



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

TRABALLO DE FIN DE GRAO

LOS EFECTOS DE LOS HURACANES EN LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA

GRAO EN NÁUTICA E TRANSPORTE MARÍTIMO
OPERACIÓN NÁUTICA DO BUQUE

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS

FEBREIRO - 2022

AUTOR: VÍCTOR ANTOLÍN AGUAYO

DIRECTOR: MINIA MANTEIGA OUTEIRO

RESUMEN:

Produciéndose la mayor parte de su ciclo evolutivo en el Atlántico Norte, los huracanes son fenómenos capaces de generar condiciones meteorológicas extremas, en muchos casos incompatibles con la seguridad de las vidas humanas en el mar. Con vientos superiores a los 64 nudos, lluvias torrenciales u olas que en ocasiones alcanzan los 100 pies, el principio fundamental para eludir estas condiciones será el correcto conocimiento acerca de estos fenómenos.

Fruto de un continuo estudio a lo largo de décadas, en la actualidad existen numerosos servicios meteorológicos y herramientas que facilitan al marino la toma de decisiones, tanto a la hora de planificar la derrota como durante la navegación.

La planificación de la navegación en áreas donde existe el riesgo de interactuar con un ciclón tropical, como se verá en este trabajo, exige al marino además de un correcto conocimiento sobre estos fenómenos, un seguimiento continuo de las condiciones meteorológicas en todas las etapas de la travesía mediante el uso combinado de productos meteorológicos y las observaciones meteorológicas que confirmen la seguridad del buque y su tripulación en todo momento.

Sin embargo, pese a los avances y la aparición de nuevas técnicas que mejoran la seguridad de la navegación, catástrofes como la del buque SS El Faro durante el Huracán Joaquín en el año 2015, reflejan la gran dificultad de actuar frente a estos fenómenos debido a su carácter impredecible y la necesidad de desarrollar nuevos procedimientos que eviten a los buques exponerse ante estos peligros.

RESUMO:

Producíndose a maior parte do seu ciclo evolutivo no Atlántico Norte, os furacáns son fenómenos capaces de xerar condicións meteorolóxicas extremas, en moitos casos incompatibles coa seguridade das vidas humanas no mar. Con ventos superiores aos 64 nós, choivas torrenciais ou ondas que en ocasións acadan os 100 pés, o principio fundamental para eludir estas condicións será o correcto coñecemento de estes fenómenos.

Froito dun continuo estudo ao longo de décadas, na actualidade existen numerosos servizos meteorolóxicos e ferramentas que facilitan ao mariño a toma de decisión, tanto á hora de planificar a derrota como durante a navegación.

A planificación da navegación en áreas onde existe o risco de interactuar cun ciclón tropical, como se verá neste traballo, exige ao mariño ademais dun correcto coñecemento sobre estes fenómenos, un seguimento continuo das condicións meteorolóxicas en todas as etapas da travesía mediante o uso combinado de produtos meteorolóxicos e as observacións meteorolóxicas que confirmen a seguridade do buque e a súa tripulación en todo o momento.

Con todo, a pesar dos avances e a aparición de novas técnicas que melloran a seguridade da navegación, catástrofes como a do buque SS El Faro durante o furacán Joaquín no ano 2015, reflicten a gran dificultade de actuar fronte a estes fenómenos debido ao seu carácter impredecible e a necesidade de desenvolver novos procedementos que eviten aos buques expoñerse ante estes perigos.

ABSTRACT:

With most of their evolutionary cycle developing in the North Atlantic, hurricanes can produce extreme weather conditions, incompatible in many cases with the safety of human life at sea. With winds exceeding 64 knots, torrential rain and waves that can reach up to 100 feet, the main principle to avoid these conditions will be an adequate knowledge of these phenomena.

As a result of continuous study over decades, there are currently numerous meteorological services and tools that facilitate decision-making for the seafarer, both when planning the route and during navigation.

The planning of navigation in areas where there is a risk of interacting with a tropical cyclone, as it will be seen in this work, requires the seafarer, in addition to a proper knowledge of these phenomena, a continuous monitoring of meteorological conditions in all stages of the voyage through the combined use of meteorological products and meteorological observations that confirm the safety of the ship and its crew at all times. However, despite advances and the development of new techniques that improve navigation safety, disasters such as that of the ship SS El Faro during Hurricane Joaquín in 2015, reveal the great difficulty of acting against these phenomena due to its unpredictability and the need to develop new procedures that prevent ships from being exposed to these dangers.

ÍNDICE

OBJETO.....	6
1. EL HURACÁN	7
1.1. ¿Qué es un Huracán?	7
1.2. Formación de un Huracán	8
1.3. Estructura del Huracán	10
1.4. Trayectorias y ciclo evolutivo de los huracanes	11
1.5. Efectos sobre la navegación	13
2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA A BORDO.....	17
2.1. Los productos meteorológicos	17
2.1.1. Productos de texto	18
2.1.2. Productos gráficos	22
2.1.3. Productos provenientes de compañías privadas.....	26
2.2. Interpretación de los productos meteorológicos.....	26
2.2.1. Efecto de los vientos a diferentes alturas en la Troposfera	27
2.2.2. Análisis de la derrota del huracán Joaquín	28
2.3. El margen de error asociado a las predicciones	29
2.4. Observación del tiempo a bordo	30
2.5. Voluntary Observing Ship (VOS).....	34
2.6. Obligación de un buque a emitir mensajes de peligro	34
3. GESTIÓN DE LA DERROTA	36
3.1. Navegación Climatológica, Sinóptica y Meteorológica.....	36
3.2. Análisis de riesgos.....	37
3.2.1. Trayectorias comunes de huracanes	37
3.2.2. Previsión de la trayectoria del huracán	38
3.2.3. Estudio de la trayectoria del huracán respecto a la derrota del buque	40
3.2.4. Evaluación de las diferentes opciones	41
3.3. Toma de decisiones: buque en puerto	42
3.4. Toma de decisiones: buque en navegación	45
4. CASO PRÁCTICO: SS EL FARO.....	48
4.1. Introducción al caso.....	48
4.1.1. El barco.....	48
4.1.2. Tripulación	49
4.1.3. Derrota del buque SS Faro los días del accidente.....	50
4.1.4. Huracán Joaquín e información recibida a bordo.....	52
4.1.5. Observaciones meteorológicas a bordo	54
4.2. Toma de decisiones	55
4.3. Conclusiones del caso	65

CONCLUSIÓN	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68
DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	71
ÍNDICE DE FIGURAS.....	73
ÍNDICE DE TABLAS	75
ANEXOS.....	76

OBJETO

Convirtiéndose el año 2020 en el periodo con más ciclones tropicales de la historia, nuevos estudios predicen un aumento no solo en la destructividad de estos fenómenos sino en su carácter impredecible, impactando en regiones nunca antes vistas, como fue el caso de la tormenta subtropical Alpha que se convirtió en la primera de la historia en tocar tierra en Portugal.

Dado el grave peligro que causan estos fenómenos en la navegación marítima, este trabajo estudiará dichos riesgos, dividiendo su contenido en diferentes partes, comenzando por la naturaleza de los ciclones tropicales, explicando su origen, ciclo evolutivo o sus características principales. Conocidas las características más importantes de los huracanes, se expondrán las principales fuentes de información con las que cuenta el marino y su medio de difusión, al igual que las técnicas para conseguir una correcta observación meteorológica a bordo.

Una vez explicadas las particularidades de los ciclones tropicales y las herramientas que avisan de la posible presencia de estos, se procederá a explicar el modo en el que se aplican estos conocimientos en el momento de planificar la derrota, durante la navegación o a la hora de realizar una maniobra de evasión, cuando el buque se encuentra dentro del cuerpo del ciclón.

Para finalizar el trabajo, se analizará el accidente del buque SS El Faro. Los datos publicados en la investigación y los productos emitidos durante su travesía de Jacksonville a San Juan permitirán analizar las decisiones tomadas que desencadenaron en el peligroso acercamiento del huracán Joaquín, y el posterior hundimiento del buque. Por todo ello, aplicando de modo práctico sobre un caso real la teoría anteriormente desarrollada, este trabajo busca manifestar una realidad cada vez más presente para el marino: ***los ciclones tropicales conllevan graves peligros para la seguridad de las vidas humanas en el mar, exigiendo una formación amplia y actualizada para minimizar los riesgos.***

1. EL HURACÁN

Será de gran ayuda a la hora de tomar decisiones durante la navegación o elaboración de la derrota que el marino conozca correctamente el fenómeno al que se enfrenta. De este modo se abordará el huracán conociendo las áreas donde se originan, las claves para su formación, su estructura y su comportamiento una vez formado, sin excluir el conocimiento acerca de sus consecuencias devastadoras.

1.1. ¿Qué es un Huracán?

Se habla de Huracán para referirse a un ciclón tropical, siendo este un fenómeno formado en océanos tropicales, caracterizado por vientos de circulación cerrada alrededor de un núcleo cálido. Dependiendo del ámbito geográfico se utilizan también otros términos como el de tifón (costas de Filipinas) o willy-willies (en Australia).

Ocasionalmente se generaliza el término ciclón tropical, mencionándolo con independencia de la intensidad de sus vientos, para ello la Organización Meteorológica Mundial (OMM) elabora la siguiente clasificación:

- Depresión tropical: vientos sostenidos iguales o menores a 34 nudos.
- Tormenta tropical: vientos sostenidos entre los 34 y 63 nudos.
- Huracán: vientos sostenidos iguales o superiores a 64 nudos.

Sin embargo, el término Huracán también aporta una información distintiva acerca del área geográfica donde tiene lugar. Por todo ello, los huracanes son aquellos fenómenos con vientos en forma de espiral superiores a 64 nudos formados en el Atlántico en latitudes comprendidas entre los 5º y 10º norte. Otras regiones tropicales son regiones manantial de este fenómeno, pero nos concentraremos en los que tienen lugar en la cuenca atlántica.

Una vez formados los huracanes completarán un ciclo, pasando por diferentes fases, hasta su disipación. Debido a las características devastadoras de estos fenómenos y el gran riesgo que suponen a las vidas humanas, especialmente en el mar, serán fruto de un intenso estudio y seguimiento desde su origen.

1.2. Formación de un Huracán

Los huracanes se generan en el cinturón de bajas presiones (ITCZ) en la zona ecuatorial, sin embargo, será en la zona oriental de África donde se formen la mayor parte de huracanes¹ del Atlántico Norte. Ayudados por las características geográficas de Etiopía se generan zonas de bajas presiones, conocidas como Ondas del Este. La irrupción de bajas presiones en la costa africana será un factor de gran relevancia en la generación de huracanes, de este modo numerosos productos meteorológicos para el pronóstico de huracanes enfocarán su interés en esta región, no obstante, no completarán su formación sin la existencia de determinadas condiciones.

Condiciones necesarias para la formación de un huracán:

1. Perturbaciones preexistentes con tormentas: la existencia de ondas pueden ocasionar que los vientos superficiales diverjan, produciéndose generalmente buen tiempo. Sin embargo, cuando estos convergen originan un ascenso del aire ocasionando nubes de desarrollo vertical que transportan gran cantidad de aire cálido a niveles altos de la atmósfera, facilitando la formación de futuros ciclones tropicales.
2. Humedad en las capas medias de la troposfera: para que se mantenga la formación de nubes de desarrollo vertical es necesario un gran aporte de humedad, por contra, condiciones de aire seco en las capas medias, impiden que el ciclón llegue a desarrollarse.
3. Condiciones de viento favorables: siendo vital que la columna de aire cálido ascendente no sea perturbada por corrientes de aire en niveles altos de la atmósfera. De producirse episodios de cizalladura, la columna podría llegar a sufrir una inclinación que le impediría seguir incrementando la intensidad del ciclón, produciendo una debilitación paulatina hasta disiparse.
4. Latitud de formación superior a 5º norte: donde la fuerza de Coriolis proporcione la suficiente aceleración para causar un giro antihorario en el sistema.

¹ Según Eric J. Holweg más del 75 % de los ciclones tropicales formados en el Océano Atlántico se originan partir de las Ondas del este.

5. Presencia de aguas cálidas: con una temperatura superior a 26°C en los primeros 60 metros de profundidad, facilitando un ascenso del aire caliente y húmedo en el vórtice, que al condensar libera calor latente y se convierte en la fuente de energía que alimenta al ciclón. Por este motivo las corrientes oceánicas cálidas o los remolinos cálidos tendrán una gran importancia en la creación, consolidación o la intensificación de los ciclones que se sitúen en estas aguas. En la Figura 1.2.1. se aprecia la región con temperaturas superficiales superiores a los 26°C durante la temporada de huracanes 2020, año especialmente activo.

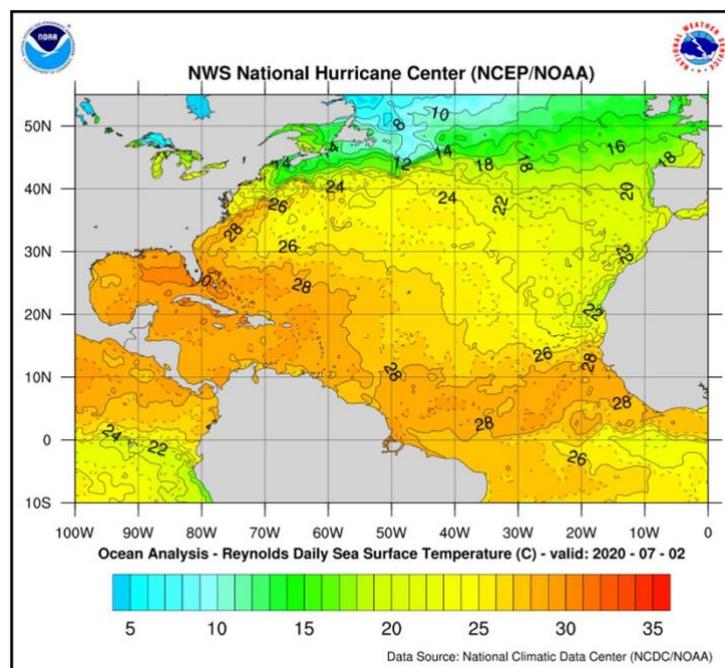


Figura 1.2.1. Temperatura superficial del Océano Atlántico en julio de 2020 . Fuente: <https://www.nhc.noaa.gov/sst/>

6. Vientos en las capas superiores que extraigan el aire del núcleo, es decir, corrientes divergentes en altura, que actúan como centros de succión, reactivando de forma continua el flujo convergente de aire cálido y húmedo en las capas bajas. En el caso de que no se extrajera el aire del núcleo en las cotas superiores el ciclón se debilitaría hasta desaparecer.

No es competencia del marino ni la realización de observaciones de este tipo ni el análisis detallado de las mismas, pero sí comprender su importancia e interpretar los productos meteorológicos desarrollados en el [Tema 2](#). La recepción de dichos productos

no elude el deber de conocer la importancia de estos factores y contribuir en la medida de lo posible a la toma de datos meteorológicos en ruta que ratifiquen la información recibida.

1.3. Estructura del Huracán

Un correcto conocimiento de la configuración y las posibles dimensiones del huracán es de gran ayuda a la hora de planificar una derrota segura que proporcione un margen lo suficientemente amplio sobre este. A su vez, en el caso de interactuar con él durante la navegación, será determinante reconocer la posición respecto al fenómeno para poder seguir el rumbo más seguro que aleje al buque del peligro.

Características de la estructura de un Huracán:

- El ojo del huracán (Eye): característica inequívoca de este fenómeno en las imágenes satelitales. Este puede contar con un ancho de 4 a 40 millas náuticas (nm), localizándose en él la menor presión del sistema. Relativamente en calma y con mar confusa, está rodeado por nubes que giran y que se extienden desde la base hasta las cotas más altas del ciclón, en el límite de la Tropopausa. Dado que se ubica en el centro (*Figura 1.3.1.*) es fundamental reconocer el ojo, en caso contrario el buque podría correr el riesgo de tomar un rumbo equivocado hacia la parte más peligrosa del huracán.
- La pared del ojo (Eyewall): con un ancho de entre 10 y 15 nm. Al contrario que en el ojo, en la pared soplan los vientos más fuertes del huracán y decrecen a medida que el buque se aleja de esta región. Este principio es considerado el pilar fundamental de todas las posibles medidas que se pueden llevar a cabo para reducir el riesgo durante la navegación.
- Bandas de lluvias: (*Rainbands*) pueden abarcar grandes áreas desde el ojo, que dependen de cada huracán en particular. Por ejemplo, en 1988 durante el recorrido del Huracán Gilbert, se determinó que cubrían un área cercana a las 500 millas náuticas.

Con forma de espiral y movimiento antihorario, las bandas de lluvias son la región del huracán donde hay menor visibilidad y precipitaciones más intensas, especialmente en su centro donde se alcanzan valores superiores a los 250 mm en una hora.

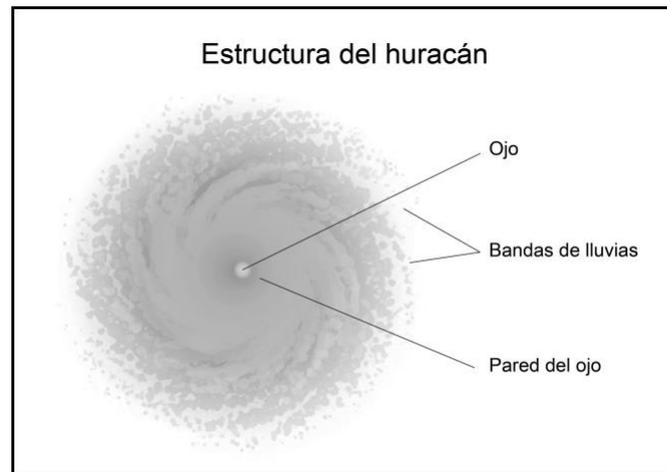


Figura 1.3.1. Estructura de un Huracán. Fuente: original del autor.

Entendidos los detalles fundamentales, tanto en la generación de este fenómeno como su configuración, cumple conocer las diferentes fases desde su origen, así como las áreas del Atlántico donde es frecuente su desarrollo.

1.4. Trayectorias y ciclo evolutivo de los huracanes

La toma de datos a lo largo de años ha permitido elaborar mapas con las trayectorias más comunes dependiendo de la época del año, siendo durante la temporada de huracanes (junio-noviembre) el mes de septiembre el periodo de mayor actividad ciclónica y noviembre el de menor (Figura 1.4.1.).

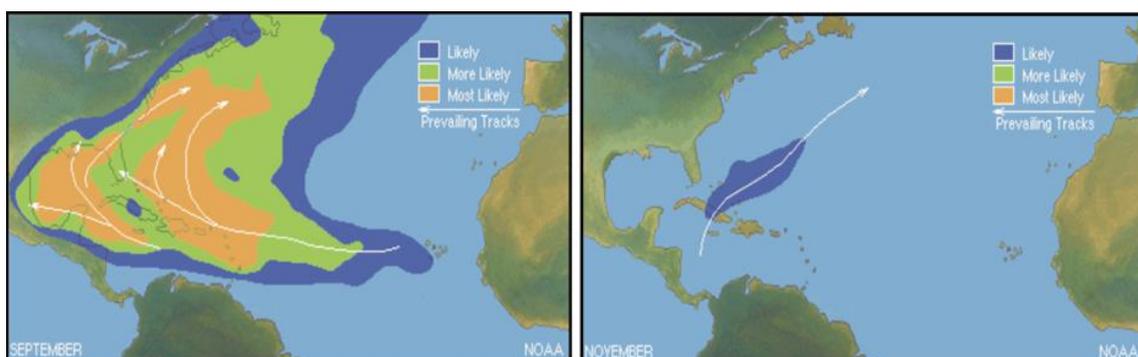


Figura 1.4.1. Trayectorias más comunes en septiembre y noviembre. Fuente:

<https://www.nhc.noaa.gov/climo/>

A su vez, a partir de estos datos se elaborarán publicaciones náuticas, introducidas en el [Tema 3](#), de gran importancia para la elaboración de la derrota, como son las Pilots Charts

publicadas por la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial estadounidense, conocida por sus siglas en inglés NGA y las Routeing Charts publicadas por el Almirantazgo Británico (Admiralty).

Formados en latitudes próximas a los 5º/10º norte, una vez desarrollados, los vientos alisios desplazan a estos fenómenos hacia el oeste, ligeramente paralelos al ecuador. El movimiento de rotación de la tierra proporciona una aceleración que desplaza al ciclón hacia el norte, donde la interacción con posibles sistemas de altas presiones condicionarán sus posibles trayectorias.

Durante su trayectoria el fenómeno completará su ciclo evolutivo, estructurándose este en las siguientes fases; Formación, Madurez y finalmente Decadencia:

- **Formación:** las perturbaciones que provocan la confluencia de vientos alisios en el cinturón de bajas presiones próximo al Ecuador pueden favorecer la formación de una Depresión Tropical, produciéndose una continua bajada en su presión central y un incremento de sus vientos sostenidos. Este sistema de bajas presiones puede evolucionar a Tormenta Tropical y finalmente, cuando los vientos exceden los 64 nudos, adquirir la condición de Huracán.
- **Madurez:** el ciclón alcanza su mínimo de presión y una estructura prácticamente circular con el ojo de la tormenta en su centro. En esta etapa se desarrollan los efectos más severos, con vientos superiores a los 64 nudos y olas que pueden superar los 14 metros.

Será de gran importancia considerar a la hora de maniobrar un buque en las cercanías de un huracán, que estos pueden alcanzar velocidades en su desplazamiento que oscilan entre los 13 y 17 nudos (Kt), pudiendo incrementar hasta los 50 durante el movimiento de recurva.

- **Decadencia:** una vez alcanzado los vientos más fuertes, si no continúan las condiciones óptimas para su mantenimiento, la presión comienza a crecer hasta convertirse el sistema en una depresión de latitudes medias. De adentrarse el huracán en tierra, este comenzará a debilitarse debido a la ausencia de aire húmedo y cálido, lo que también ocurrirá cuando describa una trayectoria hacia el norte.

Estos sistemas en decadencia, pese a su debilitamiento, pueden tener efectos igualmente peligrosos ya que pueden alcanzar fuerzas equivalentes a las de una tormenta tropical, comprometiendo de igual modo la seguridad de la navegación.

1.5. Efectos sobre la navegación

- El viento

Los huracanes generan vientos con diferentes intensidades, todos ellos con fuerzas superiores a los 64 nudos, ocasionando grandes riesgos a la navegación. Con el fin de clasificar las posibles intensidades que se pueden alcanzar durante el ciclo de vida de un huracán nace la escala Saffir-Simpson (Tabla 1.5.1.).

Categoría	Vientos sostenidos (nudos)
1	64-82
2	83-95
3 (mayor)	96-112
4 (mayor)	113-136
5 (mayor)	≥137

Tabla 1.5.1. Escala Saffir-Simpson. Fuente: elaboración propia.

La escala Saffir-Simpson fue desarrollada en 1969 y con cierta evolución ha mantenido su uso hasta el día de hoy, clasificando los huracanes según la intensidad de los vientos desarrollados. Inicialmente cada categoría también abarcaba las presiones centrales, las mareas y el nivel de daños, sin embargo, en la actualidad muestra los rangos de vientos sostenidos en 5 categorías diferentes que parten de los 64 nudos hasta más de 137 nudos en huracanes de categoría 5. A su vez, nombra como «mayores» aquellos que superen los 96 nudos (de grado 3 en adelante).

Los vientos incrementan a medida que se profundiza en el sistema hasta llegar a su ojo, encontrando los vientos más fuertes en el lado derecho o semicírculo peligroso, derivando al buque hacia la parte frontal del huracán, de este modo, cabe reseñar que la peligrosidad de los vientos no reside únicamente en su intensidad, sino también en su

dirección, como se estudiará a la hora de determinar la mejor maniobra de evasión ([Tema 3](#)).

Siendo 64 nudos la mayor velocidad de viento recogida en la escala Beaufort, su uso en el seguimiento de huracanes carece de valor para el marino, sin embargo, recobra su importancia cuando se observen depresiones y tormentas tropicales.

- El oleaje

La acción del viento sobre la zona generadora y su extensión longitudinal, origina el oleaje. Dependiendo de la persistencia e intensidad del viento, las olas alcanzarán una mayor o menor altura hasta llegar al punto de estar completamente desarrolladas, sin posibilidad de crecer a no ser que se intensifique el viento, por ejemplo.

La enorme intensidad del viento de los ciclones tropicales y el tamaño de su área generadora facilitan la existencia de olas de grandes dimensiones incompatibles con una navegación segura para la mayoría de buques, superando ocasionalmente los 14 metros y registrándose puntualmente valores que han alcanzado los 30 metros².

Al igual que los vientos, la dirección del oleaje variará dependiendo de la ubicación del buque en el ciclón, exceptuando en el ojo, donde las olas convergen desde diferentes direcciones.

Así mismo, la combinación de los fuertes vientos que empujan sobre la superficie del mar y las bajas presiones en el centro del ciclón provocan un incremento del nivel normal del mar cerca de la costa pudiendo superar los 5 metros, alcanzado el valor más alto cuando se combina con los efectos de la marea astronómica, dando lugar a la denominada marea de tormenta.

Debido a la importante subida del mar y sus consecuencias sobre la costa, es frecuente que las autoridades portuarias de las áreas afectadas por huracanes contemplen medidas de seguridad excepcionales para los buques atracados en sus muelles con el fin de minimizar los posibles daños.

² Durante el Huracán Dorian 2019 una boya en Terranova registra una ola de cien pies.

- La presión atmosférica

La presión atmosférica es una variable de relevancia fundamental a la hora de caracterizar un huracán, ya que alcanza valores extremadamente bajos en su centro, como por ejemplo en el caso del huracán Wilma en el año 2005, donde la presión mínima alcanzó los 882 hectopascal (hPa). La presión se convierte en un importante indicador de la presencia de un ciclón, por lo que la toma de medidas a bordo y el estudio de su evolución se considera de gran relevancia para facilitar el cálculo de la posición del buque en la trayectoria del ciclón.

Dada la importancia de este parámetro, un reciente estudio de la Universidad Estatal de Colorado consideró que la presión atmosférica mínima en superficie es un mejor indicador con respecto a la velocidad del viento para categorizar los huracanes, elaborando la siguiente clasificación (Tabla 1.5.2.).

Categoría	Presión mínima (hPa)
1	976-990
2	961-975
3	946-960
4	926-945
5	<925

Tabla 1.5.2. Clasificación de los huracanes propuesta por la Universidad Estatal de Colorado. Fuente: elaboración propia.

- La nubosidad

La nubosidad y la lluvia proporcionan información visual de gran relevancia para el marino a medida que este se va acercando al sistema tropical, observando en un principio cirros (Ci) en niveles altos que se extienden desde el centro del ciclón. A medida que el buque se acerca más al sistema la visibilidad disminuye, las nubes descienden y se espesan formando cirroestratos (Cs), posteriormente altoestratos (As) en los niveles medios y finalmente aparecen las paredes de los cumulonimbos (Cb) próximas a las bandas de lluvias.

Cabe destacar la gran importancia de realizar observaciones periódicas a bordo. La observación del estado del cielo, el viento, la presión y el oleaje, proporciona las pruebas más significativas que el marino debe valorar en el estudio de la trayectoria de un huracán, independientemente de que pueda recibir productos específicos que aporten información más detallada acerca de estos fenómenos.

En la siguiente imagen (*Figura 1.5.1.*) se muestra de forma didáctica las cuatro pruebas de la presencia de un huracán anteriormente citadas y su variación debido al acercamiento del buque al centro de la tormenta.

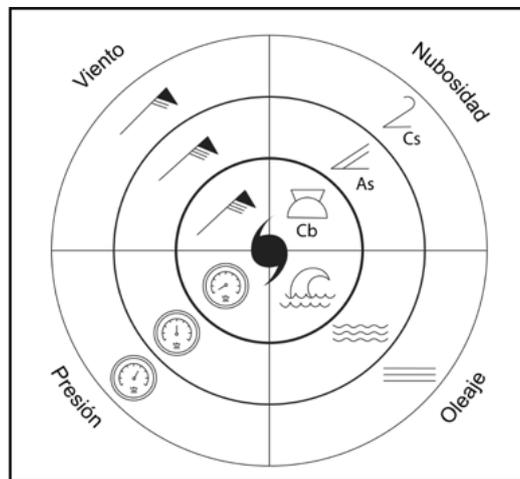


Figura 1.5.1. Pruebas de la presencia de un huracán. Fuente: original del autor.

2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA A BORDO

Conocidas las generalidades de estos fenómenos, a continuación se desarrollarán las fuentes de información y herramientas de las que dispone el marino para analizar las condiciones meteorológicas que afectan o afectarán al buque.

Bowditch, N (1802) asegura que la decisión más segura con respecto a la navegación en el entorno de los ciclones tropicales será evitarlos, para ello el marino cuenta en la actualidad con nuevas tecnologías que han facilitado el desarrollo y transmisión de productos meteorológicos que permiten anticiparse y elaborar derrotas alejadas del peligro de estos fenómenos.

El Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, en inglés Safety of Life at Sea (SOLAS) atribuye una gran importancia a la predicción meteorológica, obligando a los gobiernos contratantes en su regla 5.2 del Capítulo V a *«prevenir a los buques contra vientos duros, tempestades y ciclones tropicales mediante información textual y, en la medida de lo posible, gráfica, sirviéndose de las correspondientes instalaciones en tierra de los servicios de radiocomunicaciones espaciales y terrestres»*.

2.1. Los productos meteorológicos

Desarrollados por diferentes organizaciones y servicios meteorológicos, aportan diversos tipos de datos y productos elaborados, que posibilitan a los buques un amplio seguimiento de aspectos fundamentales sobre los huracanes, como: su ubicación, trayectoria, la intensidad de sus vientos o el estado del mar.

El Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos (NHC) y el Ocean Prediction Center (OPC), pertenecientes a la prestigiosa Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), son los más importantes proveedores de productos meteorológicos. De forma abierta y gratuita emiten diferentes productos de texto y gráficos a lo largo de la temporada. Para facilitar un mayor alcance entre los navegantes, los productos son distribuidos por diferentes medios integrantes o complementarios del Global Maritime Distress Safety System (GMDSS).

Debido a la gran cantidad de productos disponibles para este fin, este trabajo se centrará en aquellos que se consideran de mayor importancia para el estudio de los ciclones tropicales a bordo, describiendo sus principales ventajas y acompañándolos, en algunos

casos, de ejemplos reales emitidos durante el huracán Joaquín, en el año 2015. Al final de cada explicación se indicarán los medios de difusión de cada uno de ellos.

2.1.1. Productos de texto

- Tropical Cyclone Discussion (TCD)

Este producto consiste en un informe de predicción y análisis sobre un ciclón tropical concreto, desarrollando esta información detalladamente para facilitar la comprensión inmediata y su uso por parte del marino. A su vez, aporta una tabla en la que se detalla la posición del fenómeno y los vientos máximos en un intervalo de 12 a 120 horas.

En caso de desarrollo de un ciclón tropical, el NHC emite seis veces al día el TCD, en intervalos de 6 horas desde las 0300 tiempo universal coordinado (UTC), pudiendo actualizarse fuera de este periodo en caso de cambios significativos en el ciclón.

Difusión mediante: FTP Mail e Internet.

- Tropical Weather Outlook (TWO)

Este producto aporta al marino información acerca de los ciclones tropicales actualmente activos, su posible desarrollo en los siguientes cinco días y su localización en sus primeras 24 horas de actividad.

El TWO también indica la probabilidad de formación de un ciclón tropical en las siguientes 48 y 120 horas, expresándola en tres categorías: baja (0-30%), media (40-60%) y alta (70-100%).

Desde el 1 de junio hasta el 30 de noviembre el TWO es actualizado a las 0000, 0600, 1200, 1800 UTC por el NHC.

Difusión mediante: Onda media (**MF**), FTP Mail e Internet.

- Tropical Cyclone Surface Wind Speed Probabilities (PWS)

Este producto muestra la probabilidad de que se produzcan o se superen vientos sostenidos de 34, 50 y 64 nudos (Kt) durante al menos un minuto en una zona determinada. El PWS también publica la probabilidad de que se desarrollen estas condiciones en un periodo de 12 o 48 horas desde su emisión.

El NHC lo emite cuatro veces al día desde las 0300 UTC en intervalos de 6 horas, pudiéndose actualizar con nuevas entradas cuando se den cambios importantes en un ciclón tropical.

Difusión mediante: Radiofax, FTP Mail e Internet.

- Tropical Cyclone Forecast/Advisory (TCM)

En la *Mariner's Guide For Hurricane Awareness In The North Atlantic Basin* este producto es considerado por Holweg (2000), como «*la piedra angular de todos los productos de la NHC emitidos para el marino*» (p.22), por ello se analizará un ejemplo real detenidamente (Figura 2.1.1.1.).

El TCM reporta la formación de ciclones tropicales o subtropicales y su seguimiento desde las 0300 UTC en intervalos de 6 horas, publicando nuevos avisos en el caso de que se produzcan cambios importantes en el fenómeno.

Se trata de un producto popular debido a que aporta mucha y muy bien estructurada información al marino, dividida en las siguientes siete secciones que particularizamos para el huracán Joaquín :

1. Nombre del ciclón tropical: Huracán Joaquín, número de emisión 33, emitido por el Centro Nacional de Huracanes de Miami. (*)
2. Fecha y hora de salida del parte: 2100 UTC lunes 5 de octubre de 2015. (*)
3. Aviso de zonas de especial atención en la costa. (*)
4. Localización del centro de la tormenta en el momento: 35°8 N 064°0 W. (*)
5. Rumbo y velocidad a la que se desplaza el huracán: 030° a 10 Kt. (*)
6. Condiciones actuales (*): Presión estimada: 964 milibares, en ocasiones se incluye el diámetro del ojo. Vientos máximos sostenidos 75 Kt y con rachas de 90 Kt. Radio de los vientos máximos en los cuatro cuadrantes, dividido en categorías de 64 Kt, 50 Kt, 34 Kt y el radio donde el oleaje es igual o superior a los 12 pies.
7. Previsión a 12, 24, 34, 48, 72, 96 y 120 horas de la posición del ciclón tropical, proporcionando la información de la velocidad de los vientos de igual modo que en la sección 6. En la previsión para 2 y 3 días se excluyen los vientos superiores

a 64 Kt debido al margen de error, y en la previsión para 5 y 6 días la información relativa al viento consiste en la velocidad sostenida máxima y la velocidad de las ráfagas. De igual modo, la previsión también informa al marino de la transformación de un ciclón tropical en ciclón extratropical. (*)

Difusión mediante: **MF**, onda corta (**HF**), FTP Mail, **Inmarsat - C** e Internet.

```

ZCZC MIATCMAT1 ALL
TTAA00 KNHC DDHMM

HURRICANE JOAQUIN FORECAST/ADVISORY NUMBER 33
NWS NATIONAL HURRICANE CENTER MIAMI FL AL112015
2100 UTC MON OCT 05 2015

THERE ARE NO COASTAL WATCHES OR WARNINGS IN EFFECT.

HURRICANE CENTER LOCATED NEAR 35.8N 64.0W AT 05/2100Z
POSITION ACCURATE WITHIN 20 NM

PRESENT MOVEMENT TOWARD THE NORTH-NORTHEAST OR 30 DEGREES AT 10 KT

ESTIMATED MINIMUM CENTRAL PRESSURE 964 MB
MAX SUSTAINED WINDS 75 KT WITH GUSTS TO 90 KT.
64 KT..... 30NE 30SE 20SW 20NW.
50 KT..... 70NE 70SE 50SW 50NW.
34 KT.....180NE 160SE 160SW 160NW.
12 FT SEAS..420NE 420SE 480SW 450NW.
WINDS AND SEAS VARY GREATLY IN EACH QUADRANT. RADII IN NAUTICAL
MILES ARE THE LARGEST RADII EXPECTED ANYWHERE IN THAT QUADRANT.

REPEAT...CENTER LOCATED NEAR 35.8N 64.0W AT 05/2100Z
AT 05/1800Z CENTER WAS LOCATED NEAR 35.4N 64.3W

FORECAST VALID 06/0600Z 37.1N 61.7W
MAX WIND 70 KT...GUSTS 85 KT.
64 KT... 30NE 30SE 20SW 20NW.
50 KT... 70NE 70SE 50SW 50NW.
34 KT...180NE 160SE 160SW 160NW.

FORECAST VALID 06/1800Z 38.7N 57.3W
MAX WIND 70 KT...GUSTS 85 KT.
64 KT... 30NE 30SE 20SW 20NW.
50 KT... 70NE 80SE 50SW 50NW.
34 KT...170NE 180SE 170SW 150NW.

FORECAST VALID 07/0600Z 40.0N 51.0W
MAX WIND 65 KT...GUSTS 80 KT.
64 KT... 20NE 30SE 30SW 0NW.
50 KT... 70NE 100SE 100SW 60NW.
34 KT...160NE 200SE 200SW 160NW.

FORECAST VALID 07/1800Z 41.4N 43.4W...POST-TROP/EXTRATROP
MAX WIND 60 KT...GUSTS 75 KT.
50 KT... 80NE 120SE 120SW 70NW.
34 KT...160NE 240SE 240SW 170NW.

FORECAST VALID 08/1800Z 44.0N 28.8W...POST-TROP/EXTRATROP
MAX WIND 55 KT...GUSTS 65 KT.
50 KT... 70NE 110SE 110SW 60NW.
34 KT...140NE 220SE 220SW 150NW.

EXTENDED OUTLOOK. NOTE...ERRORS FOR TRACK HAVE AVERAGED NEAR 150 NM
ON DAY 4 AND 200 NM ON DAY 5...AND FOR INTENSITY NEAR 15 KT EACH DAY

OUTLOOK VALID 09/1800Z 45.6N 20.7W...POST-TROP/EXTRATROP
MAX WIND 50 KT...GUSTS 60 KT.

OUTLOOK VALID 10/1800Z 48.0N 14.0W...POST-TROP/EXTRATROP
MAX WIND 45 KT...GUSTS 55 KT.

REQUEST FOR 3 HOURLY SHIP REPORTS WITHIN 300 MILES OF 35.8N 64.0W
NEXT ADVISORY AT 06/0300Z

$$
FORECASTER STEWART

NNNN

```

Figura 2.1.1.1. Ejemplo real de TCM. Fuente:

<https://www.nhc.noaa.gov/data/>

- Pronósticos Costeros, Mar afuera y de Alta mar (NHC)

Proporcionan información para las siguientes 36 o 48 horas, detallando las condiciones de mar, viento o posibles riesgos meteorológicos en la METAREA IV. El área de cobertura se extiende desde latitudes 07° norte (N) hasta 31°N y desde la costa hasta el paralelo 35° oeste (O). Sin ser un producto exclusivo en el seguimiento de ciclones, el pronóstico de alta mar durante la temporada de huracanes refuerza su información con pronósticos de 36, 48 y 72 horas de la posición e intensidad de ciclones activos, pudiendo además proporcionar previsiones para 12 y 24 horas en caso de que el fenómeno sufra cambios en su categoría.

Difusión mediante:

Pronóstico Costero: **muy alta frecuencia (VHF), MF, HF, NAVTEX** e Internet.

Pronóstico Mar afuera: **MF, HF, NAVTEX**, FTP Mail e Internet.

Pronóstico de Alta mar: **HF**, HF Fax, **INMARSAT-C**, FTP Mail e internet.

- Pronósticos Costeros, Mar afuera y de Alta mar (OPC)

Estos productos generados por el OPC completan el área de cobertura proporcionada por el NHC, abarcando el resto del área atlántica de los Estados Unidos situada al norte del paralelo 31°N.

En los dos primeros productos, el marino recibirá información acerca de los ciclones tropicales activos, áreas de bajas o altas presiones y frentes cada 6 horas desde las 0000 UTC. Igualmente, proporcionan datos sobre las condiciones de viento, mar, precipitaciones y visibilidad.

Difusión mediante: **NAVTEX**

El Pronóstico de alta mar a diferencia de los anteriores, proporciona menor grado de detalle en su información, emitiendo un pronóstico de 24 a 48 horas cada 6 horas desde las 0430 UTC. El boletín se estructura en 2 partes, en la primera describe los riesgos de los vientos generados por ciclones tropicales, clasificándolos en orden creciente según su intensidad; Gale (34 a 47 Kt), Storm (48 a 63 Kt) y Hurricane (superiores a 64 Kt). Su

segunda parte, describe sistemas aún no considerados peligrosos con vientos de al menos 25 Kt y olas próximas a los 2,5 metros.

Difusión mediante: RadioFax, FTP MAIL, **HF**, **INMARSAT-C** e Internet.

2.1.2. Productos gráficos

El convenio SOLAS refleja una preferencia por los productos gráficos, Regla 5.1 del Capítulo V anteriormente citado. El uso de diferentes mapas del tiempo proporcionan al marino una herramienta de breve y fácil interpretación, convirtiéndose en un método más recomendable para evitar errores durante el análisis.

El NHC con la colaboración del OPC y el Weather Prediction Center (WPC) emite durante todo el año un conjunto de productos gráficos. Pese a no poder recibirse a bordo mediante equipos pertenecientes al GMDSS (se emiten mediante FTP MAIL, HF FAX e Internet), su uso a bordo será de gran ayuda para analizar las condiciones meteorológicas, especialmente los ciclones tropicales.

- Significant Wave Height Analysis

En este producto, publicado en periodos de 12 horas, se puede conocer la altura significativa de las olas (representadas en intervalos de tres pies) en el momento de la emisión. Este también informa sobre la altura mínima y máxima que pueden alcanzar las olas y la dirección del mar de fondo.

- Tropical Surface Analysis

Emitido cada seis horas, el Tropical surface analysis (Figura 2.1.2.1.) aporta gran información al marino representando las condiciones meteorológicas del momento, incluyendo la presión barométrica en superficie, representada mediante isobaras que varían en intervalos de 4 milibares, o 2 milibares en el caso de gradientes de presión pequeños, ciclones tropicales, ondas tropicales, sistemas frontales, zonas de bajas y altas presiones, vaguadas o tormentas.

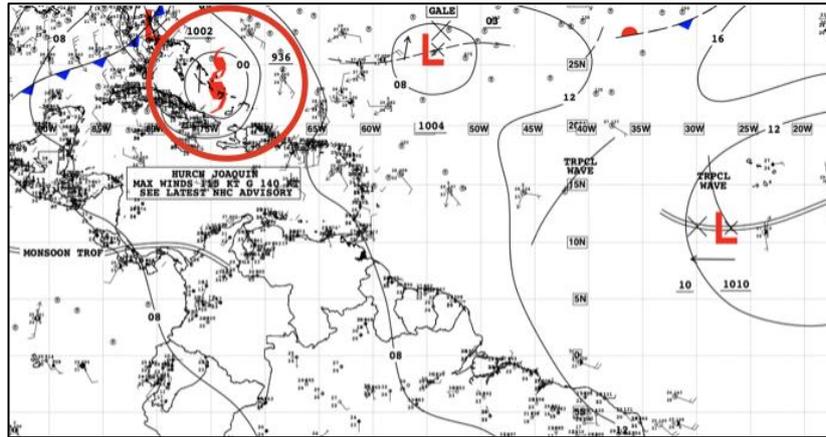


Figura 2.1.2.1. Tropical surface analysis del 2/10/2015. Se observa el huracán Joaquín en la zona superior (círculo rojo). Fuente: <https://www.nhc.noaa.gov>

- Wind Speed Probabilities-Based Tropical Cyclone Danger Graphic

Desde el 15 de mayo al 30 de noviembre se publican, en intervalos de 6 horas, las trayectorias en las próximas 72 horas de los ciclones tropicales activos así como sus áreas de peligro. Cuando la probabilidad de que los vientos superen los 34 Kt sea igual/superior al 5% (peligro bajo/moderado) se representará el área de peligro con líneas discontinuas, en cambio cuando la probabilidad sea superior al 50% (peligro alto) se mostrará con líneas continuas, como refleja la Figura 2.1.2.2.

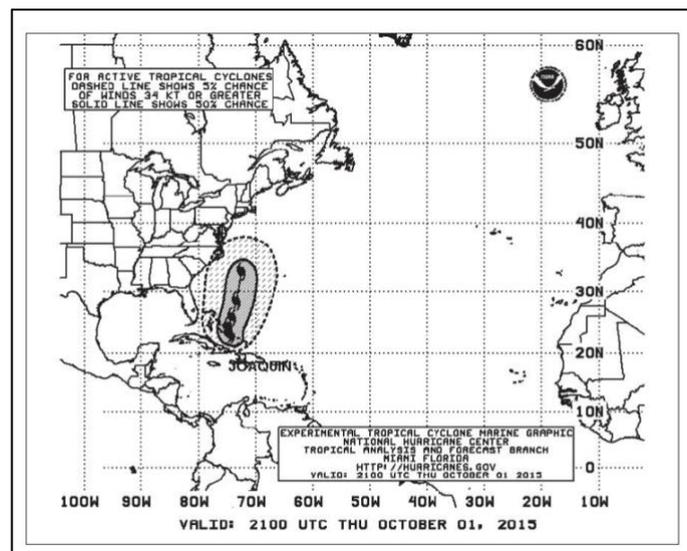


Figura 2.1.2.2. Trayectoria y área de peligro del huracán Joaquín. Fuente: <https://www.vos.noaa.gov/MWL/201608/nhc.shtml>

- Wind/Wave Forecasts

Este pronóstico para 24, 48 y 72 horas proporciona información dos veces al día sobre la intensidad de los vientos y su dirección. A su vez, en el mismo producto el marino podrá conocer la altura significativa de las olas y la posición de los ciclones tropicales activos.

- Tropical Cyclone Track Forecast Cone

Consiste en una gráfica que muestra la trayectoria probable del centro del huracán en el transcurso de las próximas horas, pudiendo realizar un pronóstico de hasta 5 días. El centro del ciclón tropical se mostrará en el interior de un círculo (*Figura 2.1.2.3.*), con un radio determinado por el margen de error tomado de los datos de los círculos trazados sobre los huracanes estudiados los pasados 5 años. Según el NHC cabe esperar que durante el 60%-70% del tiempo este permanezca dentro de dicho círculo. Como se verá en el análisis del hundimiento del SS El Faro, al final de este trabajo, este aviso tendrá especial importancia.



Figura 2.1.2.3. Tropical Cyclone Track Forecast Cone. Fuente:

<https://www.nhc.noaa.gov/data/>

- Surface Forecast

El Surface Forecast es un pronóstico para 24, 48 y 72 horas que se emite dos veces al día y que proporciona el mismo tipo de información mencionada en el Tropical Surface

Analysis. Cabe decir que este producto cuenta con un pronóstico para 96 horas, menos detallado, el cual informa solamente acerca de ciclones tropicales, altas y bajas presiones.

El NHC también cuenta con otra serie de productos que, sin ser específicos para el marino, proporcionan información de gran relevancia en un formato más fácil y rápido de interpretar que los anteriormente citados.

- Tropical Cyclone Surface Wind Speed Probabilities

Mediante diferentes colores representados sobre un área, esta gráfica muestra la probabilidad en porcentaje de que ocurran vientos iguales o superiores a 34 nudos, 50 nudos y 64 nudos en periodos desde 0-12 horas hasta 0-120 horas.

- 48-Hour y 5-Days Graphical Tropical Weather Outlook (GTWO)

Estos mapas (*Figura 2.1.2.4.*) indican las áreas en las que existe probabilidad de que se genere un ciclón tropical (marcado con una «x») en las siguientes 48 o 120 horas, dependiendo del producto. La probabilidad de desarrollo se clasifica en: baja en color amarillo (<40%), media en naranja (40-60%) y alta en rojo (>60%).

El Graphical Tropical Weather Outlook muestra la ubicación de las depresiones, tormentas tropicales y huracanes activos en el momento de la emisión. Del mismo modo, muestra la situación de los ciclones posttropicales o los restos de estos.

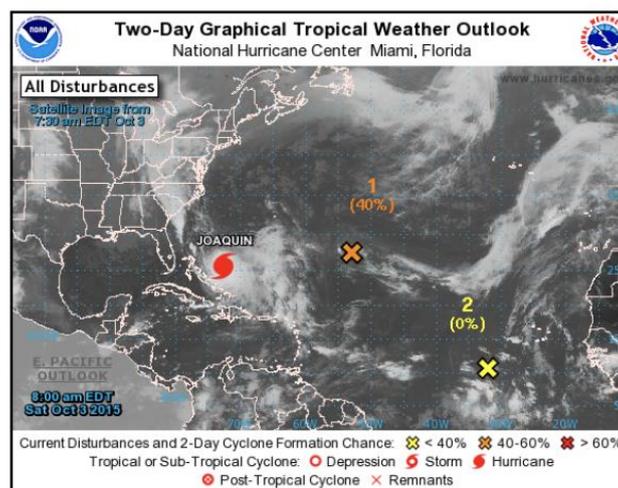


Figura 2.1.2.4. 48-Hour Graphical Tropical Weather Outlook.

Fuente: <https://www.nhc.noaa.gov/data/>

- Cumulative Wind History

Con la información recopilada de los últimos Forecast/Advisories Products (indicados en la parte superior del producto), representa la intensidad de los vientos pronosticados hasta el momento, diferenciando en color naranja aquellos con intensidad de tormenta tropical y en rojo aquellos con fuerza huracanada. La importancia de este producto reside en la posibilidad de identificar los cambios en el tamaño del huracán durante su trayectoria cuando se observa la variación de las áreas donde se producen estos vientos.

2.1.3. Productos provenientes de compañías privadas

En la actualidad, existen numerosas compañías creadas con el fin de proporcionar al sector marítimo las derrotas más seguras y eficientes cuando así se lo demanden, este hecho ha derivado en la especialización en el seguimiento de ciclones tropicales.

Destaca el Bon Voyage System (BVS), producto elaborado por la compañía noruega StormGeo, la cual lo califica como «*El sistema de monitoreo del clima y optimización de rutas a bordo más fiable en todo el mundo*». El BVS es el único producto de la industria que representa de forma gráfica el área de peligro de un huracán que afecta a un buque a partir de avisos meteorológicos de texto oficiales, actualizándose cada 6 horas. Planificando más de 5.500 derrotas al mes, el BVS también cuenta con una plantilla de expertos que asesoran a capitanes en todo momento de forma personalizada, teniendo en cuenta las características de los buques, su año de construcción, carga y velocidad. Es importante destacar por un lado, el uso de fuentes de información oficiales que garantizan la calidad de los productos, y por otro, el grado de especialización y experiencia de compañías como la aquí mencionada, que pueden particularizar sus recomendaciones a un tipo de buque determinado en una ruta concreta, lo que les da, sin duda, un valor añadido.

2.2. Interpretación de los productos meteorológicos.

Para el análisis de un ciclón tropical mediante el uso de productos meteorológicos, como mapas de superficie y topografía de 500mb, es de gran importancia conocer los diferentes efectos que sufren estos fenómenos debido a la presencia de vientos en diferentes niveles o con determinadas componentes.

2.2.1. Efecto de los vientos a diferentes alturas en la Troposfera

El análisis del desplazamiento de un huracán es de gran complejidad, siendo necesario tener en cuenta gran cantidad de información y diferentes parámetros para extender la derrota a posiciones previstas.

La trayectoria del huracán se verá afectada por diversos factores representados en los mapas meteorológicos, siendo la influencia de los vientos situados en las diferentes capas de la atmósfera el más determinante. Los sistemas tropicales poco estructurados y débiles se verán afectados por corrientes en capas bajas-medias mientras que los huracanes con mayor intensidad lo harán con los vientos de los niveles medios-altos de la troposfera.

Con el fin de visualizar todos estos factores, el marino estudiará los ciclones tropicales utilizando los productos apropiados, siendo de gran utilidad topografía de 500 milibar (mbar) y mapas de superficie.

A continuación, se recogen cuatro casos en los que la trayectoria de un ciclón tropical o su estructura se puede ver alterada.

1. Huracanes situados al sur del anticiclón de las Azores con presencia de vientos débiles en capas medias-altas de la Troposfera: predominará la influencia de los vientos alisios del este situados en las capas bajas-medias, desplazando el sistema hacia el oeste.
2. Huracanes afectados por vientos fuertes con dirección opuesta en diferentes niveles: con vientos fuertes del oeste en el nivel medio-alto y del este en niveles bajos, el ciclón se debilitará mientras continúa su trayectoria hacia el oeste. Sin embargo, se deberá considerar que bajo estas condiciones se generarán tormentas al este de los vientos del nivel bajo.
3. Huracanes afectados por frentes en superficie o vaguadas: los vientos del suroeste en niveles altos dan una componente norte a la trayectoria del ciclón, asimismo, en caso de interacción con un frente frío en superficie este lo debilitará. En el caso de que el fenómeno se desplace lo suficiente hacia los polos, donde los vientos del oeste incidan sobre este, provocarán un cambio brusco en su dirección conocido como recurva.

4. Huracanes afectados por vientos débiles en diferentes niveles: con escasa influencia de vientos que desplacen al ciclón tropical, este tomará una trayectoria errática, pudiendo permanecer en ocasiones inmóvil temporalmente como ocurrió durante el huracán Dorian en el año 2019, permaneciendo 40 horas sobre las Bahamas. En estos casos serán los factores internos e influencias secundarias, mucho más complejas de determinar por el marino, las que afecten al comportamiento del huracán.

2.2.2. Análisis de la derrota del huracán Joaquín

Con el fin de llevar a la práctica la interpretación de los productos meteorológicos se analizará la trayectoria seguida por el huracán Joaquín mediante mapas de superficie y de topografía de 500 mbar.

En la Figura 2.2.2.1. se observan dos mapas del 29 de septiembre de 2015, de superficie (izquierda) y topografía de 500 mbar (derecha). En el mapa de superficie se puede observar que las altas presiones, situadas al norte, ejercen como bloqueo de la tormenta tropical (círculo rojo). Sin embargo, en el mapa de 500 mbar muestra una escasa influencia sobre el emplazamiento del fenómeno, resultando un movimiento hacia el noroeste (NO) de la tormenta.

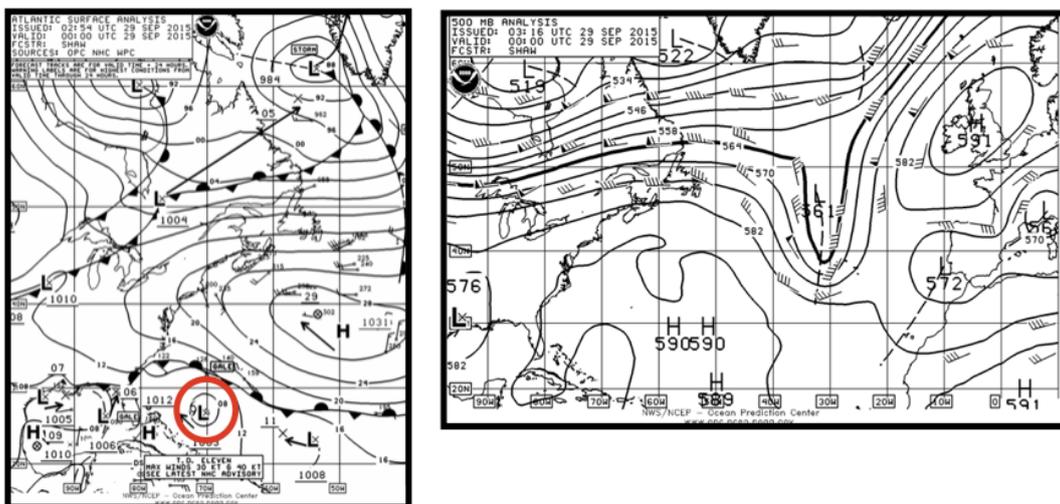


Figura 2.2.2.1. Mapas de Superficie y 500 mbar del 29/9/2015. Fuente:

https://ocean.weather.gov/past_products.php

Transcurridos tres días (Figura 2.2.2.2.) la tormenta tropical ha evolucionado a huracán (círculo rojo), los fuertes vientos de la vaguada observada en el mapa de 500 mbar proporcionan al huracán una componente norte, ligeramente noreste, facilitando el movimiento de recurva (también observado en la *Figura 2.1.2.3.*). Al contrario que en el día 29, la situación en superficie no genera la suficiente influencia para modificar la trayectoria del huracán.

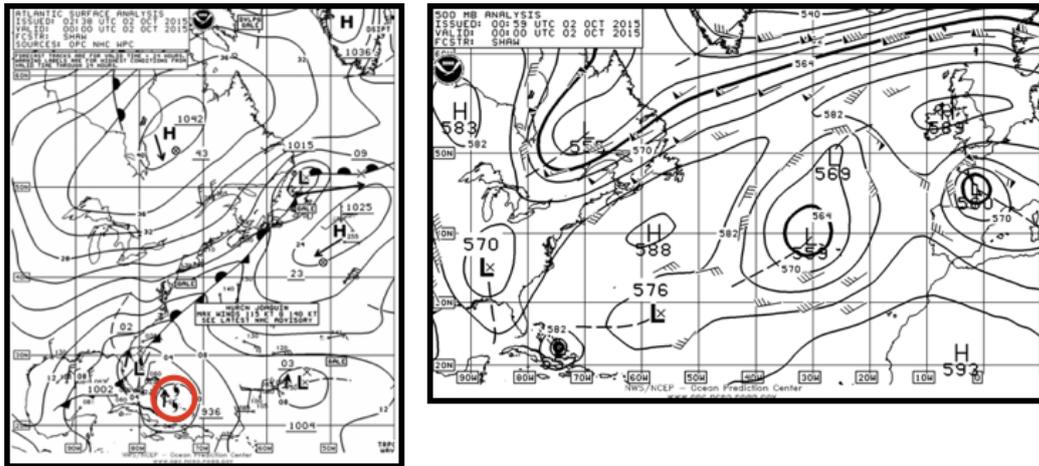


Figura 2.2.2.2. Mapas de Superficie y 500 mbar del 02/10/2015. Fuente:

https://ocean.weather.gov/past_products.php

2.3. El margen de error asociado a las predicciones

La fiabilidad de las predicciones sobre la trayectoria e intensidad de los huracanes emitidas por el NHC ha mejorado a lo largo de décadas, especialmente en el intervalo comprendido entre el año 2010 y 2019, periodo en el que ha decrecido entre un 25%-30% el error en las predicciones a 120 horas (Figura 2.3.1.). Sin embargo, pese a este gran avance, la toma de decisiones por parte del capitán a partir del estudio de estos productos meteorológicos ha de tener en cuenta, necesariamente, los errores de predicción de la derrota según el periodo de predicción considerado. Por ejemplo, una variación de 50 millas en la trayectoria de un ciclón tropical, como corresponde habitualmente a predicciones a 36 horas, podría acercar a un buque a la región de vientos peligrosos.

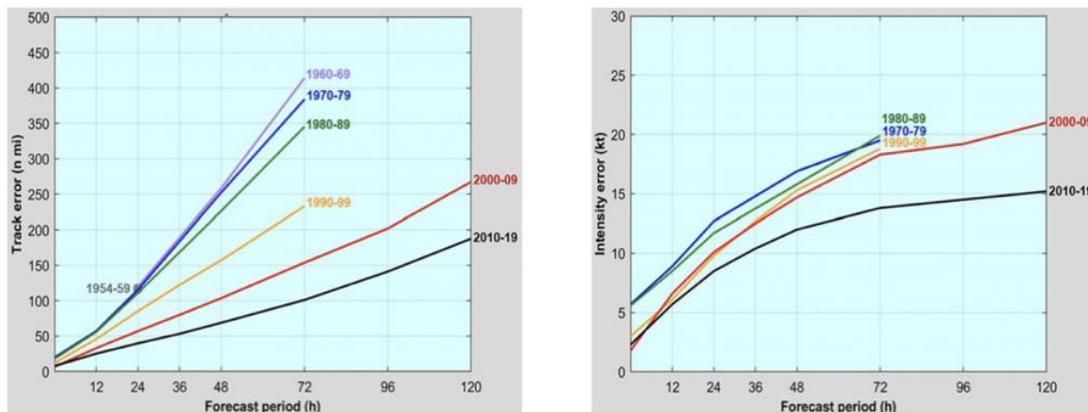


Figura 2.3.1. Gráficas de Error de Trayectoria e Intensidad. Fuente: *Recent Progress in Tropical Cyclone Intensity Forecasting at the National Hurricane Center*

2.4. Observación del tiempo a bordo

Una continua observación meteorológica a bordo permite al marino corroborar aquella información aportada por los diferentes productos recibidos a bordo, así como identificar posibles variaciones. En la publicación *Meteorología aplicada a la navegación* se asegura que «el factor común en la mayoría de los accidentes relacionados con el tiempo meteorológico, estriba en que los usuarios de las predicciones las tomaron como acto de fe» (De Osés, 2006, p.109). Por ello, con el fin de garantizar la mayor seguridad a bordo no se deberá considerar una única fuente de información, sino que será necesario completar esta mediante la observación de las condiciones atmosféricas que afectan al buque durante la navegación.

El marino buscará conocer los aspectos más relevantes del huracán como son los valores de la presión atmosférica, el viento, oleaje o nubosidad, usando para ello la metodología e instrumentos adecuados, como se verá a continuación.

- La presión:

Con la ayuda del barómetro, el marino estudiará el comportamiento de un huracán observando a lo largo del tiempo las posibles variaciones de la presión. El uso de un barómetro anerode proporciona la suficiente exactitud para poder realizar un correcto seguimiento, siempre que se compruebe el dispositivo mediante los necesarios

controles rutinarios. Con el fin de obtener la mayor precisión el observador tendrá en cuenta durante la observación:

1. Altura: la presión variará por cada metro sobre el nivel del mar 0,1 mbar.
2. Región geográfica: en los trópicos la curva diurna de presión (marea barométrica) apenas varía, oscilando cerca de 0,4 mbar, mientras que en el ecuador supera los 3 mbar.

De este modo, el marino podrá identificar el acercamiento a las proximidades de un ciclón tropical cuando después de hacer las correcciones necesarias, el barómetro refleje una bajada superior a 3 mbar en los valores normales de presión para esa época del año.

- El viento:

Pese a que el SOLAS no incluye los equipos de medición del viento dentro de los *sistemas y aparatos náuticos que se han de llevar a bordo*, si lo hacen la mayor parte de sociedades de clasificación en la actualidad, como: American Bureau of Shipping, Lloyd's Register o Bureau Veritas. En la actualidad, la instalación de estos instrumentos es común en la mayoría de buques, permitiendo visualizar la dirección y velocidad del viento desde el puente. Sin embargo, cuando se haga uso de equipos no fijos como anemómetros de mano se deberán llevar a cabo diferentes procedimientos para evitar zonas de abrigo en cubierta y realizar mediciones fiables.

La estructura del buque y su movimiento pueden dificultar la obtención de valores fiables del viento. Con el fin de disminuir estos efectos aerodinámicos el observador procurará situar los instrumentos de medición, anemómetro y veleta, en aquellas áreas libres de obstáculos que alteren el flujo de aire. A pesar de lograr una situación óptima, comúnmente se considerará un error de aproximadamente 4 nudos para las medidas realizadas con instrumentos de mano.

Considerando el barco sin movimiento, el valor obtenido por el anemómetro (viento aparente) será igual al valor del viento real. Sin embargo, no se dará esta coincidencia durante la navegación, existiendo dos casos dependiendo de si la dirección del viento coincide o no con el rumbo del buque:

1. La dirección del viento coincide con el rumbo del buque: se deberá restar al valor de la velocidad del viento, medido con el anemómetro, el valor de la velocidad de avance del buque cuando sus sentidos sean contrarios, es decir, cuando el buque avanzando avante tenga viento de proa. En el caso contrario, cuando el viento viene de popa, dichos valores se sumarán.
2. La dirección del viento no coincide con el rumbo del buque: en este caso, uno de los métodos más sencillos para hallar el valor real de la velocidad del viento es el uso de una rosa de maniobra (Figura 2.4.1.). Se deberá trazar los vectores correspondientes a la velocidad y rumbo/dirección del buque y del viento aparente. Finalmente, mediante la unión de dichos vectores se obtendrán los valores de la intensidad y dirección del viento real.

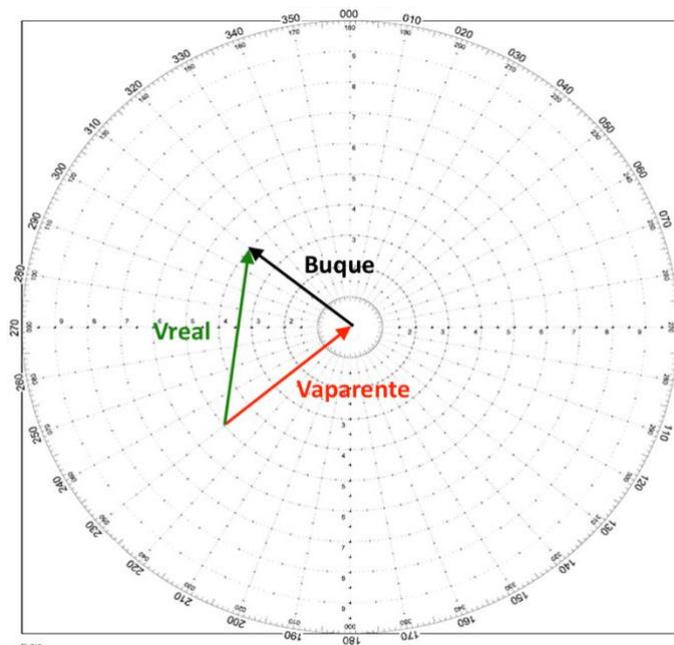


Figura 2.4.1. Ejemplo de un cálculo del viento real. Fuente: original del autor.

- Las olas:

Cuando el oficial de puente desee estimar las condiciones del mar, como la altura, periodo y dirección de las olas, usará su vista como principal herramienta de medición

en los métodos a continuación descritos, a pesar de que no proporciona la exactitud de un modelo meteorológico sí lo hace en la medida necesaria para poder definir la posible trayectoria del ciclón.

Para determinar la altura de las olas que afectan al buque, las observaciones se llevarán a cabo desde el costado del buque por el que se acercan las olas, cambiando de cubierta si esto ayudase, y siendo el emplazamiento más apropiado el nivel más bajo desde el que se puedan realizar observaciones con seguridad.

Para el cálculo aproximado del periodo del oleaje, con la ayuda de un cronógrafo o reloj, se calculará el tiempo transcurrido entre el paso de la cresta de dos olas continuas por un punto determinado. Para situar dicho punto se puede tomar como referencia cualquier objeto que se encuentre flotando en el agua y se repetirá esta acción tantas veces como sea posible. En el caso de que no se encuentre un punto de referencia, se calculará respecto al número de olas que llegan al buque. Es importante conocer que en el Atlántico Norte es frecuente un periodo de oleaje de 6 a 8 segundos, pudiendo ser un indicador de la proximidad de un ciclón tropical cuando se superan valores de entre 12 y 15 segundos.

En el cálculo de la dirección de las olas generalmente este valor coincidirá con la dirección del viento cuando se navega con mar de viento, pudiendo variar un máximo de 20°. Con mar de fondo, las olas podrán tener cualquier dirección, una forma sencilla consiste en situarse alineando la cresta de la ola con la mirada para rotar posteriormente 90° en dirección al avance de esta, obteniendo así un valor aproximado de la dirección de la ola.

- Las nubes:

El conocimiento y correcta identificación de los diferentes tipos de nubes que componen un huracán pueden revelar información no solo acerca de la presencia de estos fenómenos sino también de su ubicación respecto al buque.

En el estudio de las nubes de un ciclón tropical se deben reconocer principalmente los siguientes tipos, clasificadas desde las que esperamos encontrar en una posición más externa a las más cercanas al centro del huracán:

1. Cirros: nubes blancas independientes, en formas de bandas delgadas formadas a gran altura (8-12km).
2. Cirrostratos: nubes blancas y ligeramente transparentes, lisas en su totalidad cubriendo los cielos parcial o completamente en alturas de 7 a 10 km.
3. Altoestratos: nubes que forman una capa con tono azulado o grisáceo, cubriendo parcial o completamente los cielos con espesores de entre 1 y 4km, dejando ver el sol en las partes más finas. Se ubican entre los 3 y 7 km.
4. Cumulonimbos: nubes de gran densidad e inestabilidad en su interior. Se caracterizan por poseer un gran desarrollo vertical que puede alcanzar alturas de 14 km. Debido a su proximidad con las bandas de lluvias, el Cb se convierte para el observador en el último indicador de proximidad de un huracán.

2.5. Voluntary Observing Ship (VOS)

Cabe destacar el programa VOS, en español Barcos de Observación Voluntarios, creado por la OMM, promueve la toma de datos meteorológicos y oceanográficos a bordo de buques mercantes, oceanográficos o incluso pesqueros.

Fundada en 1853, hoy en día esta iniciativa tiene un carácter esencial en la provisión de información meteorológica a los buques. Por ese motivo, las agencias estatales facilitan de forma gratuita los medios técnicos necesarios a los buques. En 1984 el programa contaba con más de 7700 buques en aguas de todo el mundo, pero su número ha ido disminuyendo hasta los 4000 aproximados en la actualidad, reduciendo especialmente su presencia en aguas del Atlántico Norte.

Debido a su importancia y la necesidad de aumentar la flota, la OMM hace un llamamiento para una mayor participación mediante el lema *«Remember: Help improve the quality of forecasts and warnings, contribute to the enhancement of safety at sea»*.

2.6. Obligación de un buque a emitir mensajes de peligro

El SOLAS obliga en la regla 31 del capítulo V «seguridad en la navegación», a los capitanes de todos los buques, cuando previamente no hayan recibido ningún aviso, a emitir mensajes de peligro cuando se encuentren bajo la influencia de vientos con intensidades iguales o superiores a 10 en la escala Beaufort. De igual modo, todos los

buques que se hayan encontrado con un ciclón tropical, se encuentren en sus cercanías o crean que se está formando una tempestad tropical, informarán a buques cercanos y a las autoridades competentes. El SOLAS no establece un medio obligatorio de difusión, sin embargo, si menciona que el mensaje se hará en lenguaje corriente, siendo preferible en inglés o en código internacional de señales, a su vez, en este deberá constar la siguiente información:

- Situación, fecha y hora (UTC) en el momento de la observación.
- Rumbo verdadero y velocidad del buque.
- Presión barométrica en milibares, milímetros o pulgadas, preferentemente corregida, indicando dicha condición.
- Dirección verdadera del viento.
- Fuerza del viento en la escala Beaufort.
- Estado del mar.
- Mar tendida y la dirección verdadera.

Sin ser obligatorio, cuando un buque haya informado sobre la presencia de un ciclón tropical y este continúe sufriendo los efectos del fenómeno, es adecuado continuar las observaciones meteorológicas, emitiendo, si es posible, en intervalos de una hora, evitando exceder las tres horas.

3. GESTIÓN DE LA DERROTA

Debido a la naturaleza de los ciclones, con el fin de garantizar la seguridad del buque en todo momento, no solo se deberán considerar las condiciones meteorológicas actuales y venideras que afecten al buque durante la navegación o una vez llegado a puerto, sino que también se deberán conocer las condiciones meteorológicas frecuentes en esa época del año. Esta práctica se conoce como navegación meteorológica, y tiene varias variantes: la navegación climatológica, la navegación sinóptica y la navegación meteorológica, propiamente dicha.

3.1. Navegación Climatológica, Sinóptica y Meteorológica

- Navegación Climatológica: considerando las condiciones atmosféricas frecuentes en una región determinada y en una época del año dada, se traza la derrota más adecuada. Estas condiciones son representadas en cartas específicas para los navegantes, conocidas como Pilot Charts y Routening Charts.

Con los datos acumulados durante diferentes temporadas de huracanes, las Pilot Charts del Atlántico Norte muestran las trayectorias más frecuentes de los huracanes y ciclones extratropicales, así como las derrotas más adecuadas para cada mes del año en el área comprendida desde los 5°N hasta 68°N y 33°E hasta 100° oeste (O). Como se verá en el punto 3.2.1. estas publicaciones muestran a su vez información de gran relevancia, como las condiciones necesarias para la formación o intensificación del fenómeno.

- Navegación sinóptica o táctica: a diferencia de la climatológica, en este tipo de navegación son las condiciones meteorológicas del momento las que exigen una posible modificación de la derrota inicial, por ejemplo aplicándose en el momento de maniobrar un huracán no previsto inicialmente.

Para su aplicación es fundamental contar con medios de recepción de información meteorológica a bordo al igual que sistemas de medición de las condiciones atmosféricas que corroboren la posible presencia de un ciclón tropical.

- Navegación Meteorológica: esta consiste en determinar las posibles condiciones meteorológicas que afectarán al buque durante el transcurso de la travesía, mediante

el análisis de diferentes tipos de productos meteorológicos de predicción a plazo medio.

Es aconsejable que los buques que naveguen en aguas del Atlántico Norte, especialmente en la temporada de huracanes, apliquen los diferentes tipos de navegación mencionada desde el momento en el que se planifica la derrota con el fin de garantizar la máxima seguridad y eficiencia. Igualmente, como se verá a continuación, el proceso de análisis de riesgos asentará sus reglas en estos tres tipos de navegación.

3.2. Análisis de riesgos.

Cuando un buque navega en zonas donde es frecuente la presencia de ciclones tropicales, se deberá considerar todas las posibles condiciones que se puedan desarrollar con el fin de reducir los posibles peligros generados por estos fenómenos. Este estudio se llevará a cabo mediante un análisis de riesgos que se realizará como mínimo dos veces al día cuando no existan ciclones tropicales activos, o cuatro veces al día en caso contrario, coincidiendo con el número de publicaciones del TCM .

Cabe mencionar que la guía *Mariner's Guide For Hurricane Awareness In The North Atlantic Basin* elabora una práctica lista de comprobaciones (Anexo I) para llevar a cabo un completo análisis de riesgos y facilitar la toma de decisiones.

3.2.1. Trayectorias comunes de huracanes.

Existen numerosas publicaciones que permiten conocer los lugares del Atlántico donde se dan las condiciones necesarias para la formación e intensificación de ciclones tropicales, así como sus trayectorias más comunes.

Las Pilot Charts, elaboradas por la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial estadounidense usan datos recopilados durante los siglos XVIII y XIX para formar los siguientes cinco volúmenes de cartas: Océano Atlántico Norte, Atlántico Sur, Pacífico Norte, Pacífico Sur y Océano Índico. Cada volumen contiene 12 cartas específicas para cada mes del año.

Las Pilot Charts del Océano Atlántico Norte (Figura 3.2.1.1.) muestran las trayectorias más frecuentes de los huracanes, ciclones extratropicales o las áreas donde se suelen reportar tormentas, en un cuadro situado en el margen derecho de cada carta. Estas

publicaciones muestran a su vez las condiciones meteorológicas habituales más relevantes para el marino, como la dirección e intensidad de los vientos predominantes mediante rosas de vientos, la altura de las olas, corrientes oceánicas, la presión atmosférica o la temperatura de la superficie del aire o del mar, para cada mes del año. Como ya se ha visto, algunos de estos datos ayudarán a conocer no solo las trayectorias de los ciclones sino los lugares donde es posible que estos fenómenos se originen, intensifiquen o por lo contrario, se debiliten.

Considerando todos estos factores, se trazan las principales derrotas ortodrómicas y loxodrómicas, con las condiciones más favorables para la navegación en cada mes del año.

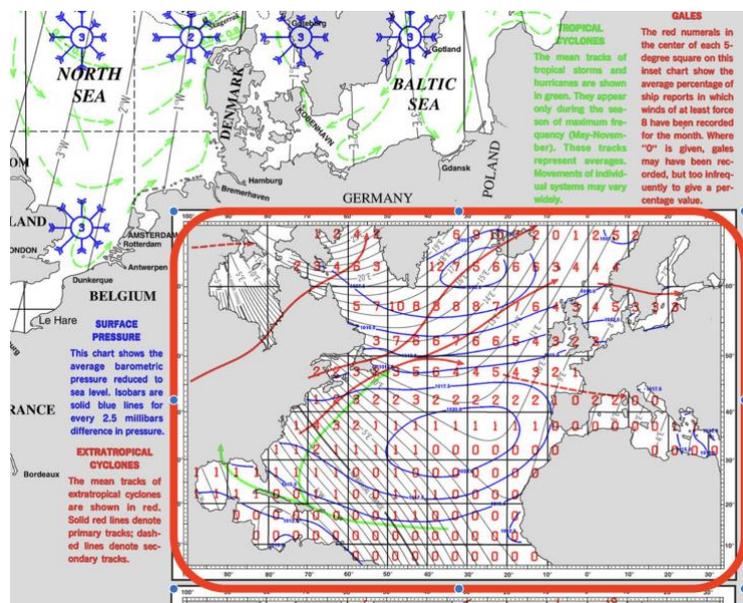


Figura 3.2.1.1. Sección de una Pilot chart del Atlántico Norte, dentro del cuadro rojo, trayectorias frecuentes de los huracanes (verde) y ciclones extratropicales (rojo) en el mes de septiembre. Fuente:

<https://msi.nga.mil/Publications/APC>

3.2.2. Previsión de la trayectoria del huracán

A partir de los productos meteorológicos recibidos a bordo, el marino representará la trayectoria del ciclón tropical, teniendo en cuenta el margen de error de éstos, con el fin de calcular una distancia de seguridad entre el buque y el área donde el fenómeno producirá vientos con una intensidad igual o superior a los 34 nudos en las próximas horas, para ello se podrá hacer uso de diferentes técnicas. Se tomará como valor de

referencia una velocidad de 34 nudos debido al aumento significativo que se produce en la altura de las olas cuando el viento supera este valor, causando una fuerte disminución en la maniobrabilidad de los buques.

Sin embargo, en las siguientes reglas, el área de peligro es calculada a partir del pronóstico de la velocidad del viento sin tener en cuenta el pronóstico de la altura de las olas, por lo que en ocasiones debido al estado de la mar, o las propias características del buque será necesario mantener un mayor margen de seguridad sobre el ciclón tropical.

- Regla 1-2-3

Cuando se disponga a bordo información sobre la intensidad de los vientos en las próximas 24, 48 y 72 horas, se delimitará en cada una de estas fechas el área donde los vientos son superiores a 34 nudos. A su vez, en el pronóstico de 24 horas se incrementará el radio de esta área en 100 millas, en el de 48 horas 200 millas y por último, 300 millas en la previsión de 72 horas tal como muestra la Figura 3.2.2.1. Finalmente, se unirán estas formando la denominada «Área a evitar». Debido a la información que aporta, el TCM se convierte en un producto excelente para el desarrollo de esta regla.

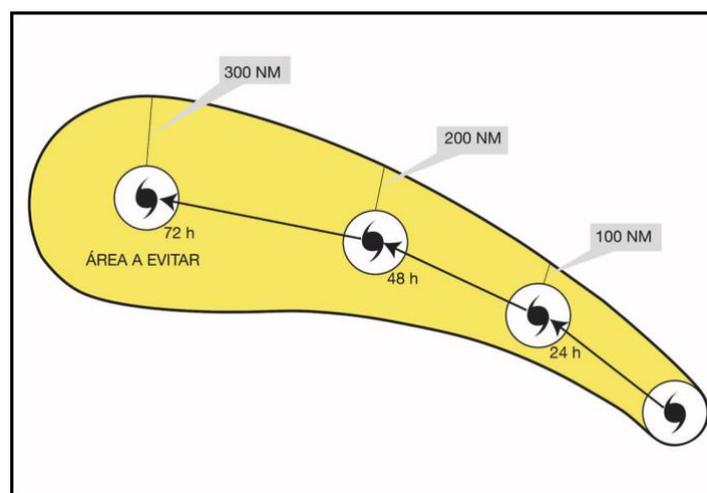


Figura 3.2.2.1 Regla 1-2-3. En blanco el área de vientos superiores a 34 nudos. Fuente: original del autor.

- Regla del Sector de peligro

Conociendo la trayectoria aproximada del ciclón, se representará el sector de peligro (Figura 3.2.2.2.) mediante dos líneas que se proyectan 40 grados hacia ambos lados con un radio equivalente a la distancia que recorrerá el huracán cada 6, 12 o 24 horas. De igual modo, se deberá actualizar en intervalos de 6, 12 y 24 horas la posición del ciclón y su sector de peligro.

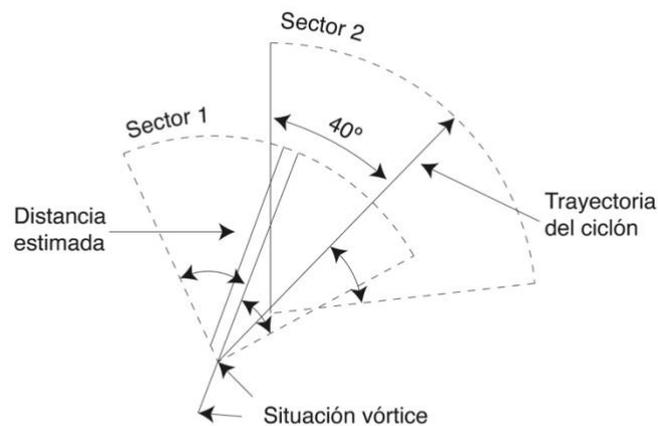


Figura 3.2.2.2. Regla del Sector de peligro. Fuente: Lanza, R. (2005) Meteorología y oceanografía.

Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

3.2.3. Estudio de la trayectoria del huracán respecto a la derrota del buque

Una vez se haya determinado la trayectoria del ciclón y su área a evitar se deberá elaborar la derrota más segura, para ello se hará un seguimiento continuo y se modificará el rumbo y velocidad cuando sea necesario, considerando las siguientes premisas.

- Nunca cruzar la trayectoria del huracán

También conocido en inglés como «Never cross the T», es fundamental que en ningún momento de la navegación el rumbo del buque coincida con la trayectoria del huracán. Se prestará especial atención al movimiento de recurva del fenómeno, pudiendo

adentrarse en ocasiones de forma imprevista el buque en el recorrido del huracán, debido al cambio brusco en su trayectoria o velocidad.

- Tendencias de la trayectoria del huracán

Observando la trayectoria que toma el ciclón tropical a partir de la información meteorológica más reciente recibida a bordo y estudiando su variación en periodos de 6 horas durante las últimas 24 horas se podrá determinar hacia que lado tiende a desviarse el huracán. Conociendo esta tendencia, el marino podrá proporcionar una mayor distancia sobre el área de peligro calculada utilizando las reglas comentadas en el apartado 3.2.2. Sin embargo, nunca se efectuará un cambio de rumbo cuando esto suponga un acercamiento al fenómeno, aunque este tienda a alejarse.

- Punto de aproximación más cercano

Se efectuará un continuo seguimiento del CPA, del inglés *closest point of approach* (en español, punto de aproximación más cercano) con el fin de verificar que este incrementa o al menos se mantiene constante en todo momento. Este hecho confirmará que el buque se mantiene alejado de la zona de peligro del ciclón tropical, en cambio una disminución en el CPA motivará la implementación inmediata de cambios en la derrota del buque.

3.2.4. Evaluación de las diferentes opciones

Finalmente, todos los buques que naveguen con avisos sobre la presencia de un huracán y a su vez, hayan analizado detenidamente todos los riesgos posibles que les puedan afectar, siempre deberán elaborar diferentes derrotas alternativas con el fin de actuar lo más rápido posible en caso de peligro. Durante el estudio de las diferentes alternativas se deberán buscar zonas seguras para la navegación, que a su vez constituyan un resguardo sobre los efectos del huracán, esto será especialmente importante cuando se navegue en aguas donde la maniobrabilidad pueda ser restringida, como en áreas del Golfo de México o regiones situadas en el oeste del mar Caribe. No obstante, la toma de decisiones no siempre se llevará a cabo durante la navegación, en ocasiones se efectuará estando en puerto, determinando si la opción más segura para el buque es permanecer atracado o zarpar.

3.3. Toma de decisiones: buque en puerto

Cuando la previsión meteorológica determina que los efectos de un huracán afectarán a las inmediaciones de un puerto, el marino deberá estudiar detenidamente toda la información recibida a partir de los productos meteorológicos con el fin de comprobar si es más seguro permanecer en puerto o zarpar a aguas más seguras.

El tiempo en el que se alcanzará el CPA mínimo con el huracán así como la distancia hasta alcanzar la nueva situación escogida, es decir tiempo/distancia, serán dos de los factores más importantes a considerar en la decisión sobre permanecer o salir de puerto, sin omitir en ningún momento factores como la velocidad de navegación del buque, sus dimensiones o las características del puerto de refugio y sus aguas adyacentes.

Durante la aproximación del huracán a puerto se deberá considerar su trayectoria, no solo para planificar las diferentes maniobras de evasión, sino para conocer el posible alcance de sus efectos en puerto. Cuando los ciclones tropicales se desplazan paralelos a la costa o desde tierra su impacto es de menor magnitud que cuando lo hacen directamente desde el mar. Este factor se debe principalmente a que el semicírculo peligroso de un huracán que se mueve paralelo a la costa tiende a situarse en la parte más alejada.

Publicaciones como *Hurricane Havens Handbook for the North Atlantic* son de gran ayuda cuando un buque estudia una nueva localización para esquivar un ciclón tropical. Este libro recoge una serie de 25 puertos de refugio (Figura 3.3.1.), estudiando detenidamente su localización geográfica, las instalaciones portuarias, los peligros que pueden causar los ciclones tropicales y la decisión de cuándo se debe permanecer en puerto o zarpar. Cabe mencionar que esta publicación no solo está dirigida para aquellos buques que se encuentren atracados en estos puertos de refugio sino también para aquellos que lo hacen desde otros puertos o durante la navegación.

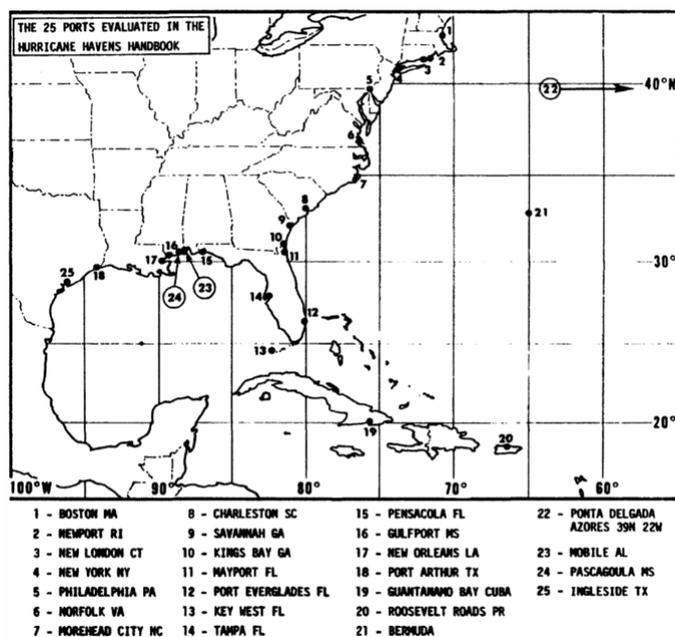


Figura 3.3.1. Puertos evaluados en el Hurricane havens handbook. Fuente: Naval Meteorology and Oceanography Command. (2016). Hurricane Havens Handbook. https://www.nrlmry.navy.mil/port_studies/tr8203nc/index.html

En aquellos puertos en los que los impactos de los huracanes son frecuentes las autoridades portuarias elaboran planes de acción con el fin de garantizar la mayor seguridad posible de los buques atracados. Clasificadas según las horas estimadas para el impacto con el huracán aparecen las Condiciones portuarias «Port Conditions», propias de cada puerto, elaboradas por la U.S Coast Guard: Whiskey, X-Ray, Yankee y Zulu (Tabla 3.3.1.).

Código de aviso	Horas para el impacto del huracán
Whiskey	72
X-Ray	48
Yankee	24
Zulu	12

Tabla 3.3.1. Port conditions. Fuente: elaboración propia

Según el código del aviso, cada autoridad portuaria tomará diferentes medidas con el fin de garantizar la mayor seguridad en sus instalaciones. Por ejemplo, el puerto de Brazos solo permite el tránsito de salida de buques en condición Y, sin embargo el puerto de St. Petersburg (Florida) obliga a todos los buques mayores de 500 GT a desatracar y abandonar las aguas portuarias. No obstante, la totalidad de los puertos permanecerán cerrados cuando se encuentren en aviso Z.

Igualmente existe un código marítimo de luces y banderas de avisos de tormentas (Figura 3.3.2.) emitido por el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos, en él además de avisos por Huracanes, también se informa acerca la proximidad de tormentas y su ubicación.

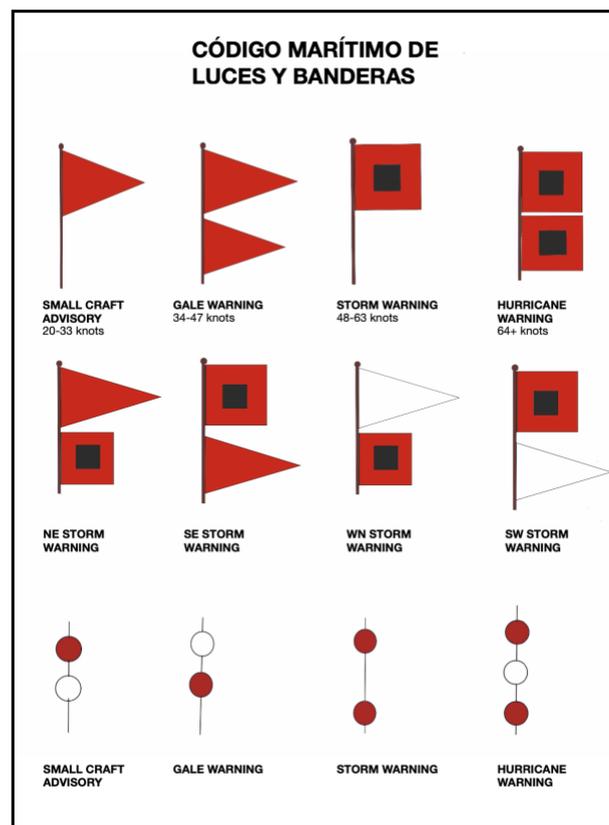


Figura 3.3.2. Código marítimo de luces y banderas de avisos de tormentas. Fuente: original del autor.

3.4. Toma de decisiones: buque en navegación

En ocasiones, el buque se adentrará en la zona de peligro de un huracán debido a diferentes motivos como pueden ser: un error en el análisis de riesgos, fallos en la recepción de productos meteorológicos o incluso algún tipo de avería a bordo. Cuando esto ocurre, con el fin de retornar a una zona segura se deberá iniciar inmediatamente las denominadas «Maniobras de evasión».

- Maniobras de evasión

Una vez que el buque se encuentre dentro del área de peligro, la primera medida que deberá tomar para trazar un nuevo rumbo será hallar su posición con respecto al ojo del huracán y su distancia.

Debido a su estructura prácticamente circular, se dividirá el huracán en 2 partes iguales (semicírculos), y estas en 2 obteniendo cuatro cuadrantes. En el semicírculo derecho, también conocido como semicírculo peligroso en el HN, como ya se ha explicado anteriormente, se encuentran los vientos más fuertes causados por el propio desplazamiento de la tormenta. Igualmente, la dirección del viento y las olas, empujarán al buque hacia el centro de la trayectoria del ciclón tropical.

En el momento en el que el buque se encuentra dentro de la tormenta, los partes meteorológicos pierden gran relevancia, ya que en el periodo transcurrido desde su publicación hasta su recepción a bordo la tormenta habrá variado lo suficiente como para poder planificar una maniobra de evasión segura.

El uso de ayudas a la navegación, como el radar, podrán ayudar en ocasiones a localizar el ojo del huracán, sin embargo, serán la presión atmosférica y el viento los principales indicadores.

Las Leyes de Buys-Ballot permiten conocer donde se encuentra el centro de bajas o altas presiones con respecto a la dirección que sopla el viento, de este modo el marino sabrá que un buque que se encuentra en el hemisferio norte y recibe el viento de proa, tendrá el centro de una depresión de 8 a 12 cuartas hacia estribor.

De igual modo, el descenso de la presión es un indicador de la demora del centro del huracán y su distancia, como se aprecia en la Tabla 3.4.1. y Tabla 3.4.2.

Descenso horario de la presión (mb)	Distancia aproximada al centro (millas)
0,7 - 2,0	150 a 250
2,0 - 2,7	100 a 150
2,7 - 4,0	80 a 100
4,0 - 5,5	50 a 80

Tabla 3.4.1. Distancia aproximada al centro del huracán, conociendo descenso de horario de la presión.

Fuente: elaboración propia.

Variación de Presión (mb)	Posición de la tormenta (cuartas)
1013 - 1003	12
1003 - 993	10
< 993	8

Tabla 3.4.2. Posición de la tormenta, conociendo la variación de la presión. Cuartas hacia la derecha de la dirección del viento. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, después de conocer la distancia y demora del ojo del huracán, el marino hallará en qué semicírculo y cuadrante del huracán se encuentra para poder ejecutar la maniobra de evasión.

Observando el sentido en que rola el viento se conocerá el semicírculo en el que se encuentra el buque, localizándose en el semicírculo derecho cuando el viento cambia su dirección en sentido horario y en el semicírculo izquierdo cuando el viento role en sentido opuesto. En el caso de que el viento mantuviese una dirección constante el buque se encontraría muy próximo a la trayectoria del huracán. A su vez, cuando la presión desciende y los vientos arrecian el buque se encuentra en el cuadrante anterior

y si la presión aumenta y la intensidad de los vientos decrece se encontrará en el cuadrante posterior.

Conociendo todos estos factores se realizarán las siguientes maniobras (Figura 3.4.1.), dependiendo de la ubicación del buque en el ciclón.

- Buque en el semicírculo derecho, cuadrante anterior o posterior (RF y RR): poner rumbo para dejar el viento 45° por el costado de estribor, avanzando con la mayor máquina posible. Es de esperar que debido a la intensidad y dirección de los vientos la velocidad de avance del buque se vea fuertemente reducida.
- Buque en el semicírculo izquierdo, cuadrante anterior o posterior (LF y LR): poner rumbo para dejar el viento 135° por el costado de estribor, avanzando con la mayor máquina posible.
- Buque por delante del huracán y dentro de su trayectoria (A): poner rumbo hacia el semicírculo izquierdo del huracán dejando el viento abierto 160° por la aleta de estribor.

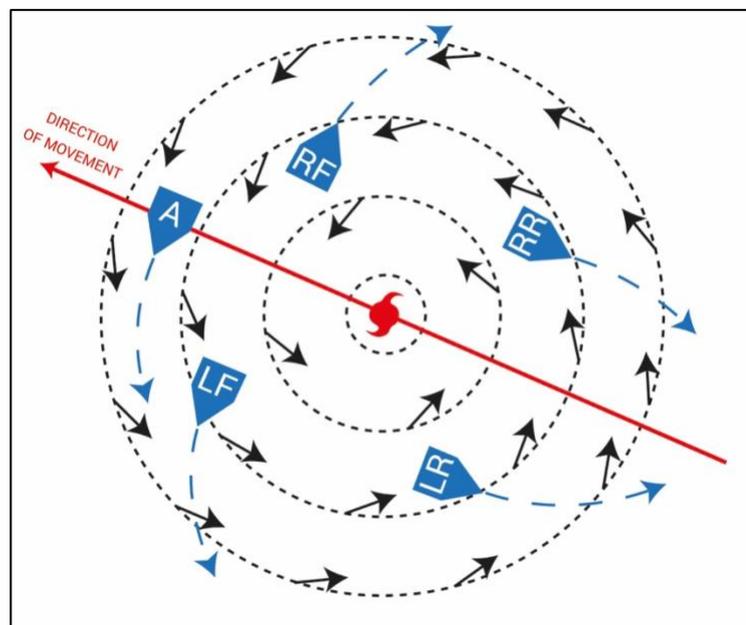


Figura 3.4.1. Maniobras de evasión - Fuente: *Mariner's Guide For Hurricane Awareness In The North Atlantic Basin.*

4. CASO PRÁCTICO: SS EL FARO

Con el fin de llevar a la práctica los temas desarrollados en este trabajo, a continuación se estudiará el hundimiento del buque SS El Faro durante el huracán Joaquín en el año 2015. La finalidad de este caso práctico será examinar las diferentes decisiones que desencadenaron en la aproximación del buque a una distancia cercana a las 22 millas del ojo del huracán.

4.1. Introducción al caso

A modo de introducción al caso, se describirán las principales características del buque accidentado. De igual modo se comentarán detalles relevantes acerca de la tripulación, como su formación en la navegación con mal tiempo, los conocimientos sobre ciclones tropicales o el papel desempeñado en momentos previos al accidente.

También se detallará la derrota seguida por El Faro, así como las alternativas con las que contaban antes de entrar en el cuerpo del huracán, asimismo se mencionarán las características de dicho fenómeno, los productos meteorológicos emitidos a raíz de este y las observaciones que llevó a cabo la tripulación.

4.1.1. El barco

El SS El Faro fue un buque construido en el año 1975 en Pennsylvania en los astilleros Sun Shipbuilding & Drydock Co. Originalmente era un buque de carga rodada, de la clase *Ponce de León*, sin embargo, en el año 2006, tras una modificación en astillero, se habilita para el transporte simultáneo de contenedores y carga rodada, pasando a ser un buque «con-ro».

Las dimensiones del buque eran: 241 metros de eslora total, 28'6 metros de manga y 9,2 metros de calado máximo con un desplazamiento de 34.677 toneladas largas. Con 33 personas a bordo a la salida de Jacksonville, el buque transportaba 391 contenedores y 295 remolques y automóviles.

Propulsado por una única hélice, mediante un sistema compuesto por dos turbinas de vapor de General Electric, que generaban 30.000 caballos de potencia, tenía una velocidad de servicio de 20 nudos, pudiendo alcanzar una máxima de 24 nudos.

En el Anexo II, se puede consultar el *ship particulars* del buque SS El Faro.

4.1.2. Tripulación

El primer principio para abordar la navegación en áreas donde es frecuente la presencia de huracanes activos, como ya se ha mencionado al comienzo de este trabajo, es el conocimiento de estos, sus efectos sobre la navegación, las trayectorias comunes y su ciclo evolutivo, entre otros factores. Como se verá en este caso, subestimar o desconocer los efectos de estos fenómenos, causó el acercamiento del buque hasta el centro de la tormenta, incluso habiendo recibido numerosos avisos que informaban del peligro que corrían.

El SS El Faro contaba con: un capitán, un primer oficial, un segundo oficial y un tercer oficial. Entre las responsabilidades del capitán, Michael Davidson, destacaba el monitoreo continuo de las condiciones meteorológicas a lo largo de la travesía para asegurar que la derrota elaborada por el segundo oficial era la más apropiada.

Es de gran relevancia conocer que el capitán y primer oficial obtienen sus credenciales antes del 2001, y hasta entonces la normativa no evaluaba competencias en navegación con mal tiempo³. Pese a no ser evaluado acerca de estos conocimientos, Davidson destacaba por su experiencia en navegación oceánica entre Europa y la costa Este de los Estados Unidos. Sin embargo, dos años después del hundimiento del SS El Faro, la investigación llevada a cabo por la Junta Nacional de Seguridad en el Transporte de EEUU o *National Transportation Safety Board (NTSB)* determinaría que si el capitán contase con esta formación, habría tomado otras decisiones para evitar la tormenta.

Los demás oficiales sí contaban con competencias en la materia de navegación en condiciones de mal tiempo, las grabaciones de voz del registrador de datos de travesía o *voyage data recorder (VDR)*, capturaron comentarios como «*vamos derechos hacia el ojo del huracán*» o «*el huracán está avanzando hacia nuestra derrota*» demostrando que la segunda oficial y el tercer oficial, Danielle Randolph y Jeremie Riehm, hicieron un seguimiento del huracán por diferentes medios, conociendo sus cambios y efectos sobre su derrota, y haciéndoselo saber en todo momento al capitán.

³ El capitán obtuvo su título en en el año 2001. Los requisitos para evaluar las competencias en navegación con mal tiempo entran en vigor en 2002.

Pese a creer que el buque se dirigía hacia el centro de la tormenta, e informar al capitán proponiendo cambios de rumbo en numerosas ocasiones, el capitán desestimó todos los avisos de sus oficiales. Esta conducta sugiere nuevos problemas que no se tratarán en este trabajo, como son los fallos en el *Bridge Resource Management* (BRM). Sin embargo, sí es importante señalar que todos los oficiales contaban con formación en BRM, pero no el capitán. Este es otro factor considerado por la NTSB como uno de los causantes de la falta de eficiencia en las operaciones y comunicaciones a bordo durante este accidente.

4.1.3. Derrota del buque SS Faro los días del accidente

La intención de este apartado es mencionar y analizar brevemente las posibles derrotas que podía trazar el buque SS El Faro en caso de la presencia de un ciclón tropical, independientemente de las predicciones meteorológicas del momento.

El SS El Faro se encontraba en el Puerto de Jacksonville, Florida, el día 28 de septiembre del 2015. El siguiente puerto de recalada era el Puerto de San Juan, Puerto Rico. Se planifica la derrota habitual, utilizada en su línea regular entre ambos puertos, con una distancia aproximada de 1.100 millas por el este de las Bahamas. Comenzando el viaje de mar a las 2144 del 29 de septiembre, el capitán estimaba la hora de llegada (ETA) a las 0500 del 2 de octubre.

Tal como informó la segunda oficial al capitán, como derrota alternativa⁴ en caso de tormenta, podían navegar por el Canal viejo de Bahamas (Figura 4.1.3.1), situado entre la costa de Cuba y el Gran banco de las Bahamas, navegando 160 millas más. Para ello, navegarían por la costa de Florida 500 millas desde la salida de Jacksonville, continuando por el Canal de Santaren hasta llegar al Canal viejo de Bahamas. Este con aguas profundas y seguras para la navegación se extiende más de 100 millas y en su parte más estrecha supera las 12 millas. Finalmente, podían poner rumbo hacia San Juan navegando por el sur de la Isla de Gran Inagua. De igual modo, contaban con dos canales (Figura 4.1.3.1) por los que se podían incorporar a la derrota alternativa en caso de no

⁴ La derrota alternativa había sido utilizada un mes antes para evitar la tormenta tropical Herika. De igual modo, durante la travesía el capitán solicita a la compañía regresar de San Juan por el Canal Viejo de Bahamas, siendo aprobada su solicitud.

haberlo hecho desde el este del estrecho de Florida: por Northeast Providence Channel o Crooked Island Passage.

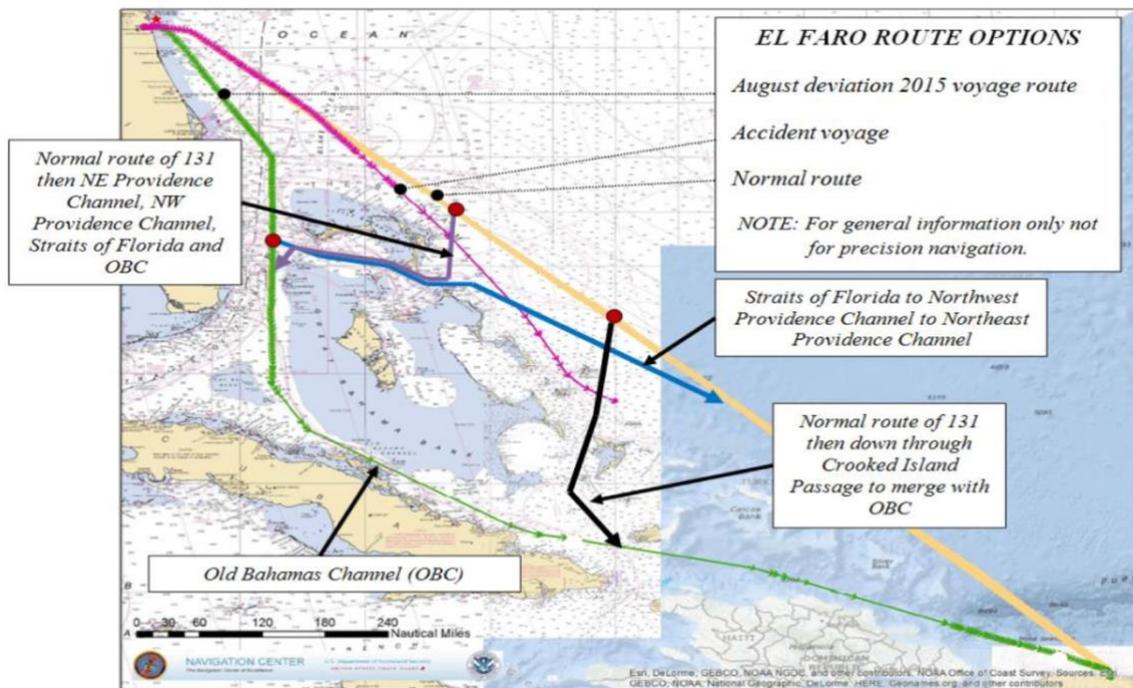


Figura 4.1.3.1. Derrota alternativa, derrota principal y la seguida durante el accidente, junto a otras alternativas. Fuente: National Transportation Safety Board. (2018, septiembre). Sinking of US Cargo Vessel SS El Faro.

Pese al gran número de islas y la existencia de aguas poco profundas que pudieran limitar las maniobras de evasión, los diferentes canales mencionados proporcionaban una importante serie de opciones para eludir un posible huracán.

No obstante, como se verá más adelante, pese a este número de posibilidades, las decisiones tomadas para evitar el huracán consistieron en dos cambios de rumbo hacia el oeste que finalmente no consiguieron desviar al buque de la trayectoria del ciclón.

La derrota principal y alternativa no cuentan con puertos de refugio cercanos. Los lugares evaluados por el Hurricane *Haven handbook for the North Atlantic Ocean* más próximos, como son el puerto de Everglades, la bahía de Guantanamo o el puerto de Roosevelt Roads, no proporcionan resguardo suficiente ante un huracán, por lo que la opción más adecuada para minimizar el peligro sería trazar una derrota alejada del fenómeno.

4.1.4. Huracán Joaquín e información recibida a bordo

El huracán Joaquín fue un huracán de categoría 4, ostentando el récord de haber sido el segundo fenómeno más destructivo en las Bahamas después del huracán Dorian en 2019. Sus características insólitas lo convirtieron en el huracán atlántico sin orígenes tropicales más fuerte que se haya registrado en la era de los satélites, igualmente su trayectoria fue extraordinaria, desplazándose inicialmente hacia el suroeste, produciendo el movimiento de recurva mucho más tarde de lo que se había pronosticado. Este hecho propició que el error en los pronósticos para 72 y 120 horas se duplicara respecto a la media de los últimos cinco años.

La evolución del huracán Joaquín como ciclón tropical comienza el 27 de septiembre, convirtiéndose en la depresión tropical número 11 de ese año, al noreste de las Bahamas. Un día después a las 2236 UTC, debido a la rápida intensificación del fenómeno, el NHC emite el primer aviso por tormenta tropical, con nombre Joaquín, a 400 millas al noreste de las Bahamas. Aproximadamente una hora después de zarpar el SS El Faro de Jacksonville, el día 30 a las 0254 UTC, el NHC emite la primera advertencia por huracán. En ese momento se encontraría aproximadamente a 160 millas a babor del punto medio de la derrota planificada, y continuaría su rápida intensificación hasta alcanzar categoría 4 a las 0800 UTC del día 1 de octubre.

El SS El Faro era integrante del sistema GMDSS, por lo que se mantenía a la escucha de información de seguridad marítima, incluida información meteorológica emitida por la agencia estatal de meteorología.

El buque disponía de un equipo Inmarsat-C, por el que recibió información meteorológica actualizada en todo momento. La investigación reveló que durante el periodo comprendido entre el 27 de septiembre y el 1 de octubre el NHC y el OPC emitieron cerca de 50 pronósticos⁵ sobre el ciclón tropical Joaquín. Cabe mencionar que todos los pronósticos de alta mar emitidos por el OPC tuvieron prioridad de urgencia (PAN-PAN).

⁵ Los avisos intermedios del NHC solo eran emitidos si se solicitaba la recepción de productos vía FTPmail. La investigación no halló evidencias de dicha solicitud.

Aunque el buque recibió información constante vía Inmarsat-C, en todo momento se siguió la información proporcionada por el BVS, un software que mostraba de manera gráfica sobre la derrota del buque la información proporcionada por el TCM. Este sistema estaba instalado en el ordenador del capitán, donde recibía los pronósticos actualizados, una vez descargados los enviaba a un ordenador situado en el puente donde podían ser estudiados por los oficiales. El programa disponía de una opción para recibir todos los partes del NHC cada vez que se emitían, sin embargo, esta herramienta nunca fue activada.

Pese a que su formato proporcionaba una gran ventaja, por su fácil y rápida interpretación, frente a los demás productos de texto, durante la navegación a San Juan la información procesada por el BVS demoró de media 6 horas desde la emisión de los pronósticos oficiales, por lo que en este periodo la tormenta ya había sufrido cambios significativos.

Dos avisos fueron emitidos en el canal 16 por medio de un avión de la guardia costera de los Estados Unidos, en ellos pedían a todos los barcos que extremaran las precauciones. Pese a encontrarse en ese momento próximos a Providence channel, el capitán decidió no cambiar de rumbo.

También hay evidencias de la escucha de radio vía satélite en el puente, recibiendo el aviso cuando Joaquín pasó de categoría 2 a 3. Otra fuente de información relevante fue la proporcionada por otro buque de la compañía, El Yunque. Este contactó en varias ocasiones con el buque, vía email y VHF cuando estuvo dentro del área de cobertura. El Yunque, que navegaba de San Juan a Jacksonville, informó de vientos superiores a los 100 nudos en las aguas a donde se dirigía en ese momento el SS El Faro.

El NAVTEX también era un equipo disponible a bordo, sin embargo, las grabaciones recogidas en el VDR demostraron que este sistema no funcionaba durante la travesía a San Juan.

Finalmente, en caso de que el buque no hubiese activado el FTPmail no solamente no habría recibido cualquier aviso intermedio, sino que tampoco hubiese contado con ninguno de los productos gráficos emitidos por el NHC, tan importantes por su fácil y rápida interpretación. Como ya se ha mencionado, las imágenes que han acompañado

la explicación de los productos gráficos, en el tema 2 [Información meteorológica a bordo](#), son imágenes reales de los productos que se emitieron durante el huracán Joaquín. Es importante la Figura 2.1.2.3., correspondiente al *tropical cyclone track forecast cone* del día 29, este es el primer aviso donde aparece el lugar del hundimiento del SS El Faro dentro del área de peligro.

4.1.5. Observaciones meteorológicas a bordo

Pese a no estar disponibles todos los medios de recepción de información a bordo, como el NAVTEX, o la falta de productos gráficos e intermedios del NHC, el seguimiento de la velocidad y dirección del viento, la variación de la presión atmosférica, el estado del mar y los cielos durante la navegación proporcionarían suficientes datos para reconocer el peligroso acercamiento del huracán.

Sin embargo, como se pudo conocer tras el desastre, el VDR registró una conversación de los oficiales en la que aseguraban que el anemómetro no funcionaba. Posteriormente las autoridades comprobaron que la dirección del viento se mantuvo constante en todo momento, entre 180° y 193°. Sin embargo, el conocimiento de las leyes de Buys Ballot podría facilitar una demora aproximada del huracán que confirmaría la posición reflejada en los avisos recibidos.

El barco sí contaba con un barómetro y barógrafo que podían mostrar la presión del momento, su tendencia en los últimos cinco días y el cambio de presión en las últimas 6 y 12 horas. El descenso continuado de la presión hasta el momento del hundimiento no solo mostraba el acercamiento del ciclón, sino que confirmaba que las medidas que estaban tomando para eludir el fenómeno no eran efectivas.

Mediante un reporte sobre las condiciones meteorológicas que envió El Faro, el día 30, al Servicio Meteorológico Nacional, se pudo conocer que a las 1000 UTC la altura de las olas era de 1 a 1,2 metros, y el periodo del oleaje de 4 segundos. Estas condiciones fueron empeorando paulatinamente y de forma notoria, hasta alcanzar las olas en el momento del hundimiento alturas de 7 a 11 metros con periodos aproximados de 12 segundos.

Finalmente, el estado del cielo lo describiría el marinero de puente a las 1219 del día 30, cuando le dijo al capitán «Ha salido el sol, cielo azul. No parece que haya muchas nubes».

En ese momento el huracán estaba aproximadamente a 300 millas del SS El Faro. Esta observación reflejaba un cambio en las condiciones meteorológicas.

4.2. Toma de decisiones

A partir de los datos publicados en la investigación del hundimiento del SS El Faro, como la información registrada en el VDR o los productos meteorológicos emitidos en ese momento, se estudiarán las decisiones tomadas ligadas a la temática desarrollada en este trabajo.

La primera decisión a la que se enfrentó el capitán del SS El Faro antes de zarpar, cuando se encontraba en el puerto de Jacksonville el día 28 de septiembre de 2015, fue si permanecer en puerto, navegar por la derrota planificada o realizar cambios sobre esta.

Análisis

Para comprobar las trayectorias comunes de los huracanes durante la correspondiente época del año, se deben estudiar las *Pilot Charts* del mes de septiembre y octubre, dado que la travesía transcurrirá entre ambos meses (Figura 4.2.1.). En el mes de septiembre, las trayectorias de los ciclones tropicales, en verde, habitualmente siguen la costa este de Cuba, próximas al Canal viejo de Bahamas, sin embargo, en el mes de octubre esta tendencia se produce hacia el oeste de esta misma isla. Analizando ambas imágenes se puede apreciar que las trayectorias de los huracanes tienden a estar más al oeste en el transcurso entre ambos meses. De igual modo, las trayectorias publicadas por la NOAA parecen confirmar esta tendencia, sin embargo, en el mes de septiembre las trayectorias comunes están más hacia el este, próximas a las Bahamas. También existe una fuerte tendencia al oeste de Jamaica.

Una vez conocida esta información, se procederá a analizar los productos meteorológicos emitidos hasta el momento de zarpar. El NHC emite su primer aviso acerca de este fenómeno el día 27 a las 1500 UTC, pasando hasta entonces más de 24 horas, se podrá estudiar a parte de las condiciones actuales y pronosticadas, la tendencia de su trayectoria.

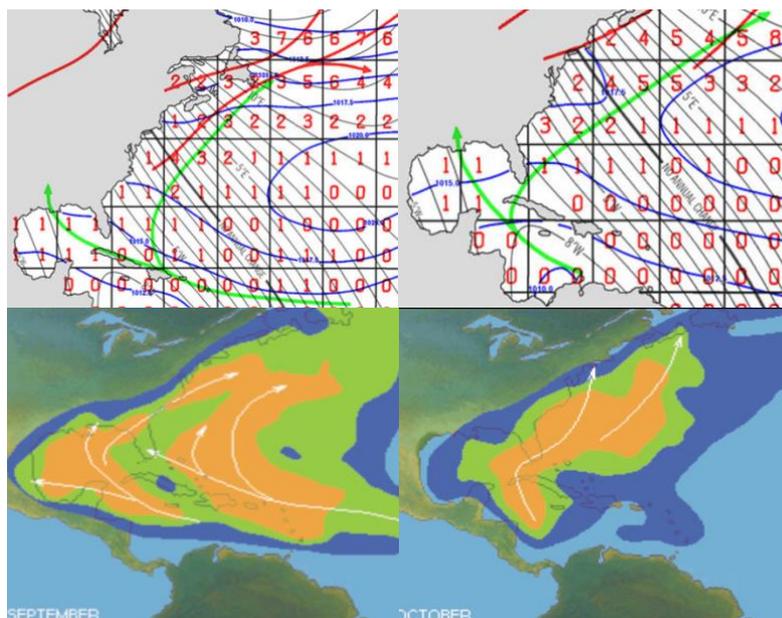


Figura.4.2.1. Trayectorias comunes de los huracanes en el mes de septiembre y octubre, publicadas en las Pilot Charts (parte superior) y por la NOAA (parte inferior). Fuente: Maritime Safety Information. (s. f.). National Geospatial-Intelligence Agency.

<https://msi.nga.mil/Publications/APC>

El TCM número 8 de las 2100 UTC (Anexo III), el más actual, informa de que no hay avisos o alertas por la tormenta tropical Joaquín, pero se deberá hacer un seguimiento en su progresión, especialmente en la zona de Bahamas. La posición del fenómeno es próxima a 26.0°N 071.0°O, con movimiento sur-suroeste (rumbo 240°) a una velocidad de 4 Kt, con vientos sostenidos de 55 Kt con rachas de 65 Kt, y una presión central de 990 mb.

En la Figura 4.2.2. se representa en azul la derrota seguida por el buque⁶ y en rojo la que se hubiera seguido si no se hubiesen efectuado cambios de rumbo, junto a la posición de la tormenta y su avance previsto en el TCM. Este predice que el fenómeno continuará intensificándose, y tras 24 horas alcanzará la categoría de huracán. A continuación, se ubica el ciclón en su posición actual y en las próximas 24, 48 y 72 horas, aplicando la regla 1 – 2 – 3, se traza el área donde hay vientos iguales a 34 Kt (negro), siguiendo la misma regla se le suman 100 millas en su radio en la predicción de 24 horas (azul), del

⁶ La derrota principal representada en las imágenes se ha trazado a partir de las posiciones registradas en el VDR.

mismo modo se le suman 200 millas en la predicción para 48 horas (verde) y finalmente se sumarán 300 millas en la predicción de 72 horas (amarillo).

A partir de esta información, se estima que en el momento de la salida la tormenta tropical se encuentra a 610 millas del buque. Su trayectoria no corta la derrota principal, sin embargo, se estima un CPA de tan solo 47 millas navegando a una velocidad de 20 Kt, alcanzando esta situación el día 1 a las 0545 UTC. De igual modo, como se puede observar el buque se encontrará aproximadamente a 77 millas de los vientos peligrosos del día 30, entrando en dicha área el día 1.

La distancia que hay entre la tormenta tropical y el buque en el comienzo del viaje, es lo suficiente amplia como para justificar la decisión de no permanecer en puerto. De igual modo, el puerto de Jacksonville no es considerado un puerto de refugio ante huracanes, por lo que se recomienda la evasión en el mar. Sin embargo, la información disponible pronostica vientos peligrosos próximos a la derrota planificada, alcanzando un CPA pequeño con el centro del huracán y navegando dentro del área peligrosa.

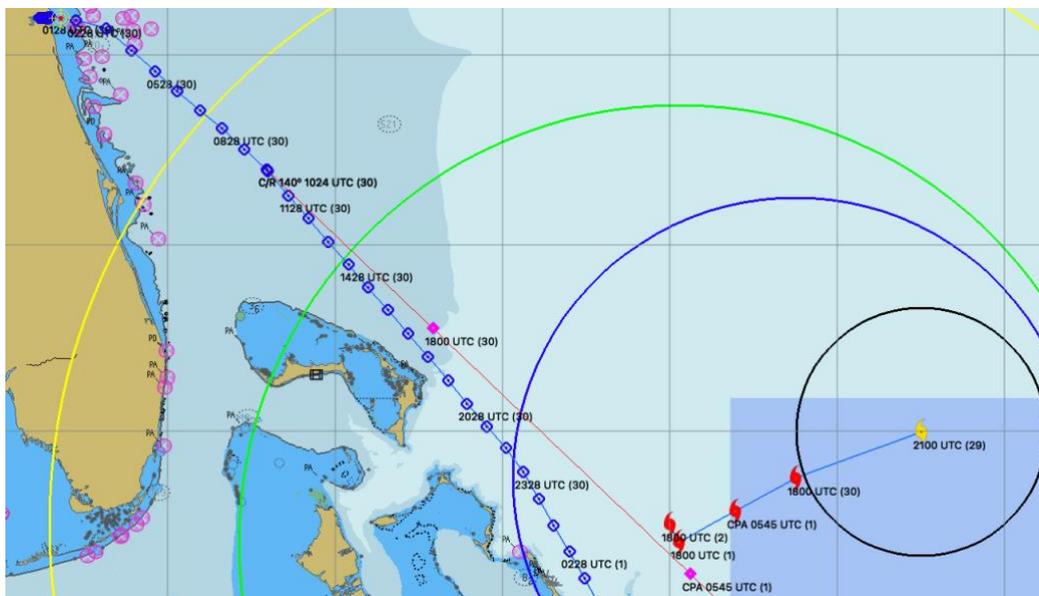


Figura 4.2.2. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín a la salida de Jacksonville, su CPA y su posición real registrada cada hora. Fuente: original del autor.

Por último, observando la tendencia entre las 0300 UTC del día 28 y las 2100 UTC del día 29, con la ayuda del *3-Day Track Forecast, Uncertainty Cone* se puede apreciar un

desplazamiento hacia el sur-suroeste que tiende a ralentizarse debido al movimiento de recurva pronosticado para el día 2 (Figura 4.2.3.). Todas las publicaciones muestran un acercamiento sobre la derrota del buque, por lo que la opción más segura hasta este momento es modificar la derrota hacia el oeste.

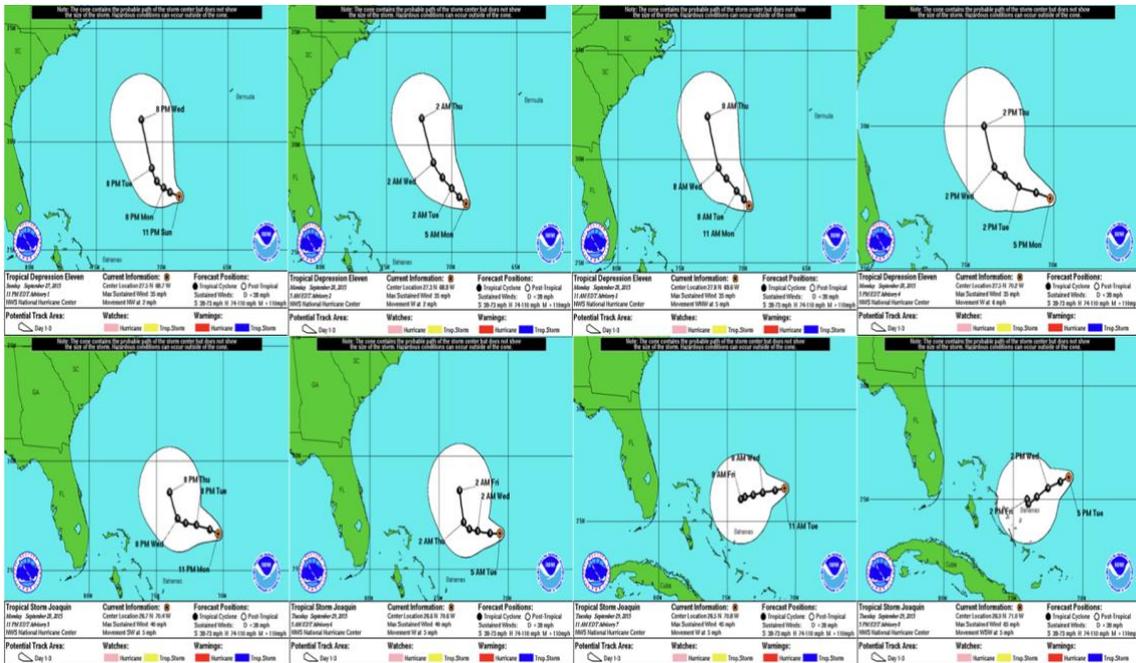


Figura 4.2.3. Tendencia del movimiento del ciclón tropical desde las 1500 UTC del 27 de septiembre hasta las 2100 UTC del 29 de septiembre. Fuente: JOAQUIN Graphics Archive. (s. f.). National Hurricane Center. https://www.nhc.noaa.gov/archive/2015/JOAQUIN_graphics.shtml

Pese la proximidad prevista entre el buque y el ciclón tropical, el buque no lleva a cabo ninguna acción hasta las 1024 UTC del día 30, cuando efectúa el primer cambio de rumbo, cayendo 7° hacia el oeste, con el fin de navegar por el este de San Salvador, acercándose lo máximo posible a esta isla. Nuevamente, se estudiarán las condiciones meteorológicas conocidas hasta ese momento para analizar esta decisión.

El TCM más reciente en ese momento, era el de las 0900 UTC, este informa que hay advertencia por huracán en el centro de las Bahamas y se mantiene el seguimiento del fenómeno en el noroeste, excluyendo la isla de Andros. Aún con condición de tormenta tropical se desplaza a una velocidad de 5 Kt, hacia el sursuroeste (rumbo 245°). Su posición aproximada en este momento es 25.4°N 072.5°O. Con vientos sostenidos de 60 Kt y rachas de 75Kt y una presión central de 988 mb, se aprecia como la tormenta se

está intensificando. A continuación, se representan las diferentes posiciones del ciclón pronosticadas en el TCM y la regla 1 – 2 – 3, con el mismo código de colores.

Este pronóstico nuevamente muestra un cambio en la trayectoria del ciclón a partir del día 1, momento en el que el buque prevé encontrarse al suroeste del fenómeno.

Con este cambio en la derrota (Figura 4.2.4.), se consigue incrementar el CPA a 55 millas y no cortar la trayectoria del ciclón, sin embargo, se estima que el buque se encontrará dentro del área de vientos peligrosos del día 1 (círculo azul).

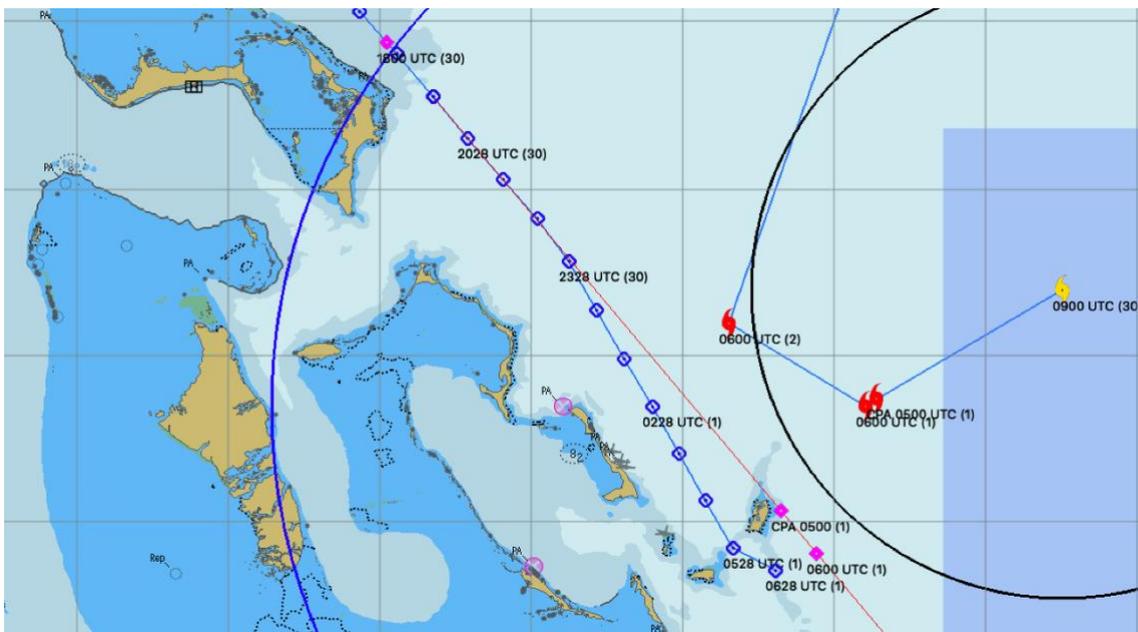


Figura 4.2.4. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín tras el primer cambio de rumbo, su CPA y su posición real registrada cada hora. Fuente: original del autor.

El buque sigue navegando con rumbo verdadero 140° hasta las 2300 UTC, momento en el que se cambia nuevamente al rumbo verdadero 150° . Con este cambio de rumbo se pretende navegar por el sur de San Salvador, incrementando el CPA a la vez que se encuentra al socaire de dicha isla. Una vez con San Salvador por popa, cambiarían nuevamente a un rumbo 116° para volver a la derrota inicialmente planificada. El TCM más reciente en ese momento es el de las 2100 UTC. La tormenta tropical Joaquín ha evolucionado a huracán, en ese momento existen alertas por huracán en el centro y noroeste de las Bahamas. El centro del huracán se encuentra en posición 24.3°N 073.1°O , con movimiento suroeste (225°) y velocidad 7 Kt. La presión central es de 967 mb, con vientos sostenidos de 75 Kt y rachas de 90 Kt. Con esta información se puede

determinar que el fenómeno continúa intensificándose, sin comenzar su movimiento de recurva, mantiene una trayectoria hacia el suroeste que dificulta la evasión por parte del buque. Tras posicionar sobre la carta de navegación la información facilitada por el TCM, se estima que el CPA continuará disminuyendo, alcanzando un valor de 36 millas a las 0728 UTC, permaneciendo dentro del área de vientos peligrosos como se observa en la Figura 4.2.5. Pese a ello, no se efectuará ningún cambio de rumbo, incluso estando tan próximos a Providence Channel.



Figura 4.2.5. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín tras el segundo cambio de rumbo y su posición real registrada cada hora. Fuente: original del autor.

A las 0520 UTC, una vez el buque se encuentra al suroeste de San Salvador, se hace el último cambio de rumbo al 116°/V. El TCM más reciente en ese momento, el de las 0300 UTC, muestra una nueva disminución importante en el CPA que desciende hasta 25 millas. Por primera vez, la derrota planificada cortará la trayectoria del huracán, a la vez que se mantiene dentro del área de vientos peligrosos. Como se observa en la Figura 4.2.6, el huracán aún no ha comenzado el movimiento de recurva y continúa desplazándose hacia el suroeste. La presión central de 951 mb, junto a los vientos sostenidos de 100 Kt con rachas de 120 Kt confirman que el huracán continúa intensificándose, alcanzando la categoría 3 en ese momento. Los datos registrados en el

VDR permiten saber que en ese momento la segunda oficial avisó al capitán sobre la última información recibida sobre el huracán Joaquín, sin embargo, este ordenó el cambio de rumbo que dirigiría al buque hacia el huracán. En esta posición cabe mencionar la proximidad del canal de la isla de Crooked, que alejaría al buque hacia el sur, lejos del centro del huracán.



Figura 4.2.6. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín tras el cambio de rumbo de las 0528 UTC y su posición real y estimada. Fuente: original del autor.

Desde este momento, lejos del resguardo de San Salvador, el buque comenzó a escorarse hacia estribor fruto de la fuerza ejercida por el viento sobre su costado (windheel) y los golpes de mar. Se hicieron diferentes cambios de rumbo para reducir la escora, sin embargo, cuando el buque escoraba se producía una gran entrada de agua por una escotilla abierta en cubierta. Este problema se pudo solucionar, pero el corrimiento de coches, mal trincados como determinó la investigación, abrió una nueva vía de agua tras la rotura de la toma de agua de mar de la bomba contraincendios de emergencia. La entrada de agua provocó una escora mayor, alcanzando valores superiores a los 18°, que causó la pérdida de succión de aceite de la máquina y su posterior parada. A las 1129 UTC, poco después de perder la máquina, el capitán da la orden de abandono del buque, 10 minutos después finaliza el audio del VDR.

Conociendo que el buque contaba con estos productos meteorológicos que informaban acerca del continuo acercamiento al ciclón tropical y que las decisiones tomadas para evitarlo no eran suficientes, surge la pregunta ¿qué fallo en el seguimiento del ciclón tropical?

Como ya se ha mencionado, el procedimiento adecuado cuando se navega en presencia de un ciclón tropical consiste en un continuo seguimiento del fenómeno mediante un análisis de riesgos con el fin de prever la trayectoria del ciclón y su área peligrosa (regla 1 - 2 - 3), a la vez que se efectúan las observaciones meteorológicas necesarias que corroboren la información recibida. Una vez conocida la información sobre el ciclón, se debe analizar su tendencia y posición respecto al buque, efectuando cambios de rumbo y/o velocidad si el CPA disminuye.

La NTSB determinó en su investigación que la causa probable del hundimiento de SS El Faro fue las insuficientes medidas por parte del capitán para evitar el huracán y su fallo al no usar la información meteorológica más actualizada.

Desde que el buque SS El Faro zarpó de Jacksonville, los TCM muestran el área de vientos peligrosos sobre la derrota trazada, un CPA que decrece y finalmente la intersección de la derrota del buque y la trayectoria del ciclón. Estos también muestran en cada emisión la tendencia del fenómeno a desplazarse hacia el suroeste.

Pese a que esta información era conocida a bordo, el seguimiento del huracán por parte del capitán se efectuó mediante el BVS y dio prioridad a este en todo momento. La información gráfica arrojada por este sistema consistía en la misma proporcionada por el TCM, sin embargo, el tiempo de procesado provocaba un retraso de 6 horas con respecto a la información recibida por Inmarsat-C SafetyNET. La demora en la interpretación de esta información incrementó cuando un error en el BVS mostró al capitán la información válida para las 2300 del día 29 cuando estaba analizando el archivo válido para las 0500 del día 30, por lo que en este momento de la navegación, la toma de decisiones se estaba realizando sobre información de hace 12 horas. Este retraso categorizaba al ciclón tropical Joaquín como tormenta tropical cuando ya había evolucionado a huracán, del mismo modo lo posicionaba 82 millas al noreste de su posición real, y la intensidad de sus vientos eran 10 Kt menores a los que se producían en ese momento.

A la demora en el análisis de los productos emitidos por el BVS se le sumó el movimiento anómalo del ciclón hacia el suroeste, que propició un gran error en las predicciones para 72 y 120 horas, emitidas por el NHC y OPC, siendo el doble que la media de los últimos 5 años.

Un momento importante durante la navegación ocurre a las 0900 UTC del día 1, en este instante el capitán interpreta la situación en el BVS, mediante un archivo basado en el TCM de las 2100 UTC del día anterior. En ese instante, el TCM recibido por Inmarsat-C reflejaba una situación totalmente diferente en la posición del huracán, siendo esta mucho más próxima a la posición exacta del fenómeno. El BVS situaba el buque al sur del fenómeno, mientras que la información más reciente lo situaba dentro de su derrota a tan solo 11 millas.

Con esta diferencia tan importante, lo más eficiente en ese momento hubiera sido llevar a cabo las observaciones necesarias para determinar la posición del buque dentro del fenómeno, al mismo tiempo que se descartaba la información errónea y se planificaba la maniobra de evasión más segura.

Observaciones meteorológicas:

- Presión

El descenso horario de la presión registrado en el barógrafo hasta el momento sería mayor a 5,5 mb. Esta variación indicaba la proximidad del fenómeno, ubicándolo a una distancia menor a 50 millas.

A su vez, debido al valor tan bajo de la presión central del huracán Joaquín, próxima a 945 mbar a las 0900 UTC, aplicando la ley de Buys Ballot, la ubicación del centro de bajas presiones estaría a 8/4 a babor de la dirección del viento.

- Viento

A pesar de no contar con un anemómetro operativo, el buque podía conocer la dirección del viento de forma aproximada. Como se aprecia en la Figura 4.2.8, la posición real del fenómeno o la señalada por el NHC a las 0900 UTC, implicaban vientos que incidían sobre el costado de babor del buque. Sin embargo, en la situación mostrada en el BVS los vientos del fenómeno incidirían sobre la aleta de estribor.

La escora hacia estribor provocada por el viento que registró el VDR y de la que era consciente la tripulación, confirmaba que la dirección del viento incidía sobre el costado de babor, por lo que la posición del huracán que indicaba el BVS no podía ser correcta. Finalmente, conociendo el cambio en la dirección del viento durante las horas previas, en sentido horario, el buque podía conocer en qué semicírculo se encontraba.

- Oleaje

El constante aumento de la altura de las olas y el periodo del oleaje también confirmaba que el buque no estaba dejando el ciclón al norte, las previsiones estimaban que la altura de las olas iría incrementando, alcanzando una altura próxima a los 11 metros a las 0900 UTC.

- Nubosidad

Finalmente, la visibilidad nula, debida entre otros factores a las nubes espesas y la intensidad de las precipitaciones también descartarían que el buque se estuviese alejando del fenómeno, tal y como reflejaba el BVS.

Con toda esta información se podía deducir que el buque se encontraba en las proximidades del centro del huracán, estando en el semicírculo derecho, en su cuadrante anterior. Conociendo la posición más exacta del huracán, publicada en el informe final del huracán Joaquín, emitido por el NHC en 2016, el fenómeno se encontraba al $118^{\circ}/V$ a una distancia de 22 millas, y a una distancia de 11 millas según la posición indicada en el TCM de las 0900 UTC (Figura 4.2.7.).

A continuación el buque debería comenzar la maniobra de evasión, para ello caería a babor, dejando el viento 45° por estribor y con la mayor velocidad posible saldría del cuerpo del ciclón, con un rumbo próximo al $317^{\circ}/V$. Iniciada la maniobra de evasión, mantendrían especial atención a la dirección del viento y la presión atmosférica, si el buque no realiza ningún nuevo cambio de rumbo, la variación de estos factores podría ser motivada por el movimiento de recurva, teniendo que realizar nuevos cambios de rumbo para mantener el viento 45° por estribor.

Por último, cuando el buque se encontrase fuera de la región de vientos peligrosos podría poner rumbo hacia el puerto de destino, debido a que este se encontraba fuera de las posibles trayectorias que podía tomar el huracán.

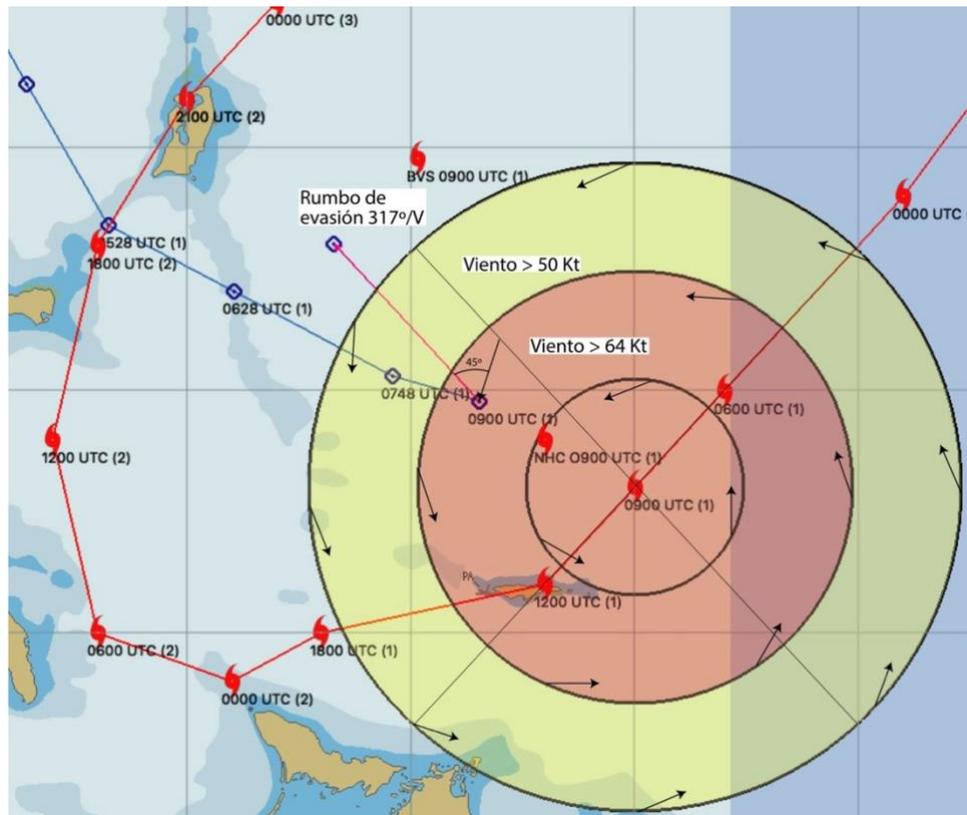


Figura 4.2.7. Representación de la trayectoria real del ciclón y del buque, posiciones pronosticadas por el NHC y BVS, desde las 0900 UTC, en magenta se representa la maniobra de evasión. Fuente: original del autor.

4.3. Conclusiones del caso

La investigación realizada por la NTSB elaboró un listado con 81 puntos, de los cuales 6 estaban relacionados con la meteorología. A continuación se analizan estos últimos:

1. La decisión del capitán de zarpar de Jacksonville era razonable, dadas las opciones disponibles para evitar el ciclón tropical. Como ya se mencionó, el buque contaba a lo largo de la navegación con numerosas alternativas para evitar el huracán.
2. El buque recibió suficiente información meteorológica para una correcta toma de decisiones respecto a la derrota seguida por el capitán.
3. Pese a contar con información actualizada, la toma de decisiones se llevó a cabo mediante información desfasada, llegando a superar 12 horas en momentos de gran importancia.
4. El capitán no tomó las medidas necesarias para evitar el huracán, pese a realizar diversos cambios de rumbo, estos no fueron suficientes, disminuyendo

continuamente el CPA hasta encontrarse a tan solo 22 millas del centro del huracán.

5. El capitán no consideró las diferentes alternativas propuestas por los diferentes oficiales a lo largo de la travesía.
6. La capacitación en operaciones en condiciones meteorológicas adversas, la que incluía meteorología avanzada y de las que el capitán estaba exento, podría haber proporcionado al capitán conocimientos adicionales para evaluar las condiciones que afectaban al buque, y por lo tanto la toma de decisiones.

Con toda esta información, se llega a la conclusión de que el accidente se pudo evitar, pese a los errores de precisión en los pronósticos o la inoperatividad de algunos medios de obtención de datos meteorológicos, como el Navtex, un anemómetro o la recepción de productos vía FTPmail. La información que se conocía a bordo era lo suficientemente consistente como para realizar los cambios necesarios en la derrota que alejasen al buque del ciclón, sin embargo, solo los oficiales eran conocedores de este peligro y pese a alertar al capitán y proponer derrotas alternativas, este no las aceptó.

CONCLUSIÓN

Desde el momento en el que los futuros oficiales de la marina mercante se forman en meteorología en las escuelas de náutica, adquieren conocimientos fundamentales sobre los ciclones tropicales, permitiendo aumentar considerablemente la seguridad de la navegación. Al mismo tiempo, son numerosas las fuentes de información que permiten al marino a lo largo de su vida profesional seguir los avances conseguidos en esta materia.

Fruto del esfuerzo en la formación y el desarrollo de nuevas técnicas en los últimos tiempos, los accidentes derivados del encuentro entre buques y ciclones tropicales se consideran excepcionales. Sin embargo, pese a los avances, la naturaleza de estos fenómenos, como se ha estudiado a lo largo de este trabajo, exigen de una gran destreza sin la cual se perderían aquellas ventajas conseguidas.

Tomar como verdad absoluta una única fuente de información está intrínsecamente relacionado con no emplear toda la información disponible a bordo. De igual modo, la única manera de corroborar estos datos es realizando observaciones meteorológicas, con una correcta metodología, permitiendo al marino estimar la posición más precisa del fenómeno en el caso de existir diferencias entre predicciones.

Incluso contando con amplios conocimientos e información precisa, dada la rapidez con la que un ciclón tropical puede experimentar cambios significativos, la toma de decisiones se deberá realizar sin incurrir en demoras, a partir de la información más actualizada, siendo esta analizada conjuntamente entre oficiales y capitán.

Por todo ello, se llega a la conclusión de que la gestión de la derrota en aguas donde existe la posibilidad de que se desarrolle un ciclón tropical, se deberá llevar a cabo por una tripulación que desarrolla su trabajo de forma conjunta y de manera eficiente, basándose a su vez sobre unos conocimientos sólidos y actualizados.

BIBLIOGRAFÍA

Admiralty. (2018). *Ocean passages for the world Atlantic ocean* (7.^a ed., Vol. 1). United Kingdom Hydrographic Office.

American Bureau of Shipping. (2021). *Bridge Design and Navigational Equipment/Systems*. ABS Plaza.

Bowditch, N. (2019). *American Practical Navigator*. Volumen 1. Paradise Cay Publications.

Bureau Veritas. (2021). *Rules for the Classification of Steel Ships*. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/bv-rules>

Cangialosi et al., (2020). *Recent Progress in Tropical Cyclone Intensity Forecasting at the National Hurricane Center* (6.a ed., Vol. 35). <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0168.1>

Cappucci, M. (2019). *Hurricane Dorian probably whipped up a 100-foot rogue wave near Newfoundland*. Washington Post.

<https://www.washingtonpost.com/weather/2019/09/09/hurricane-dorian-likely-whipped-up-foot-rogue-wave-near-newfoundland/>

Holweg, E. (2000). *Mariner's Guide For Hurricane Awareness In The North Atlantic Basin*. <https://www.nhc.noaa.gov/marinersguide.pdf>

Fisure, R., Lanza, R. F. (2006). *Meteorología y oceanografía*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Klotzbach, P. (2020). *Surface Pressure a More Skillful Predictor of Normalized Hurricane Damage than Maximum Sustained Wind*.

<https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/101/6/bamsD190062.xml>

Lloyd's Register. (2021). *Rules and Regulations for the Classification of Ships*. Lloyd's Register Group Limited .

National Aeronautics and Space Administration. (2019). *A Devastating Stall by Hurricane Dorian*. NASA Earth Observatory. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145559/a-devastating-stall-by-hurricane-dorian>

National Geospatial-Intelligence Agency. (s. f.). *Atlas of pilot charts*.

<https://msi.nga.mil/Publications/APC>

National Hurricane Center. (2021). *Definition of the NHC Track Forecast Cone*.

<https://www.nhc.noaa.gov/aboutcone.shtml>

National Hurricane Center. (s. f.). *Marine Safety*.

<https://www.nhc.noaa.gov/prepare/marine.php>

National Hurricane Center. (s.f.). *NHC Data Archive* <https://www.nhc.noaa.gov/data/>

National Ocean Service. (s. f.). *Historical Hurricane Tracks*.

<https://oceanservice.noaa.gov/news/historical-hurricanes/>

National Transportation Safety Board. (2017). Accident Report PB2018-100342.

<https://www.nhc.noaa.gov/pdf/ElFaro-NTSB-full.pdf>

National Transportation Safety Board. (s. f.). Sinking of the Freight Vessel El Faro.

<https://data.nts.gov/Docket/?NTSBNumber=DCA16MM001>

National Transportation Safety Board. (2018). *Sinking of the US Cargo Vessel El Faro Illustrate Digest*.

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/SPC1801.pdf>

Naval Meteorology and Oceanography Command. (2016). *Hurricane Havens Handbook*.

https://www.nrlmry.navy.mil/port_studies/tr8203nc/index.html

Organización Marítima Internacional (2018). *Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS)*. Edición de 2018.

Organización Meteorológica Mundial. (s.f.). *Ciclones Tropicales*.

<https://public.wmo.int/es/ciclones-tropicales>

Puertos del estado. (s.f.). *Redes de medida*. <https://www.puertos.es/es-es/Paginas/FAQ.aspx>

United States Coast Guard (s.f.). *El Faro Marine Board of Investigation Document Library*.

<https://www.news.uscg.mil/News-by-Region/Headquarters/El-Faro-Marine-Board-of-Investigation/>

United States Coast Guard. (2017). *Steam Ship El Faro*.
<https://www.nhc.noaa.gov/pdf/coast-guard-el-faro.PDF>

Voluntary Observing Ship Program (2019). *Mariners Weather Log* (1.a ed., Vol. 63).
National Weather Service. <https://www.vos.noaa.gov/MWL/201905/201905.pdf>

World Meteorological Organization. (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Chair, Publications Board.

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

As: altoestratos.

BRM: bridge resource management.

BVS: Bon Voyage System.

Cb: cumulonimbos.

Con-ro: portacontenedores y de carga rodada.

CPA: Closest Point of Approach/ punto más cercano de aproximación.

Cs: cirroestratos.

E: este.

ETA: Estimated time of arrival/Hora estimada de llegada.

GMDSS: Global Maritime Distress Safety System/ Sistema mundial de socorro y seguridad marítimos.

GT: Gross Tonnage/ Tonelaje Bruto.

GTWO: Graphical Tropical Weather Outlook/ perspectiva del tiempo tropical.

HF: High frequency/ onda corta.

HN: hemisferio norte.

hPa: hectopascal.

ITCZ: Intertropical Convergence Zone/ cinturón de bajas presiones.

Km: kilómetros.

Kt: Knot/nudos.

Mbar: milibar.

MF: Medium frequency/Onda media

N: norte.

NGA: National Geospatial-Intelligence Agency/ Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial.

NHC: National Hurricane Center/ Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos

NO: noroeste.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration/ Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica.

NTSB: National Transportation Safety Board/ Junta Nacional de Seguridad en el Transporte.

O: oeste.

OMM: Organización Meteorológica Mundial.

OPC: Ocean Prediction Center/ Centro de Predicción Oceánica.

PWS: Tropical Cyclone Surface Wind Speed Probabilities/ Probabilidades de la velocidad del viento en superficie de un ciclón tropical.

SOLAS: Safety of Life at Sea/ Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar.

TCD: Tropical Cyclone Discussion/ Discusión del Tiempo Tropical.

TCM: Tropical Cyclone Forecast – Advisory/ Pronóstico - Aviso de ciclones tropicales.

TWO: Tropical Weather Outlook/ Pronóstico del tiempo tropical.

UTC: Coordinated Universal Time/ Tiempo Universal Coordinado.

VDR: Voyage Data Recorder/ Registrador de Datos de la Travesía.

VHF: Very High Frequency/ Onda de muy alta frecuencia.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1. Temperatura superficial del Océano Atlántico en julio de 2020 . Fuente: NOAA	9
Figura 1.3.1. Estructura de un Huracán. Fuente: original del autor.....	11
Figura 1.4.1. Trayectorias más comunes en septiembre y noviembre. Fuente: NOAA .	11
Figura 1.5.1. Pruebas de la presencia de un huracán. Fuente: original del autor.	16
Figura 2.1.1.1. Ejemplo real de TCM. Fuente: https://www.nhc.noaa.gov/data/	20
Figura 2.1.2.1. Tropical surface analysis del 2/10/2015. Se observa el huracán Joaquín en la zona superior (círculo rojo). Fuente: https://www.nhc.noaa.gov	23
Figura 2.1.2.2. Trayectoria y área de peligro del huracán Joaquín. Fuente: https://www.vos.noaa.gov/MWL/201608/nhc.shtml	23
Figura 2.1.2.3. Tropical Cyclone Track Forecast Cone. Fuente: https://www.nhc.noaa.gov/data/	24
Figura 2.1.2.4. 48-Hour Graphical Tropical Weather Outlook. Fuente: https://www.nhc.noaa.gov/data/	25
Figura 2.2.2.1. Mapas de Superficie y 500 mbar del 29/9/2015. Fuente: https://ocean.weather.gov/past_products.php	28
Figura 2.2.2.2. Mapas de Superficie y 500 mbar del 02/10/2015. Fuente: https://ocean.weather.gov/past_products.php	29
Figura 2.3.1. Gráficas de Error de Trayectoria e Intensidad. Fuente: Recent Progress in Tropical Cyclone Intensity Forecasting at the National Hurricane Center	30
Figura 2.4.1. Ejemplo de un cálculo del viento real. Fuente: original del autor.	32
Figura 3.2.1.1. Sección de una Pilot chart del Atlántico Norte, dentro del cuadro rojo, trayectorias frecuentes de los huracanes (verde) y ciclones extratropicales (rojo) en el mes de septiembre. Fuente: https://msi.nga.mil/Publications/APC	38
Figura 3.2.2.1 Regla 1-2-3. En blanco el área de vientos superiores a 34 nudos. Fuente: original del autor.	39

Figura 3.2.2.2. Regla del Sector de peligro. Fuente: Lanza, R. (2005) Meteorología y oceanografía. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco	40
Figura 3.3.1. Puertos evaluados en el Hurricane havens handbook. Fuente: Hurricane havens handbook	43
Figura 3.3.2. Código marítimo de luces y banderas de avisos de tormentas. Fuente: original del autor.	44
Figura 3.4.1. Maniobras de evasión. Fuente: Mariner's Guide For Hurricane Awareness In The North Atlantic Basin.....	47
Figura 4.1.3.1. Derrota alternativa, derrota principal y la seguida durante el accidente, junto a otras alternativas. Fuente: National Transportation Safety Board. (2018, septiembre). Sinking of US Cargo Vessel SS El Faro.	51
Figura.4.2.1. Trayectorias comunes de los huracanes en el mes de septiembre y octubre, publicadas en las Pilot Charts (parte superior) y por la NOAA (parte inferior). Fuente: Maritime Safety Information. (s. f.). National Geospatial-Intelligence Agency. https://msi.nga.mil/Publications/APC	56
Figura 4.2.2. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín a la salida de Jacksonville, su CPA y su posición real registrada cada hora. Fuente: original del autor.	57
Figura 4.2.3. Tendencia del movimiento del ciclón tropical desde las 1500 UTC del 27 de septiembre hasta las 2100 UTC del 29 de septiembre. Fuente: JOAQUIN Graphics Archive. (s. f.). National Hurricane Center. https://www.nhc.noaa.gov/archive/2015/JOAQUIN_graphics.shtml	58
Figura 4.2.4. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín tras el primer cambio de rumbo, su CPA y su posición real registrada cada hora. Fuente: original del autor.	59
Figura 4.2.5. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín tras el segundo cambio de rumbo y su posición real registrada cada hora. Fuente: original del autor.	60

Figura 4.2.6. Estimación de la posición del buque SS El Faro con respecto al ciclón tropical Joaquín tras el cambio de rumbo de las 0528 UTC y su posición real y estimada. Fuente: original del autor. 61

Figura 4.2.7. Representación de la trayectoria real del ciclón y del buque, posiciones pronosticadas por el NHC y BVS, desde las 0900 UTC, en magenta se representa la maniobra de evasión. Fuente: original del autor. 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.5.1. Escala Saffir-Simpson - Fuente: Elaboración propia. 13

Tabla 1.5.2. Clasificación de los huracanes propuesta por la Universidad Estatal de Colorado. Fuente: elaboración propia..... 15

Tabla 3.3.1. Port conditions. Fuente: elaboración propia 43

Tabla 3.4.1. Distancia aproximada al centro del huracán, conociendo descenso de horario de la presión. Fuente: elaboración propia..... 46

Tabla 3.4.2. Posición de la tormenta, conociendo la variación de la presión. Cuartas hacia la derecha de la dirección del viento. Fuente: elaboración propia. 46

ANEXOS

Anexo I**Mariners Tropical Cyclone Risk Analysis Checklist**

1. **Review regional tropical cyclone climatology for area of expected operations.**
- Look for tropical cyclone track and development tendencies.
 - Locate areas of possible rapid intensification (Gulf Stream, Gulf of Mexico).
 - Consider likely areas for sea room in order to maneuver for avoidance.
2. **Obtain latest Marine Prediction Center & Tropical Prediction Center analysis/forecast charts; including surface, upper level, & Sea State (wind/wave) charts.**
- Evaluate evolution of wind/ wave over the forecast period.
 - Look for evolution of synoptic patterns & possible relationship to any tropical cyclone track and intensity changes.
 - Obtain Sea Surface Temperature charts in order to refine location of Gulf Stream & areas with abundant warm water/warm-core ocean eddies.
3. **Locate & plot tropical (easterly) waves, disturbances, and tropical cyclones.**
4. **If available, examine current satellite imagery.**
- View relationship and evolution of cloud features and intense convection with respect to any current or potential tropical cyclone. Note evolution & change of Central Dense Overcast (CDO) associated with any active tropical cyclone as this can sometimes provide a general indication of the extent of 34 KT winds.
5. **Obtain latest tropical cyclone advisory messages. Plot current/forecast positions of all active/suspected tropical cyclone activity.**
- Ensure vessel will meet requirements of 34 KT rule**
 - Calculate and plot for the 1-2-3 rule**
 - Ensure vessel meets MINIMUM requirements of this rule.
 - Conduct forecast track comparison of latest 24-hour period (previous 5 advisories).**
 - Evaluate any increase to buffer zone around the tropical cyclone based on forecast track tendencies observed over the last 24 hour forecast period
6. **Plot completed tropical cyclone danger area to avoid chart.**
7. **Determine possible courses of action (at least 2) for vessel to take in order to remain clear of the Danger Area To Avoid in the tropical cyclone.**
- Evaluate courses of action based on:
 1. Current Forecast Track
 2. Historically Possible Forecast Track (even beyond the 72 hour forecast period)
 3. Worse Case Forecast Track
 - Consider impact of changes in wind, wave, & weather conditions and how they may impede movement of vessel in each course of action.
 - Be aware of sea height impacts that dynamic fetch & Gulf Stream Current with opposing winds can have on vessel movement in each course of action.
8. **Evaluate current/nearby port & hurricane haven locations that may be considered for tropical cyclone avoidance.**
- Consider tropical cyclone forecast track to haven
 - Evaluate berthing & shelter requirements. Consider berthing availability.
 - Compute time/distance considerations of ship versus tropical cyclone both into port or sortie from port.
 - IF ALREADY IN PORT, MAKE EARLY DETERMINATION TO REMAIN IN PORT OR EVADE AT SEA.
9. **Calculate Closest Point of Approach (CPA) to tropical cyclone for all courses of action based on latest forecast/advisory.**
10. **Make decision on course of action to follow and execute. Continue to closely monitor tropical cyclone's progress returning to step 1 of the risk analysis when new meteorological analysis & forecast information becomes available.**

Anexo II**Vessel Particulars**

Vessel Name	SS El Faro
Owner/operator	TOTE Maritime Puerto Rico/TOTE Services
Port of registry	San Juan, Puerto Rico
Flag	United States
Type	Cargo—Ro/Ro container
Built	1975, Chester, Pennsylvania
Official number	561732
IMO number	7395351
Classification society	American Bureau of Shipping
Construction	Steel, reduced scantlings
Draft, full load (extreme)	30 feet 2 3/8 inches (9.2 meters)
Displacement, full load	34,677 long tons
Draft (departure)	29 feet 8 5/16 inches (9.05 meters)
Length	790 feet 9 inches (241.0 meters)
Beam	105 feet 0 inches (32.0 meters)
Depth, main deck to keel	60 feet 1 5/8 inches (18.3 meters)
Gross/net tonnage (international)	31,515/21,473
Engine power and type	Steam turbine, 30,000 shaft horsepower (22,370 kilowatts), single screw
Service speed	20 knots
Cargo	Containers and rolling cargo (automobiles and trailers)
Container Capacity	1,414 TEUs
Autos/40-ft trailers/20-ft trailers capacity	74/24/290
Fuel capacity	11,757 barrels
Freshwater capacity	410 long tons
Ballast water capacity	4,623 long tons
Complement, total	42 (33 crew and 9 others)
Persons on board	33
Fatalities	33
Damage cost	Estimated \$36 million

Anexo III

```
ZCZC MIATCMAT1 ALL
TTAA00 KNHC DDHMM

TROPICAL STORM JOAQUIN FORECAST/ADVISORY NUMBER 8
NWS NATIONAL HURRICANE CENTER MIAMI FL AL112015
2100 UTC TUE SEP 29 2015

THERE ARE NO COASTAL WATCHES OR WARNINGS IN EFFECT.

INTERESTS IN THE BAHAMAS SHOULD MONITOR THE PROGRESS OF JOAQUIN.
WATCHES OR WARNINGS MAY BE ISSUED FOR PORTIONS OF THE BAHAMAS LATER
THIS EVENING.

TROPICAL STORM CENTER LOCATED NEAR 26.0N 71.0W AT 29/2100Z
POSITION ACCURATE WITHIN 30 NM

PRESENT MOVEMENT TOWARD THE WEST-SOUTHWEST OR 240 DEGREES AT 4 KT

ESTIMATED MINIMUM CENTRAL PRESSURE 990 MB
MAX SUSTAINED WINDS 55 KT WITH GUSTS TO 65 KT.
50 KT..... 30NE 50SE 0SW 0NW.
34 KT..... 60NE 80SE 0SW 0NW.
12 FT SEAS..120NE 90SE 60SW 90NW.
WINDS AND SEAS VARY GREATLY IN EACH QUADRANT. RADII IN NAUTICAL
MILES ARE THE LARGEST RADII EXPECTED ANYWHERE IN THAT QUADRANT.

REPEAT...CENTER LOCATED NEAR 26.0N 71.0W AT 29/2100Z
AT 29/1800Z CENTER WAS LOCATED NEAR 26.0N 70.8W

FORECAST VALID 30/0600Z 25.8N 71.6W
MAX WIND 60 KT...GUSTS 75 KT.
50 KT... 30NE 50SE 0SW 0NW.
34 KT... 60NE 80SE 40SW 0NW.

FORECAST VALID 30/1800Z 25.5N 72.5W
MAX WIND 65 KT...GUSTS 80 KT.
64 KT... 20NE 20SE 0SW 0NW.
50 KT... 30NE 50SE 0SW 0NW.
34 KT... 60NE 80SE 40SW 30NW.

FORECAST VALID 01/0600Z 25.1N 73.3W
MAX WIND 70 KT...GUSTS 85 KT.
64 KT... 20NE 20SE 0SW 0NW.
50 KT... 30NE 50SE 0SW 0NW.
34 KT... 60NE 80SE 40SW 30NW.

FORECAST VALID 01/1800Z 24.8N 73.9W
MAX WIND 75 KT...GUSTS 90 KT.
50 KT... 30NE 50SE 0SW 0NW.
34 KT... 60NE 80SE 60SW 60NW.

FORECAST VALID 02/1800Z 25.0N 74.0W
MAX WIND 80 KT...GUSTS 100 KT.
50 KT... 40NE 40SE 30SW 40NW.
34 KT... 90NE 90SE 80SW 90NW.

EXTENDED OUTLOOK. NOTE...ERRORS FOR TRACK HAVE AVERAGED NEAR 150 NM
ON DAY 4 AND 200 NM ON DAY 5...AND FOR INTENSITY NEAR 15 KT EACH DAY

OUTLOOK VALID 03/1800Z 29.0N 73.0W
MAX WIND 80 KT...GUSTS 100 KT.

OUTLOOK VALID 04/1800Z 34.0N 71.0W
MAX WIND 75 KT...GUSTS 90 KT.

REQUEST FOR 3 HOURLY SHIP REPORTS WITHIN 300 MILES OF 26.0N 71.0W

NEXT ADVISORY AT 30/0300Z

$$
FORECASTER PASCH

NNNN
```

