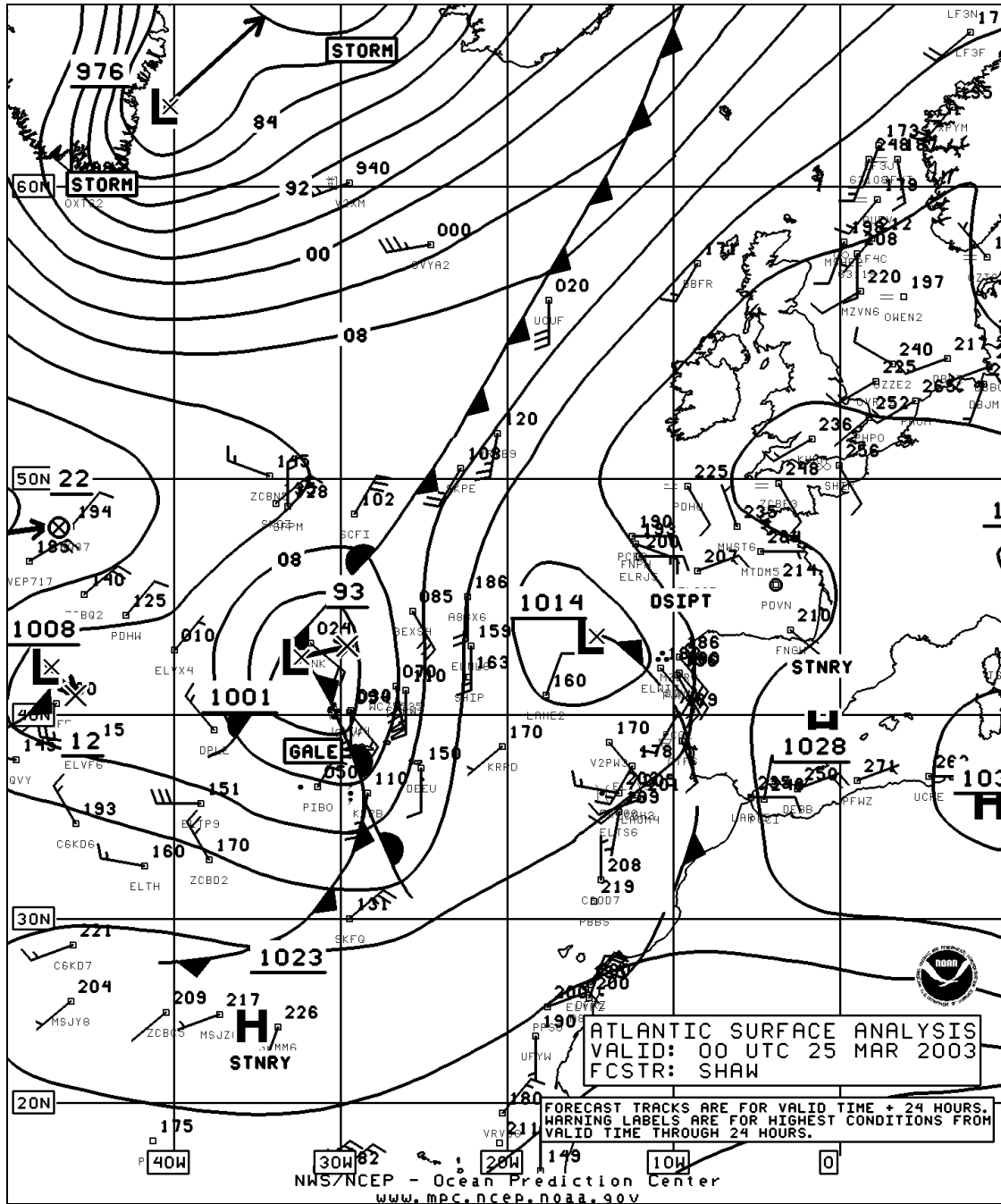
Cartas del día 24 de Marzo del 2003

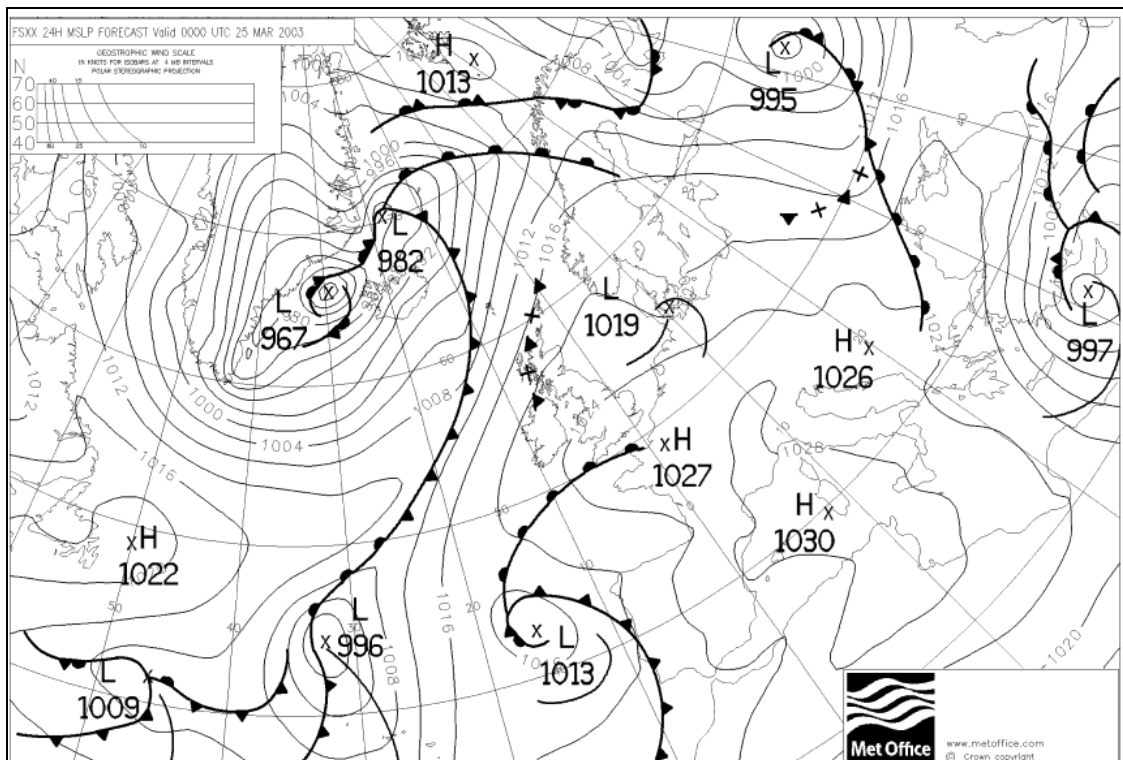
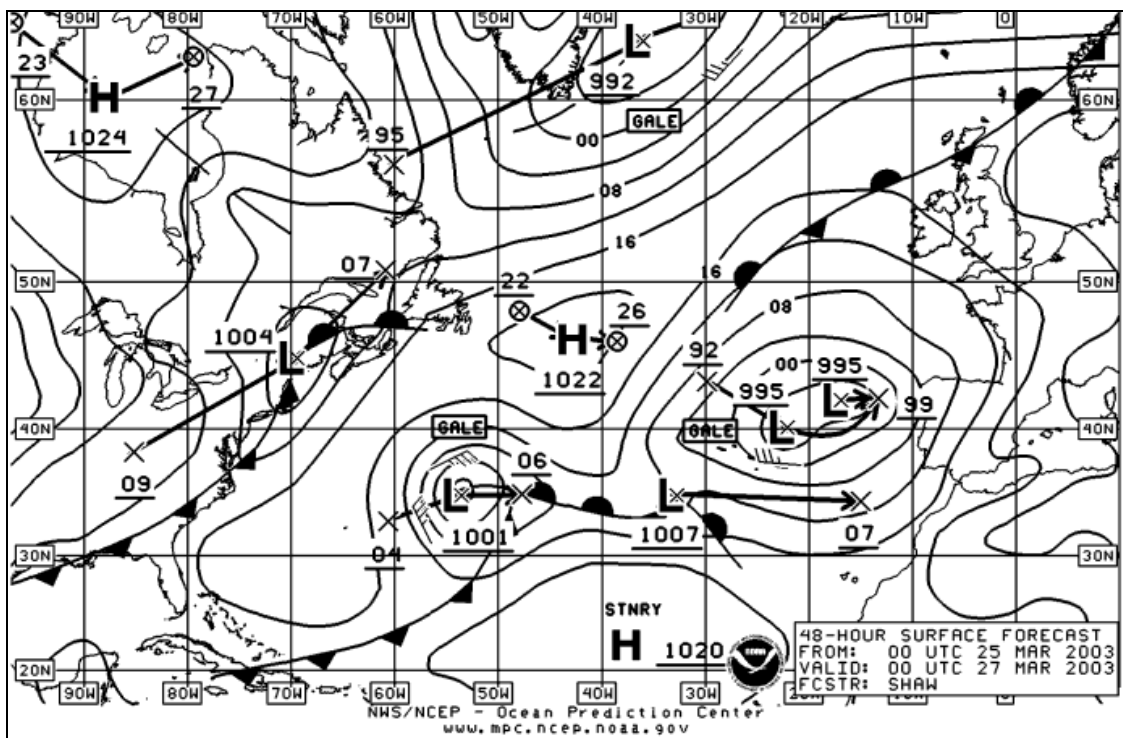


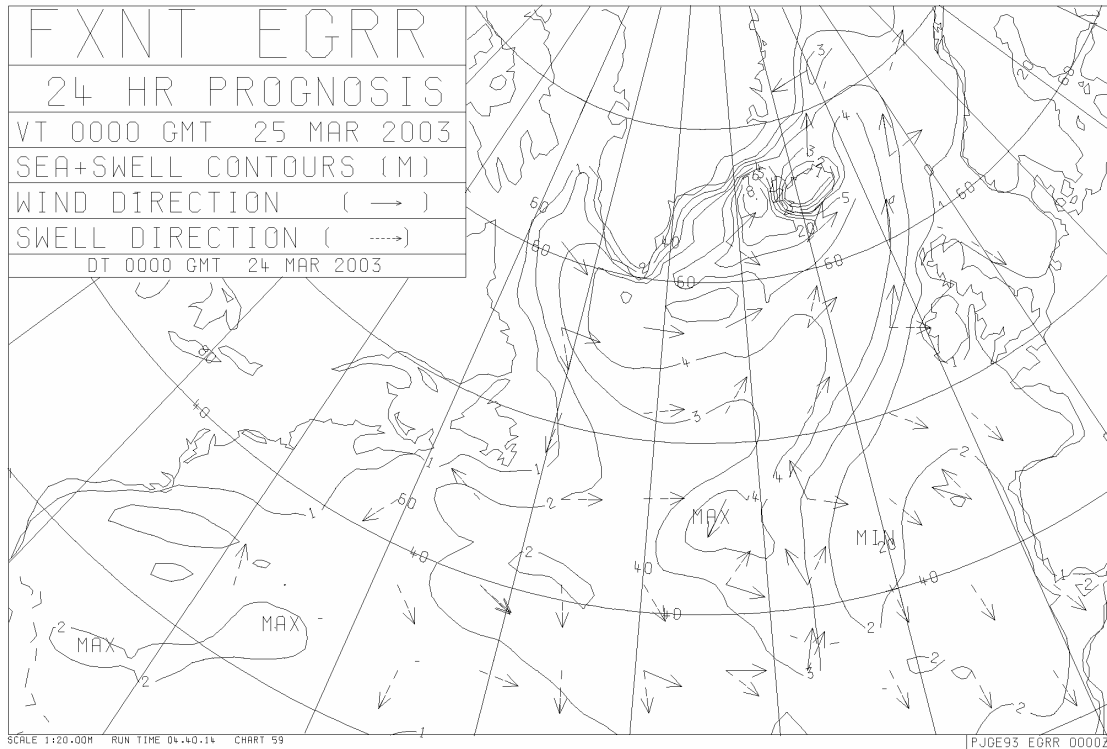
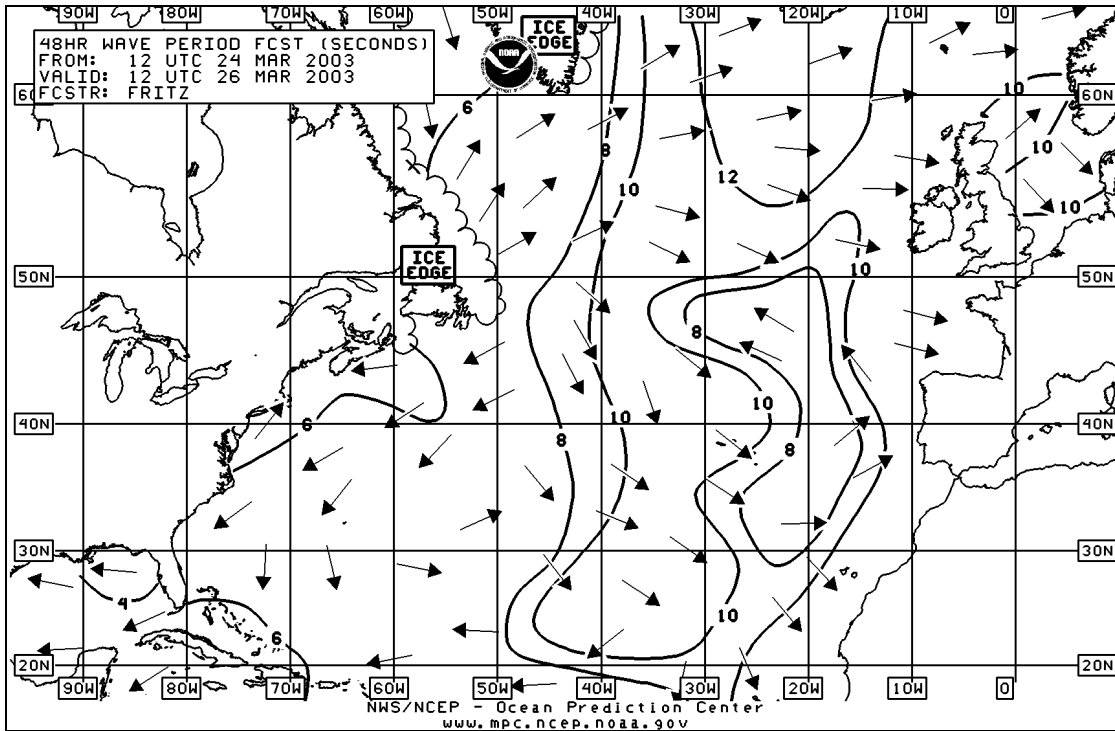




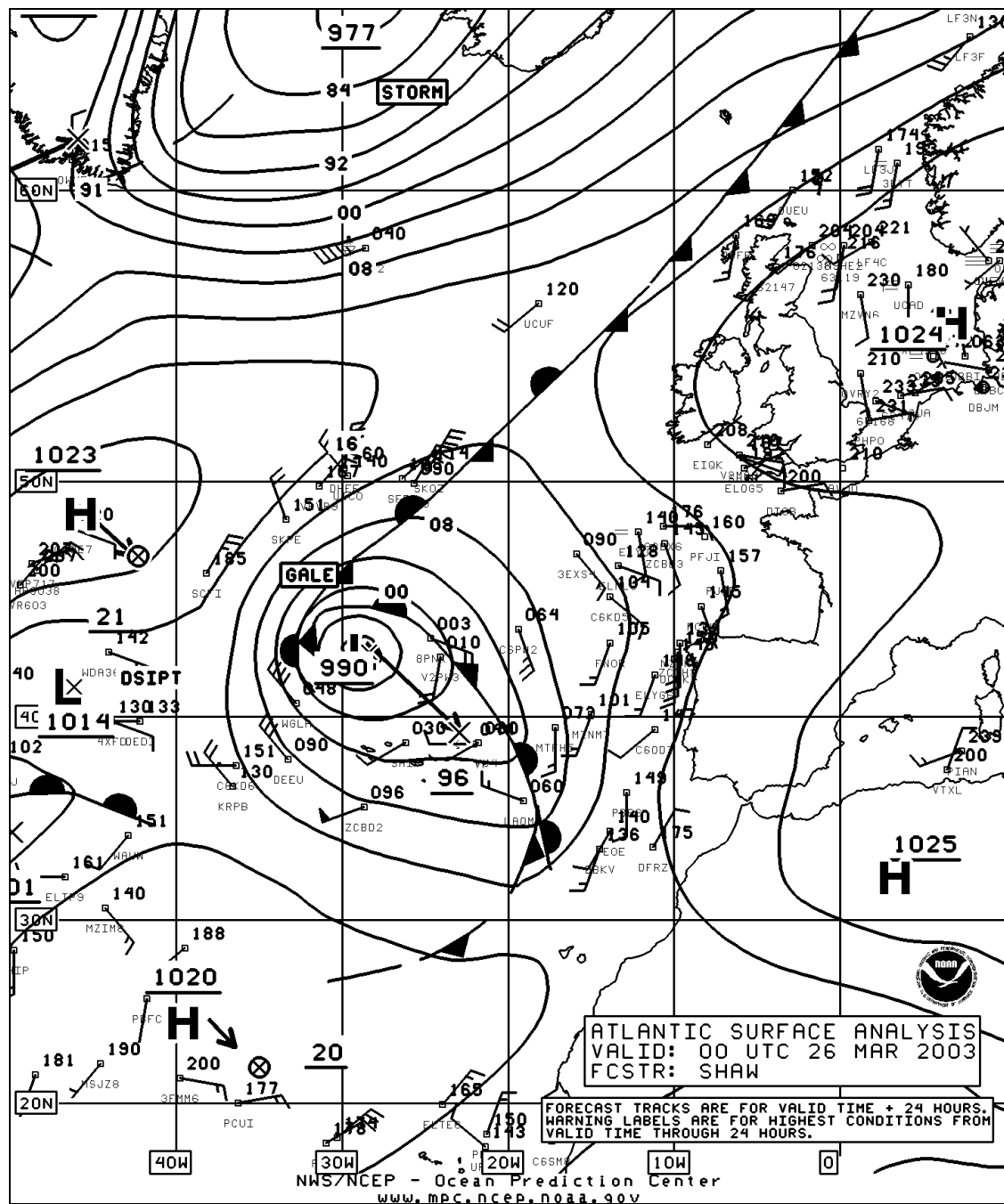
Cartas del día 25 de Marzo del 2003

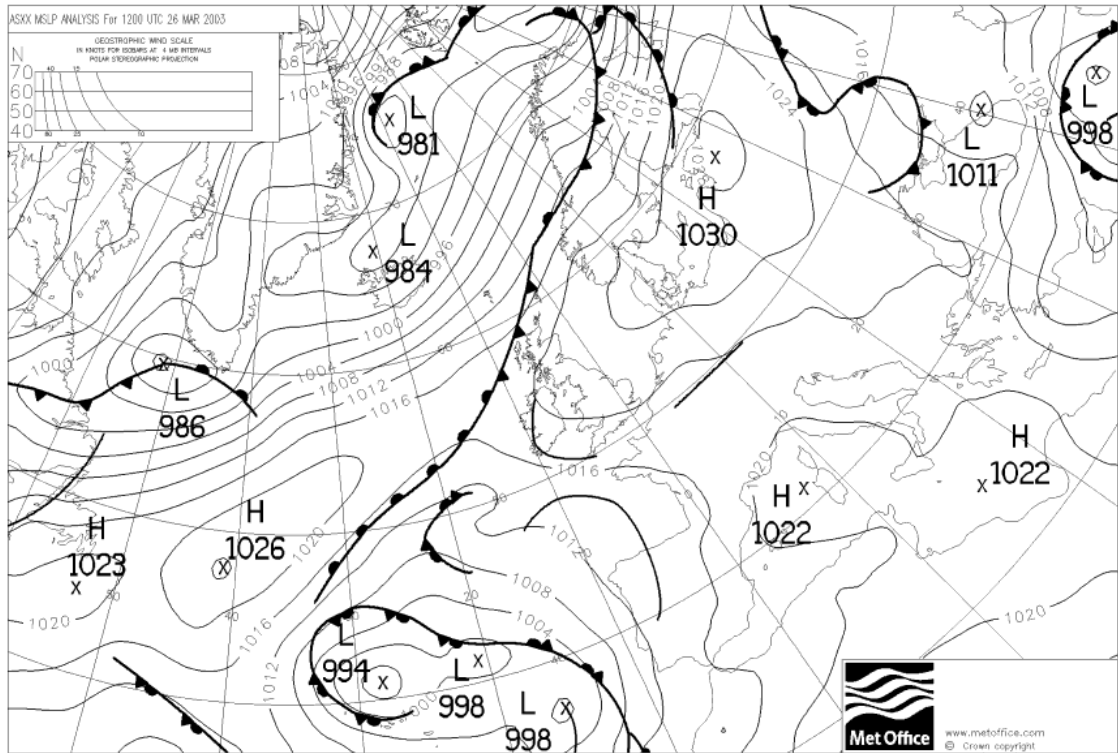
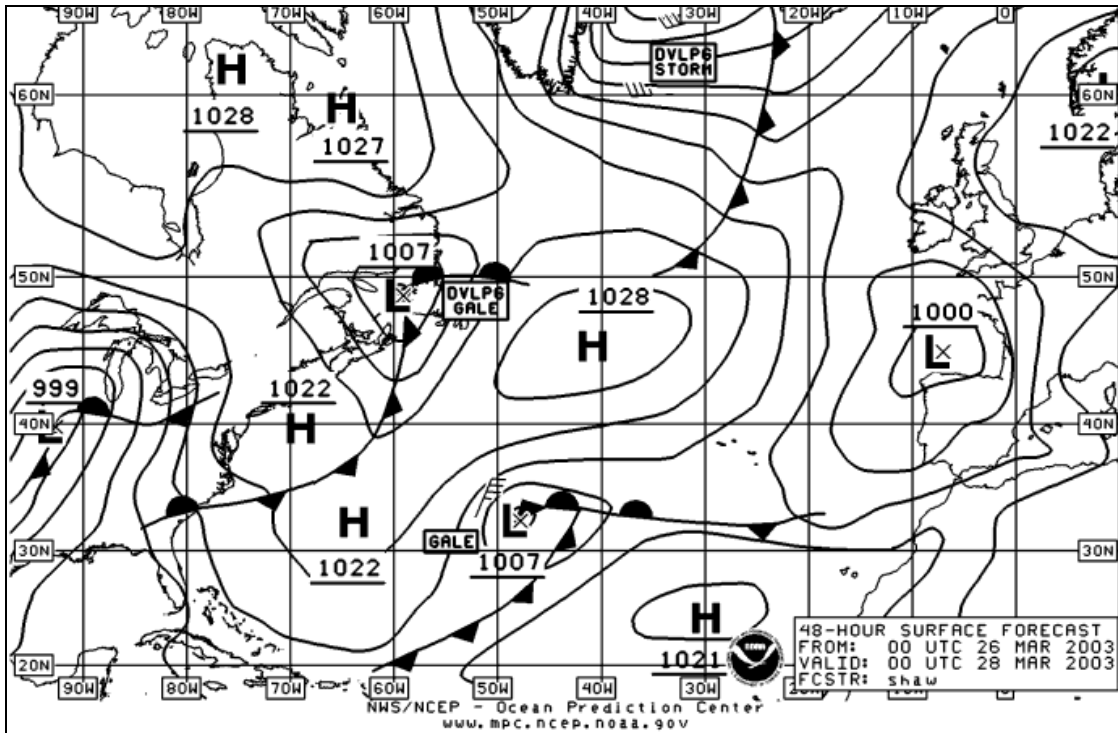


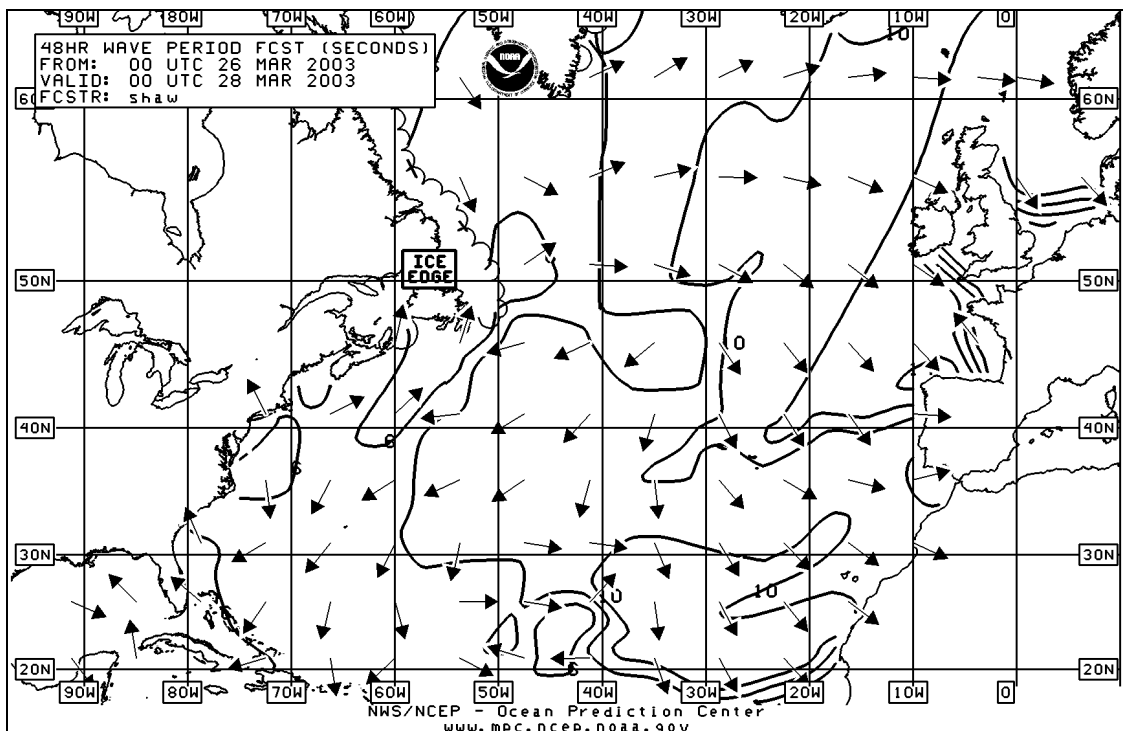
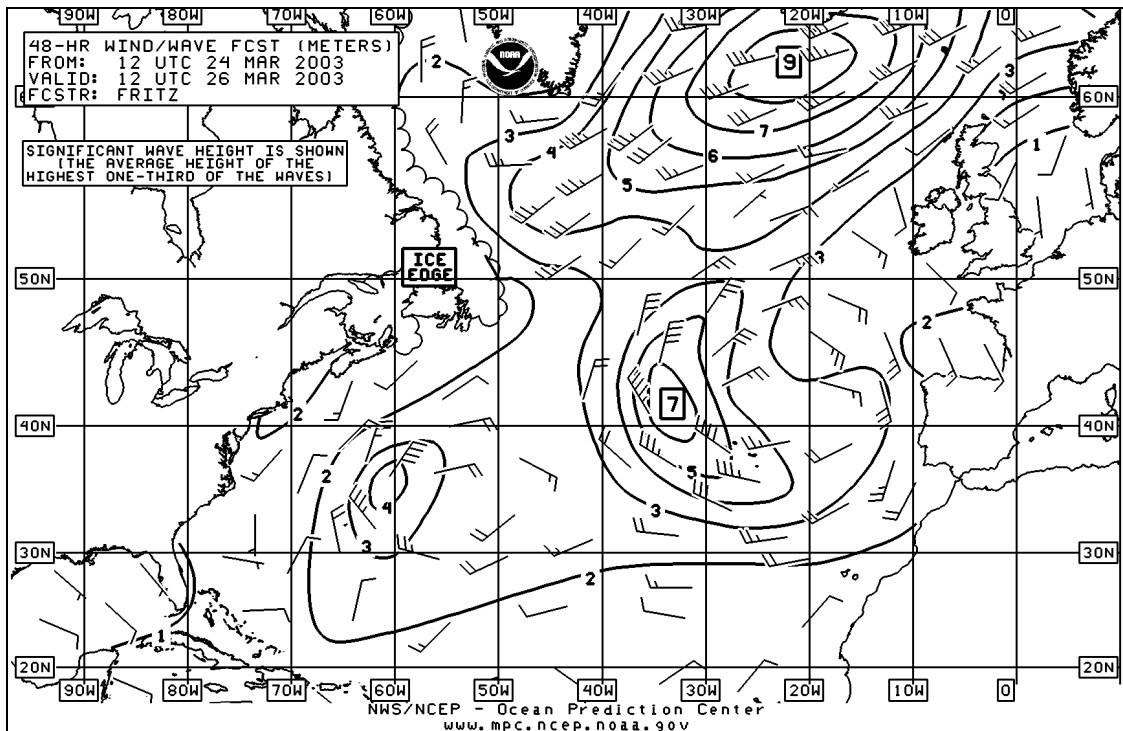




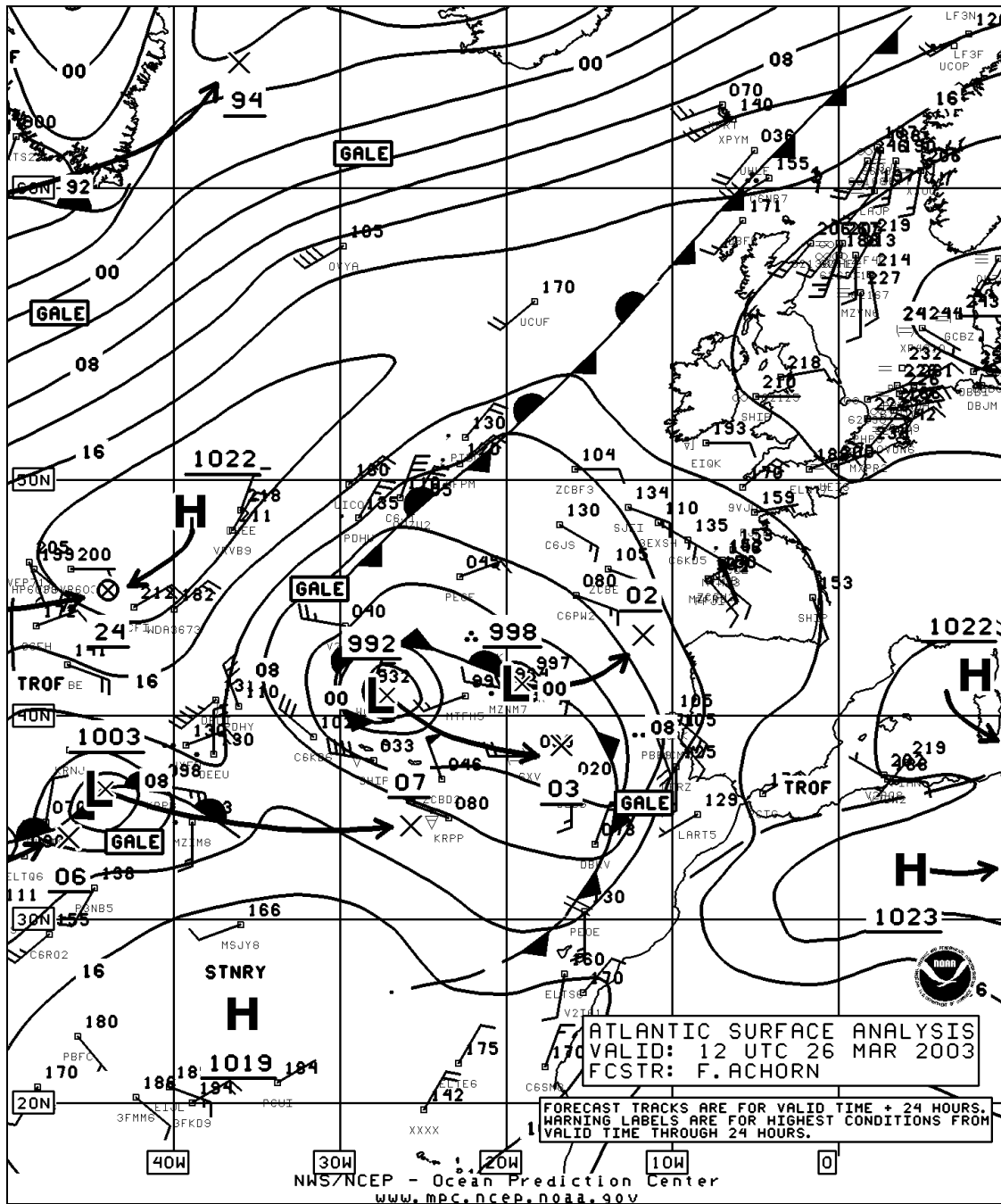
Cartas del día 26 de Marzo del 2003

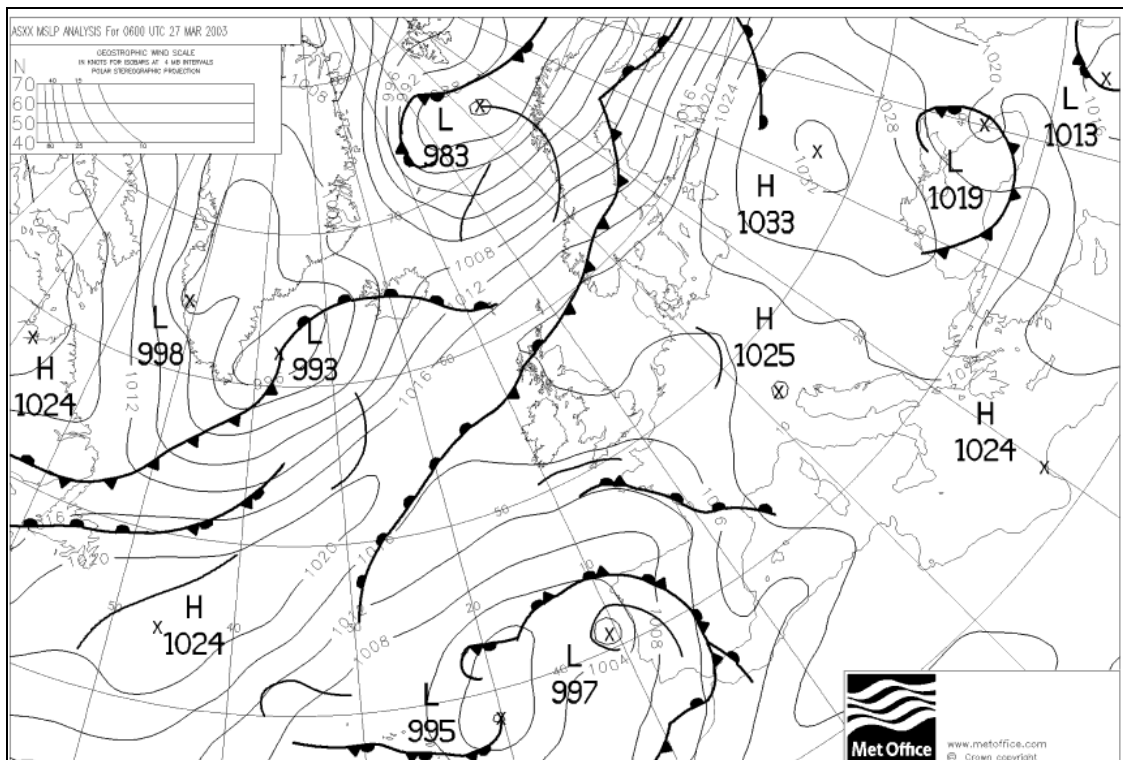
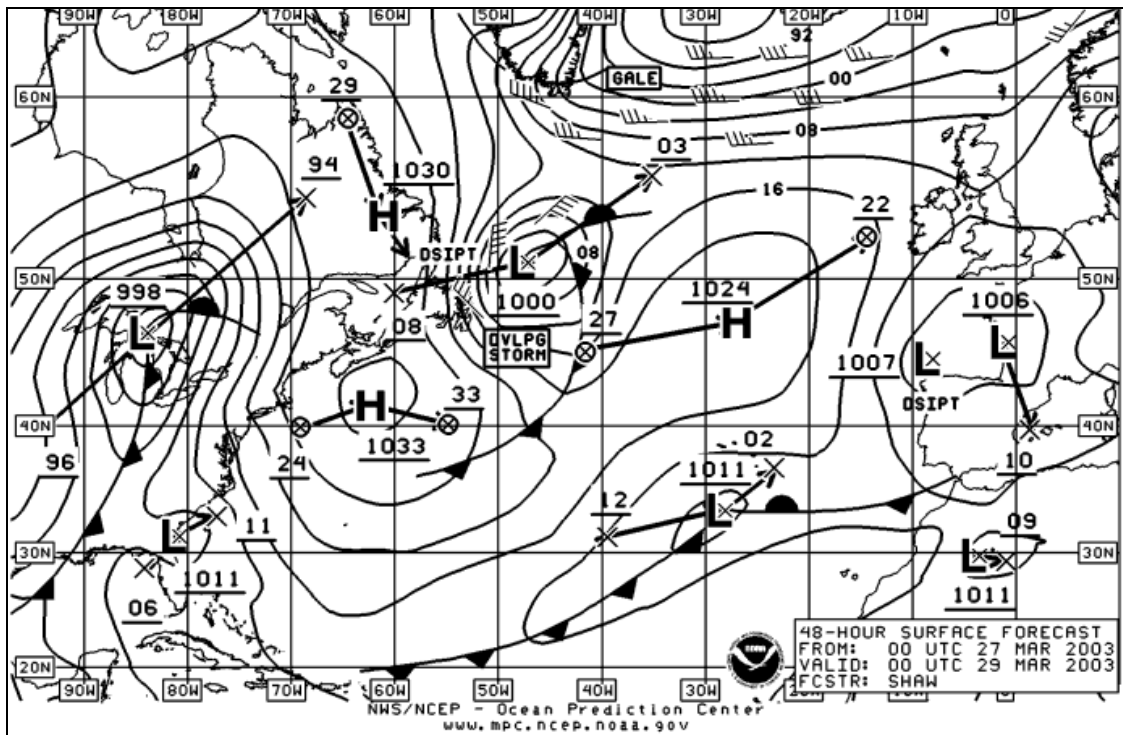


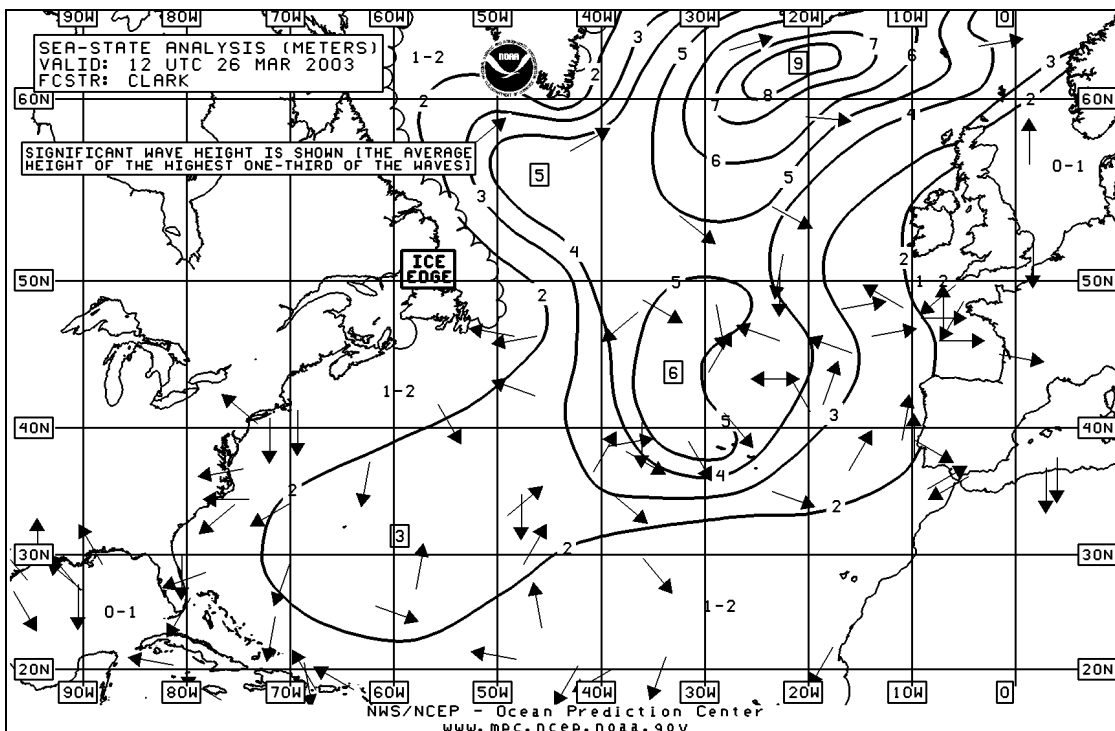
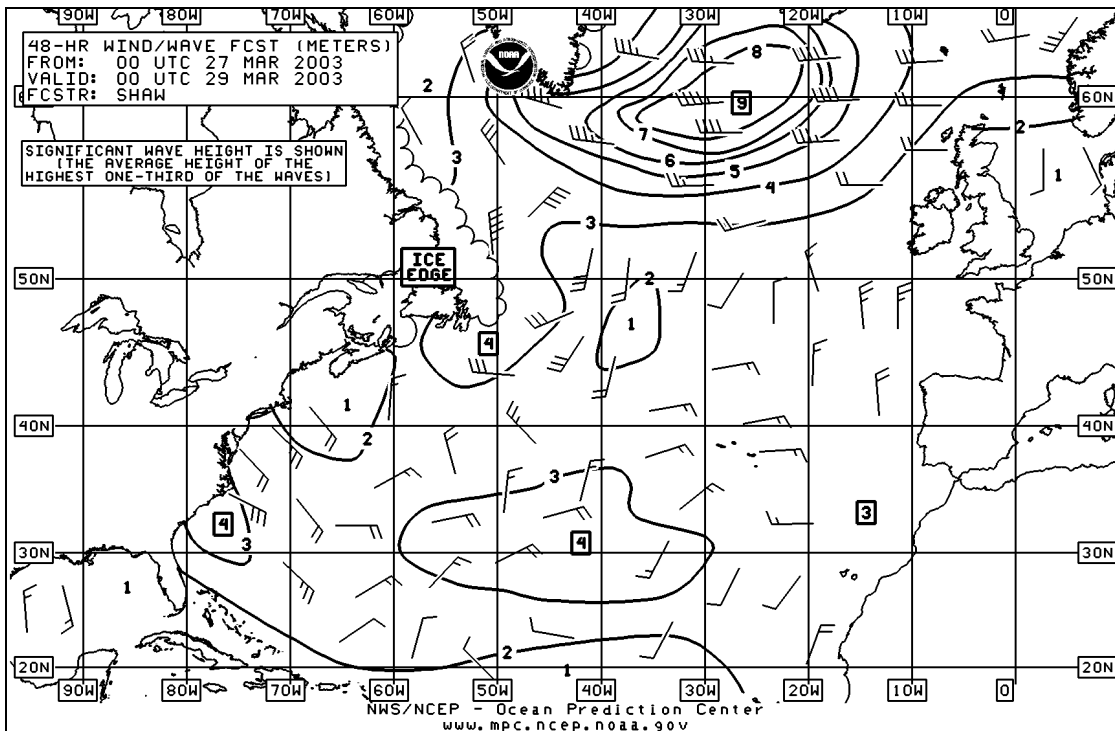




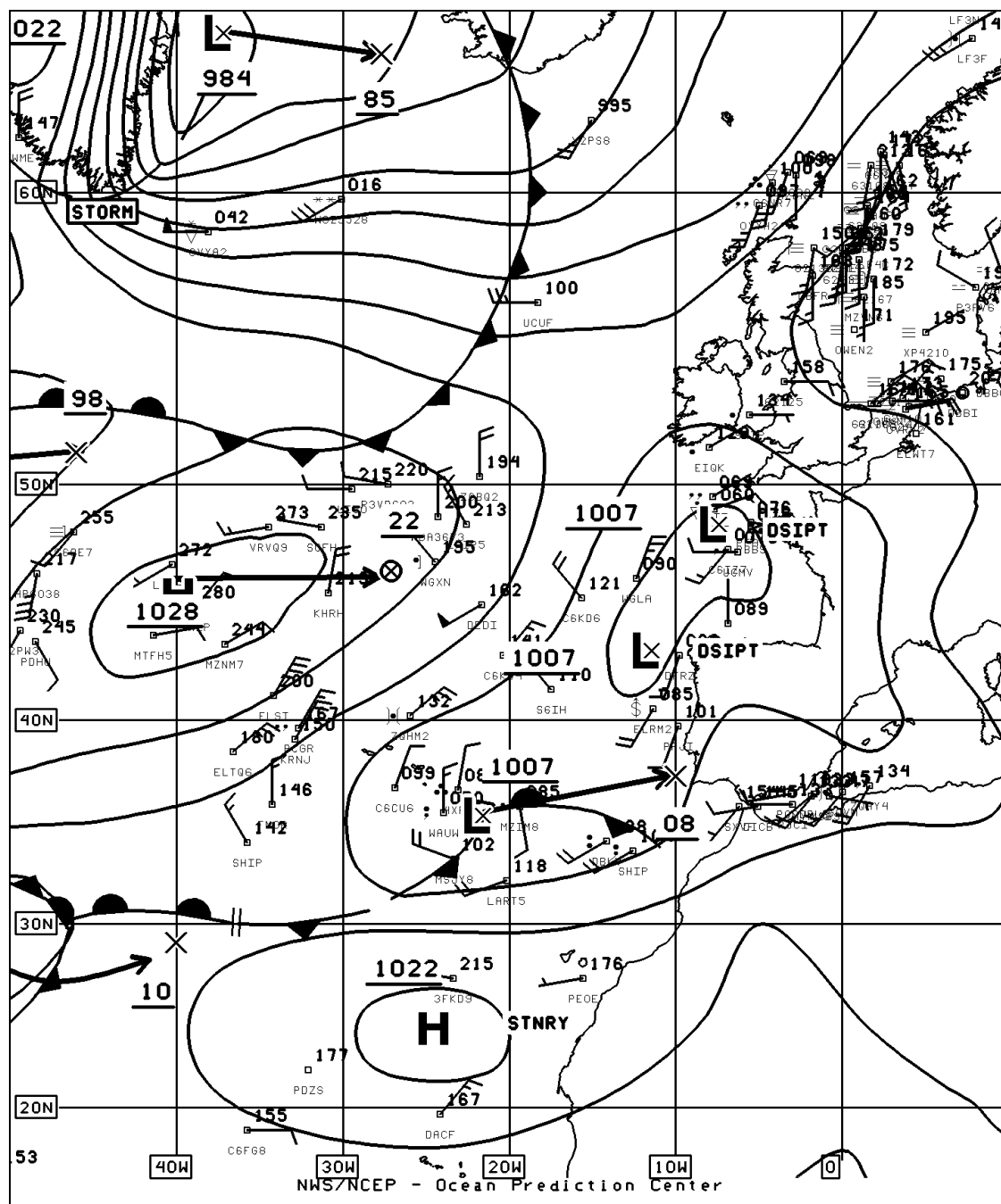
Cartas del día 27 de Marzo del 2003

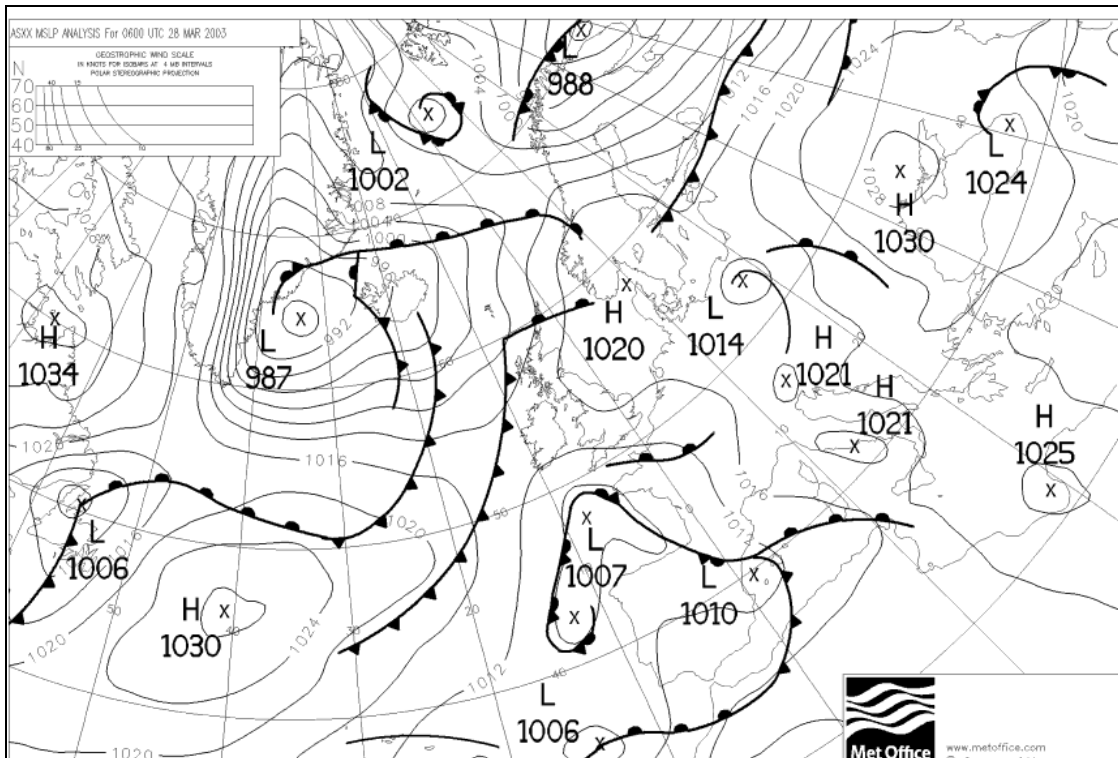
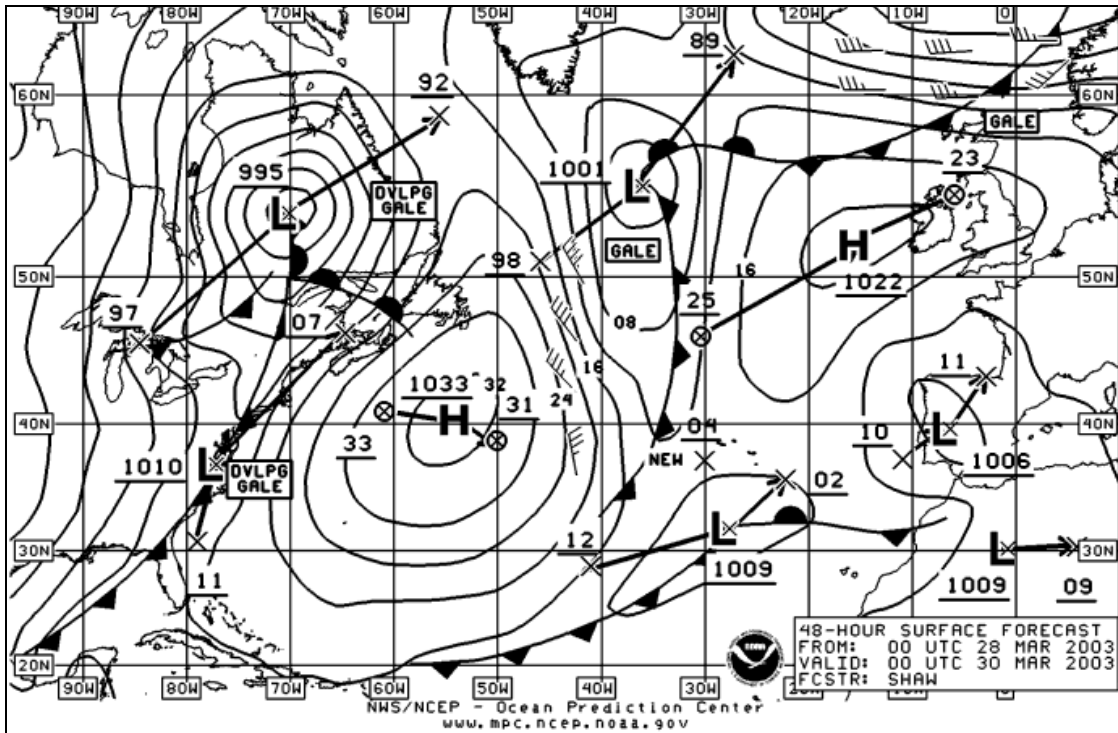


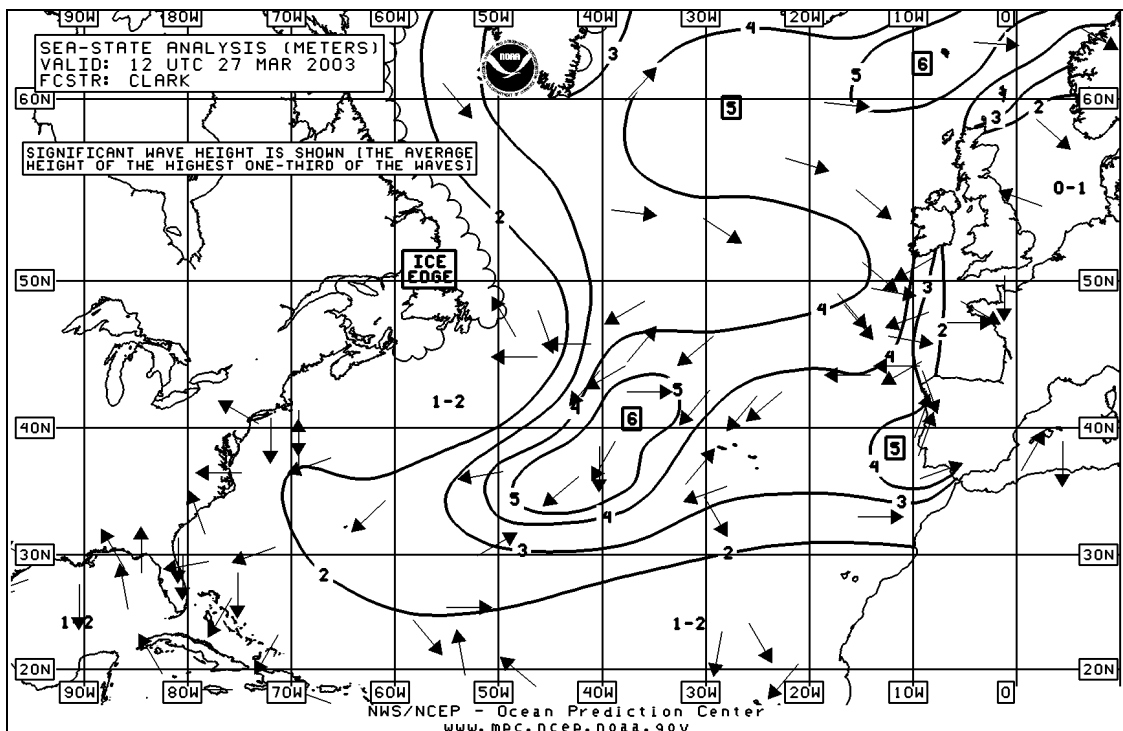
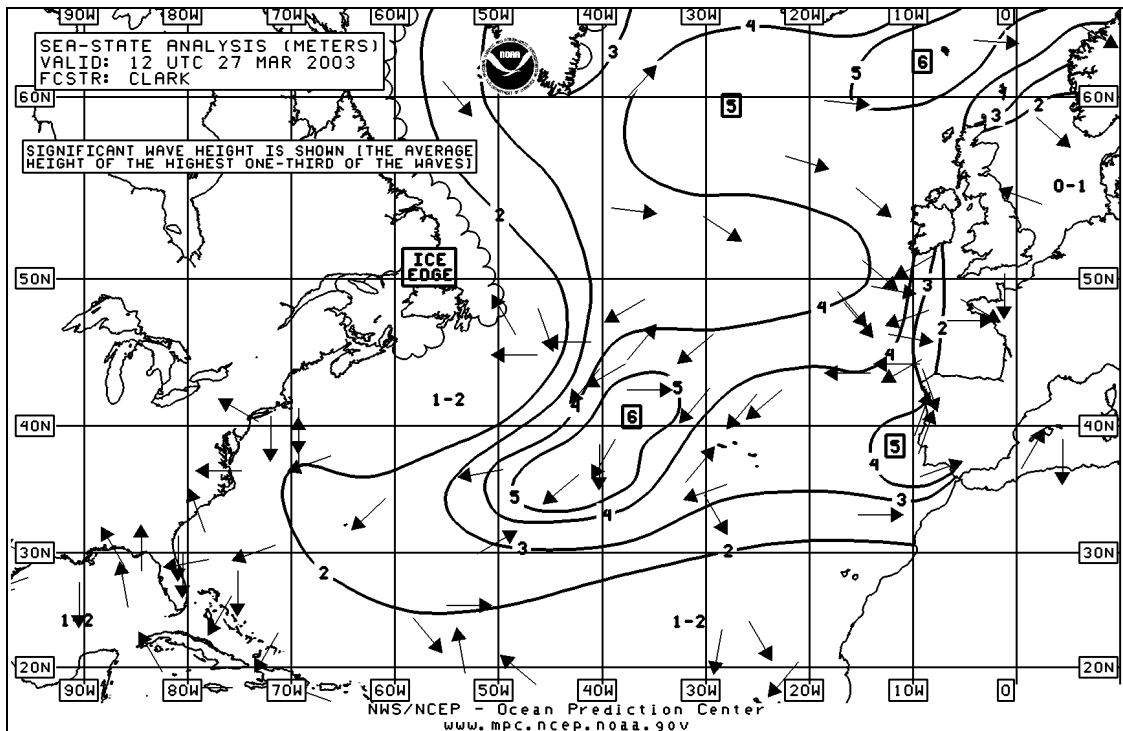




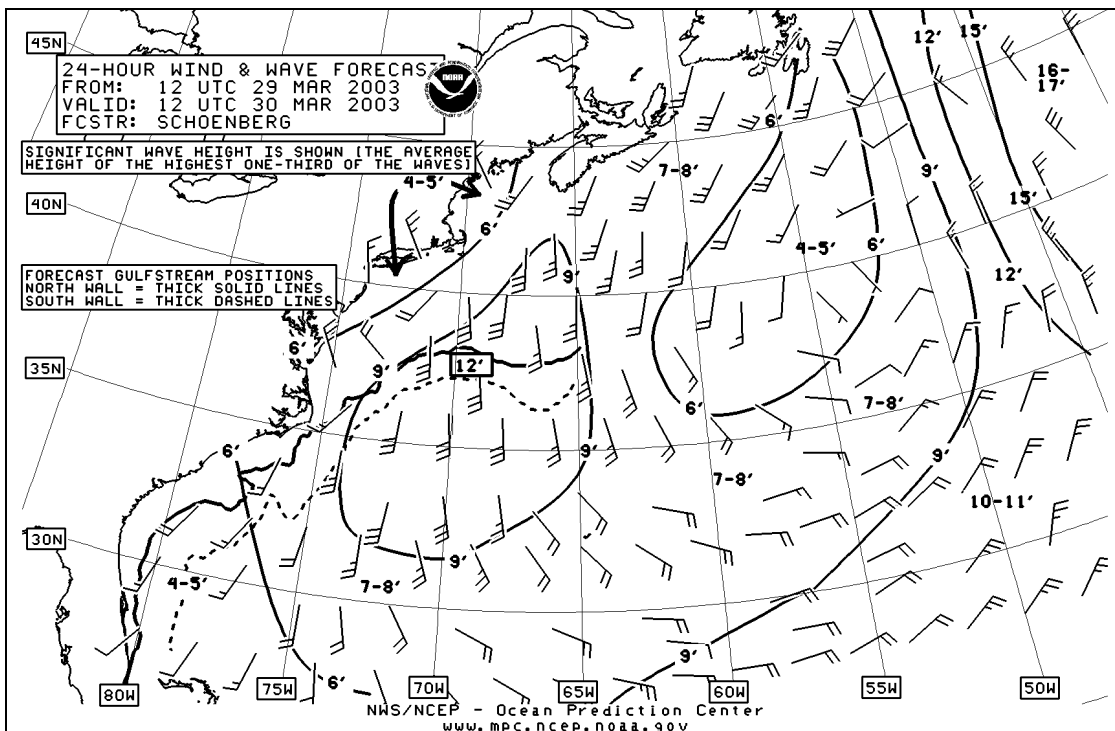
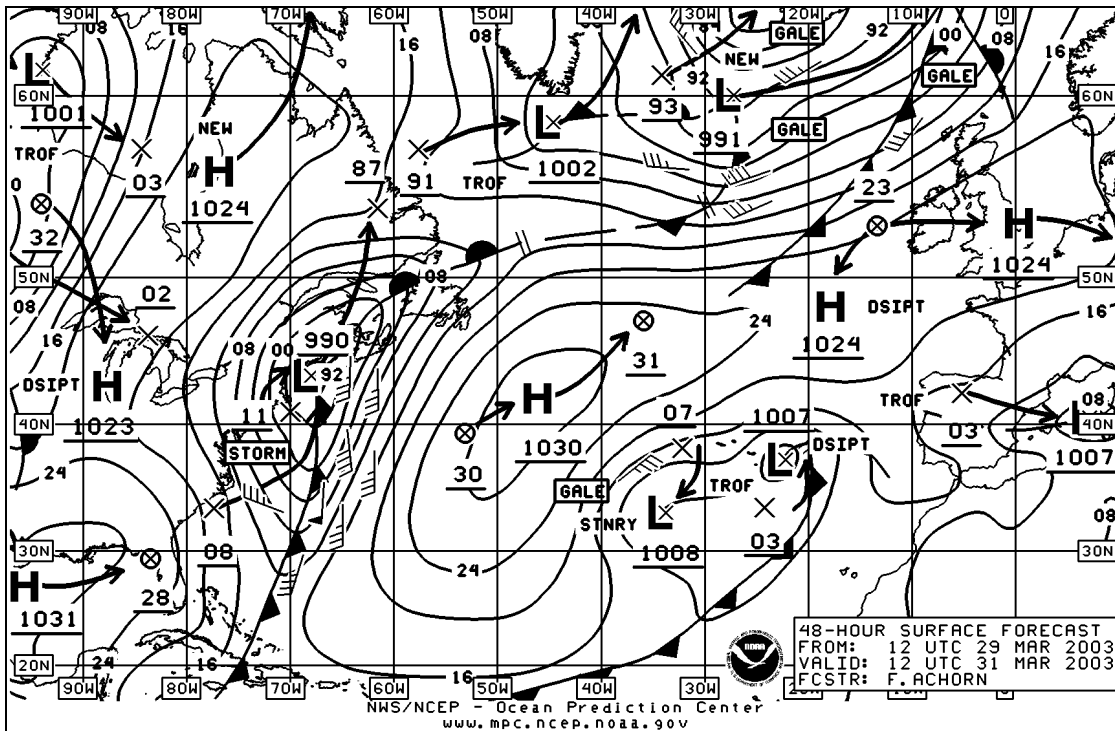
Cartas del día 28 de Marzo del 2003



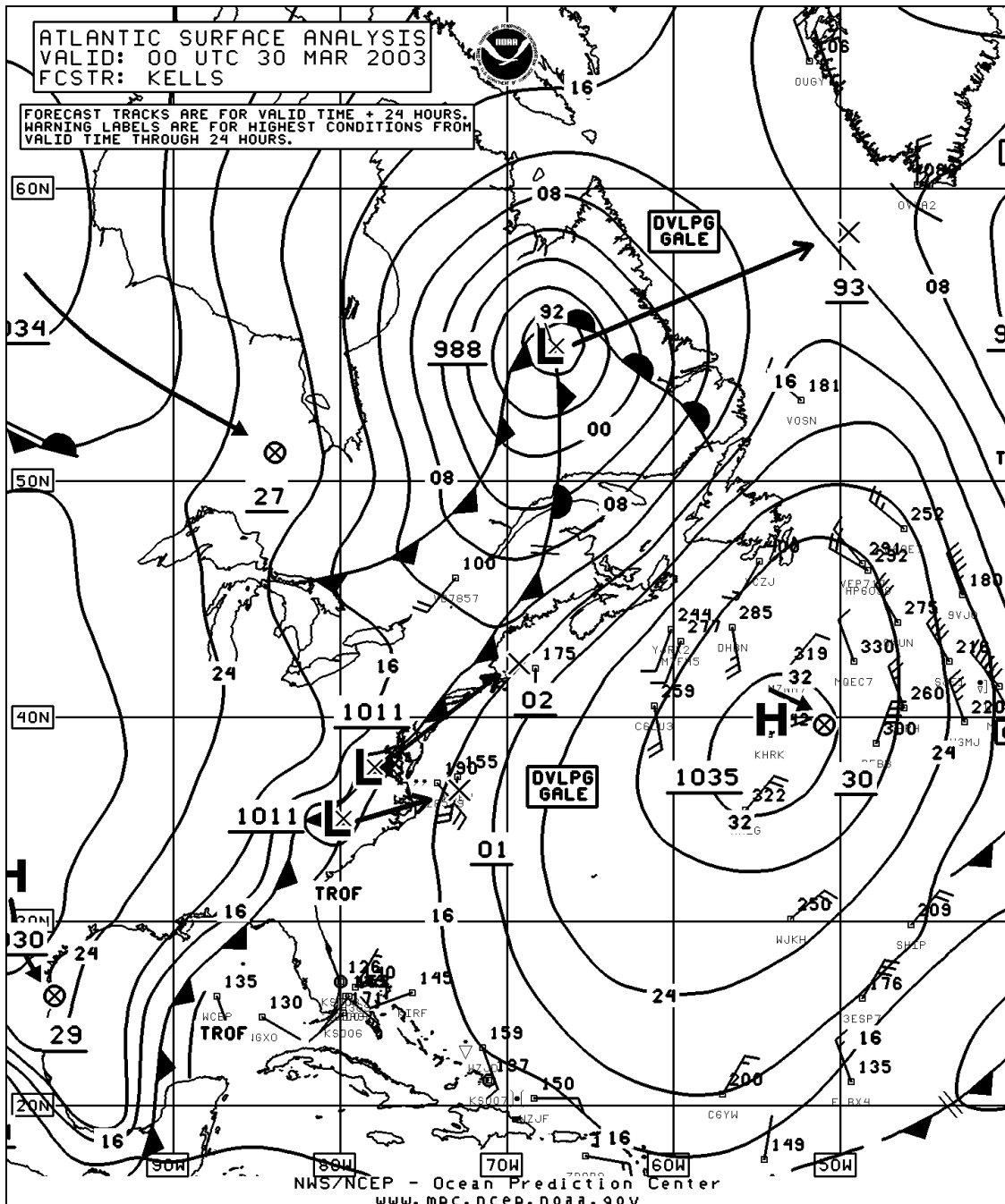


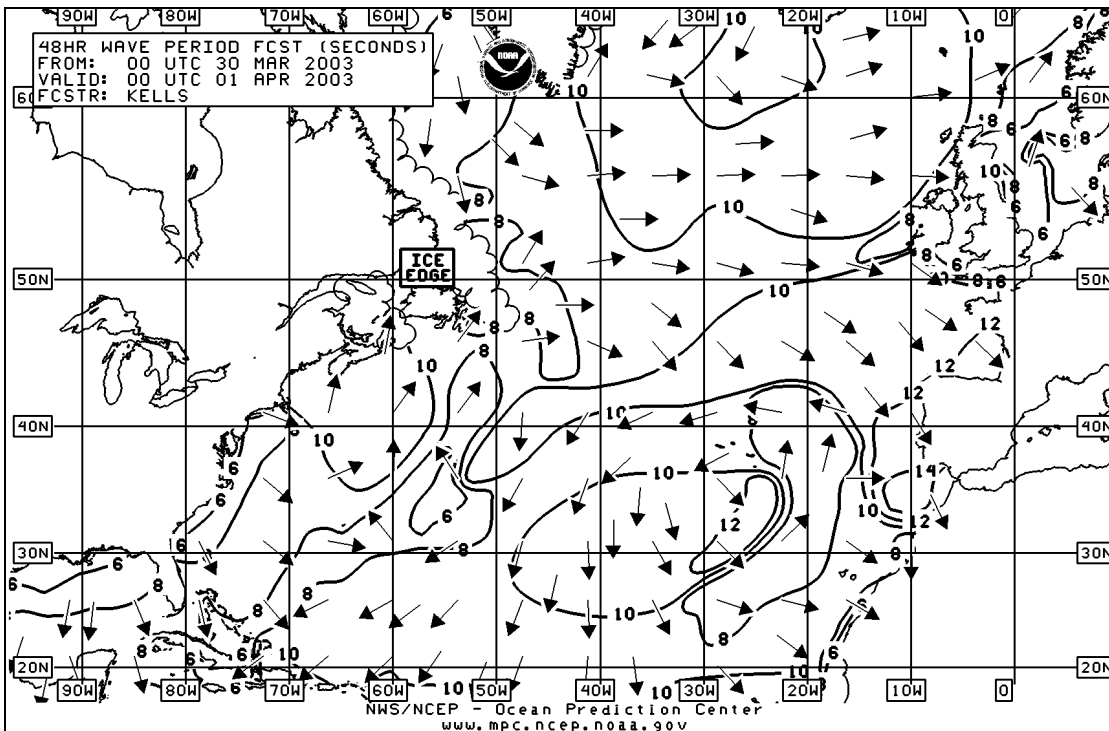
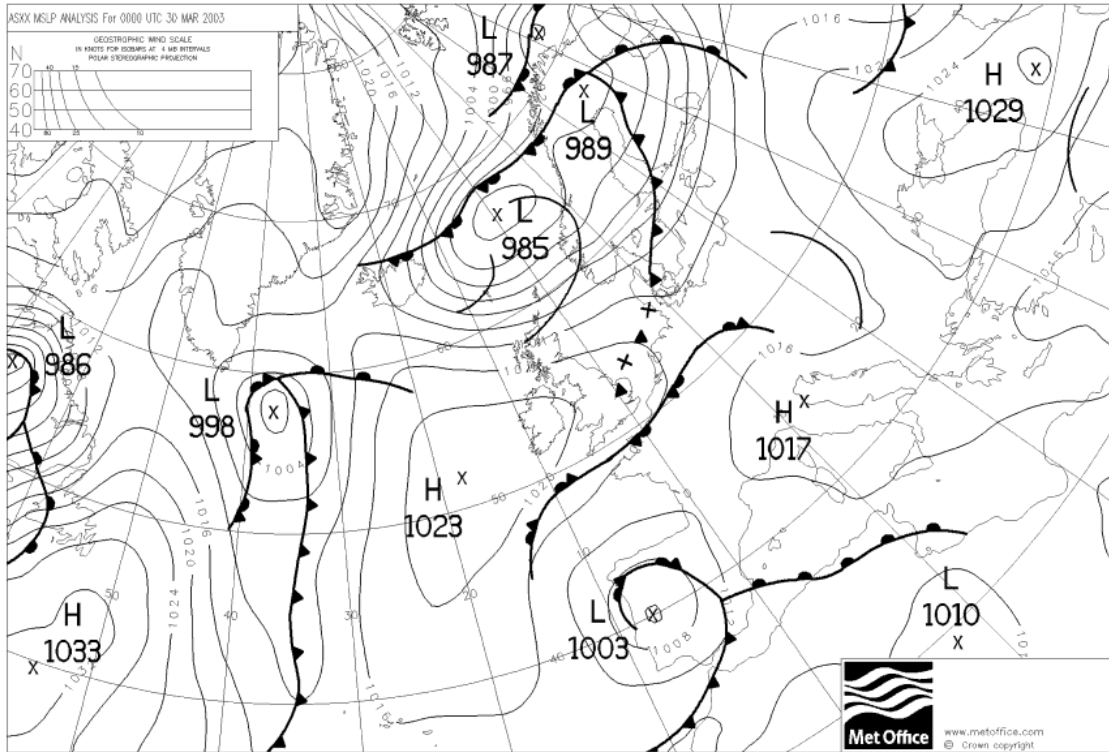


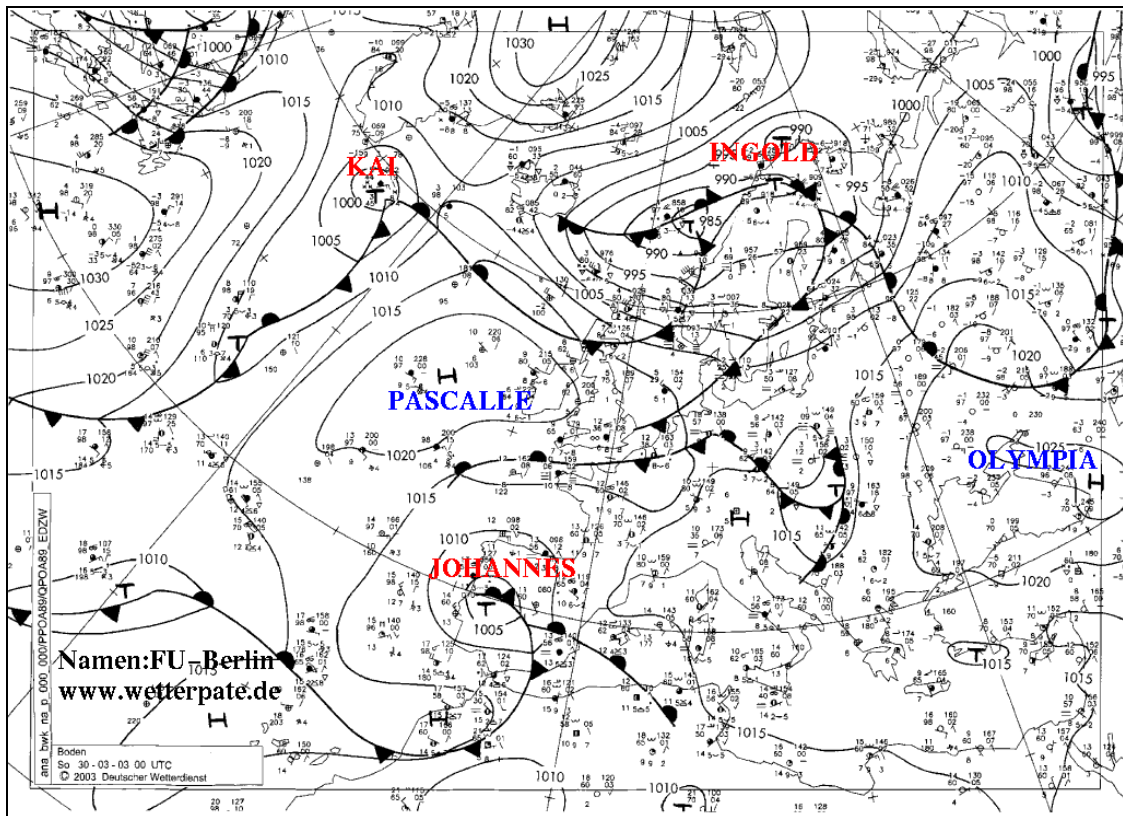
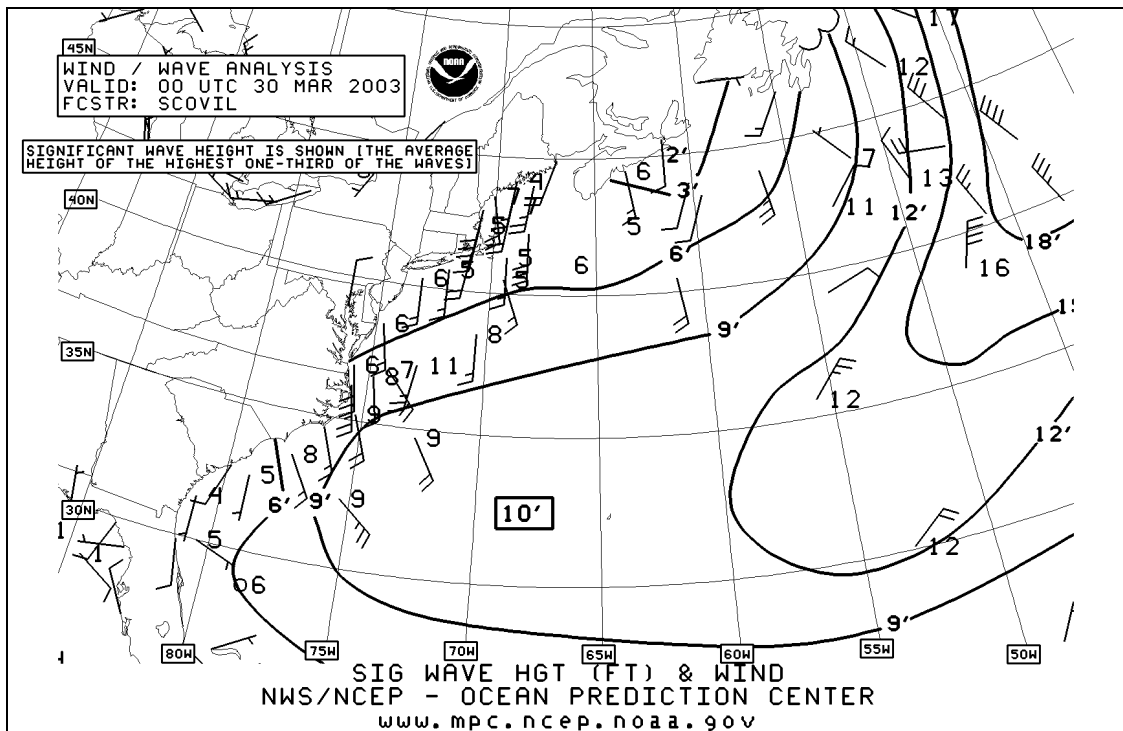
Cartas del día 29 de Marzo del 2003



Cartas del día 30 de Marzo del 2003







Cartas del día 31 de Marzo del 2003

