

CONSIDERACIONES SOBRE LA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS EN LAS EMBARCACIONES DE PEQUEÑO CALADO

Ing. Juan David Pineda Cabrera
CIDNAV CUBA
Ing. Orlando García Figueroa
CIDNAV CUBA

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación realizada en el sector turístico – comercial de la rama naval. Entre los antecedentes está las reiteradas afectaciones sufridas por los clientes como consecuencia de los efectos de las descargas eléctricas atmosféricas. En la primera parte del trabajo se brinda una explicación didáctica sobre el fenómeno de las descargas eléctricas atmosféricas y sus particularidades en el mar, con el objetivo de desechar cualquier criterio subjetivo que desestime el uso de pararrayos en las embarcaciones marítimas. Se explica la construcción del pararrayos, las características y exigencias al montaje, los materiales recomendados para su fabricación. Se presenta un algoritmo que permite seleccionar la zona de protección del pararrayos según las características del objetivo a proteger. Se analiza el carácter multifactorial de las descargas eléctricas atmosféricas, significando la necesidad de implementar además del pararrayo, otros dispositivos y procedimientos técnicos que permitan aumentar el grado de seguridad de la zona de protección. Se ejemplifica la valoración económico – social de una protección integral contra descargas atmosféricas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza con el objetivo de proteger contra descargas eléctricas a embarcaciones de pequeño porte; lanchas, ferrocementos, prácticos de puerto, yates, veleros, catamaranes, etc. De esta forma se busca una homogeneidad de criterios sobre el tema, tratando de que en estos barcos queden protegidos las tripulaciones y pasajeros en primer lugar, además de los equipos electrotécnicos por ser los mas vulnerables en este tipo de fenómenos naturales, amén de los daños a la estructura de la embarcación (mástiles, cubiertas, casco, etc).

Es prudente especificar que sobre el tema existe bastante ambigüedad al respecto, pues no es un tema muy conocido dada su especialización por los marinos tanto nacionales como internacionales, es una especialidad que se ha venido desarrollando en los últimos años, y han venido cambiando sus fundamentos junto con el desarrollo tecnológico (cascos en fibra de vidrio, mástiles en aluminio, multicascos). A su vez los especialistas e inspectores técnicos abogan por la necesidad y factibilidad de la instalación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, dado lo impredecibles y altamente peligrosos de estos eventos, y el consecuente peligro para la vida humana y la integridad de las embarcaciones.

En algunas partes del mundo los relámpagos son una rareza, pero en otras estos pueden ser muy comunes, en unos minutos, a lo ancho del mundo hay 2000 tormentas en desarrollo, para un total de más de 16 millones en un año. Áreas de la costa este de los Estados Unidos y el Caribe insular son notorias por las tormentas eléctricas. Dado que el relámpago tiende a golpear el objeto más alto en su vecindad, los barcos en el mar son peculiarmente vulnerables, un velero con su alto mástil, es un objetivo obvio. La tradicional respuesta a esta situación ha sido usar el mástil para colocar un pararrayos, conduciendo la descarga de forma segura a tierra, y por tanto proporcionando un grado de protección para la nave y sus ocupantes. En la actualidad se señala que es posible protegerse de los efectos de las descargas en su totalidad.

Erróneamente existen criterios que plantean que el proceso de atraer partículas cargadas a un pararrayos incrementa la posibilidad de una descarga y que por eso, estos no deben ser instalados a bordo. Esta posición no es soportada por las evidencias. Cuando la densidad de carga en la atmósfera comienza a acercarse al nivel necesario para una descarga eléctrica y los electrones acumulados en la superficie de cualquier objeto en las cercanías, incluyendo un mástil, es considerable se dan las condiciones ideales para que se produzca este evento. Cualquier relámpago entonces sigue el camino de menos resistencia hasta igualar los puntos de máxima densidad de carga. El tope del mástil, con o sin pararrayos es seguramente uno de esos puntos. En esta fase del ciclo, el mástil mas pobremente aterrado ofrece una gran probabilidad a que la descarga sea poderosamente destructiva, una vez que los electrones no han sido sangrados por un drenaje correcto a tierra y describen trayectorias erráticas sobre la estructura del barco. En este caso los daños serán mayores por los altos niveles de corriente y las faltas de caminos de una baja resistencia para esta.

EL RAYO.

Temidos por el hombre desde la antigüedad hasta nuestros días, los rayos son el fenómeno más característico de las típicas tormentas eléctricas que ocurren en nuestro país durante el verano. Incluso, y debido a su alta frecuencia, espectacularidad y potenciales daños, los científicos no dudan en considerarlos entre los sucesos más extraordinarios y peligrosos de la naturaleza. Así por ejemplo un rayo puede alcanzar temperaturas cercanas a los 30 000 grados Celsius (mayor a la existente en la superficie del Sol) en fracciones de segundos, verse en el cielo a decenas de kilómetros como un impresionante haz de luz con ramificaciones irregulares, y fulminar de un solo golpe edificaciones, personas, árboles y otros objetos.

Según se refiere, el rayo se produce cuando el movimiento ascendente y descendente del aire dentro de una nube de tipo de cúmulo nimbo, forma cargas eléctricas positivas y negativas, que al acumularse de manera excesiva, origina una descarga en forma de chispa, capaz de circular dentro de la propia nube, entre dos nubes de tormenta, o entre una de estas y un objeto en tierra o mar.

Dichas formaciones nubosas alcanzan una altura de entre 12 y 14 kilómetros y son las únicas donde se origina esta suerte de flechazo en la atmósfera, conocido popularmente como relámpago. Una descarga eléctrica típica libera una energía equivalente a un millón y medio de Watts.

Estadísticamente del 4 - 20 % de los barcos atracados son golpeados por relámpagos, por ejemplo un velero es alcanzado al menos una vez en su vida útil, aunque existen casos que han sido tocados en 5 ocasiones por descargas eléctricas.

El relámpago típico comienza a una altura aproximada de 5 millas sobre el mar, dentro de una región de tormenta cargada negativamente. El canal, que eventualmente conecta esta carga negativa a la tierra comienza aquí. Como el canal se prolonga hacia la tierra durante la fase "guía escalonada", la carga negativa es dirigida por un túnel desde la nube hacia un canal de chispa. Cuando la punta de la "guía escalonada" esta cerca de los 30 - 90 metros sobre el nivel de la tierra, otra chispa, esta vez cargada positivamente, es lanzada desde la tierra. Una cantidad de energía enorme, es generada cuando se unen esta chispa y la "guía escalonada" cargada negativamente. En este momento es generado el pico de corriente del rayo, durante el "golpe de retorno". Aunque alcanza de 10 000 a 100 000 amperes, esto ocurre solo durante una millonésima de segundo, quedando persistentes, solo corrientes de unos pocos cientos o miles de amperes (en la corta escala de tiempo de los rayos) como corrientes continuas de larga duración. Estas son responsables de los efectos de grandes calentamientos y de incendios que se producen en las instalaciones costeras, marítimas y buques de superficies. Después de una corta pausa, subsiguientes guías pueden energizar el canal nuevamente, seguido por más golpes de retorno, un típico relámpago tiene cerca de 3 secuencias guías-golpes de retorno. En los rayos frecuentemente aparecen fluctuaciones porque cada golpe de retorno activa el canal, y el tiempo entre ellos es lo suficientemente bastante largo para ser visto por el ojo humano. El golpe de retorno, calienta el canal del rayo a una temperatura 6 veces la del sol, causando que el aire circundante explote literalmente. Oímos esta explosión como trueno, que aparece mucho después que el rayo ilumine la atmósfera, al menos transcurrido un segundo, porque la red de canales del mismo cubre varias millas y la velocidad del sonido es de solo 600 nudos.

EL RAYO INTERACTUANDO CON UN BARCO.

Generalmente el encuentro de un rayo con un barco ocurre mientras la guía escalonada cargada negativamente se mueve hacia abajo, y es inducida una carga positiva abajo en la tierra. Cuando la punta de la "guía escalonada" esta cerca de los 30 - 90 metros sobre el nivel del mar, otra chispa, esta vez cargada positivamente, es lanzada desde la abajo, como se muestra en la Figura 1. Esta chispa cargada positivamente es crucial en este proceso. Si esta comienza en el tope del mástil de un barco, entonces el rayo golpeará en ese punto.

Desafortunadamente, no hay una técnica científicamente aceptada para prevenir la formación de esta chispa. Incluso si un dispositivo fuera efectivo desviando la chispa, podría no ser una buena idea montarlo en un mástil, tal que la unión de la chispa pudiera comenzar en cualquier parte de la embarcación o la tripulación. Consecuentemente, la protección contra rayos significa minimizar los daños causados por este evento. En términos generales un barco correctamente protegido es aquel en el cual hay un camino de conducción continua desde el agua hasta el tope del mástil. La corriente necesita mantener la conexión de la chispa entre el sistema de protección y el agua.

Si el camino que el rayo toma en el barco, no se realiza a través de los sistemas de drenaje del pararrayos, o existe una mala conexión entre las partes del mismo, la corriente no puede fluir desde el agua para alimentar la unión creciente, entonces una carga negativa acumulada en la base del mástil y eventualmente por arcos a

través del agua o por conductores cercanos, trae como resultado una descarga eléctrica descontrolada, entre el fondo del mástil y el agua.

De acuerdo con los argumentos anteriores, la posibilidad de que un rayo alcance un barco no dependerá de que este tenga pararrayos o no, fundamentado también por la experiencia de los inspectores navales, un grupo de los cuales realizaron 200 visitas como promedio en embarcaciones del sur de la Florida, reportando que el 34% de las inspeccionadas por ellos por cualquier motivo poseen un sistema de pararrayos y sin embargo del total alcanzados por los rayos solos el 29% tenían protección.

Por tanto no existe fundamento en los argumentos planteados por algunos marinos, que no aterran sus barcos porque esto aumentaría las oportunidades de que su barco sea tocado por un rayo.

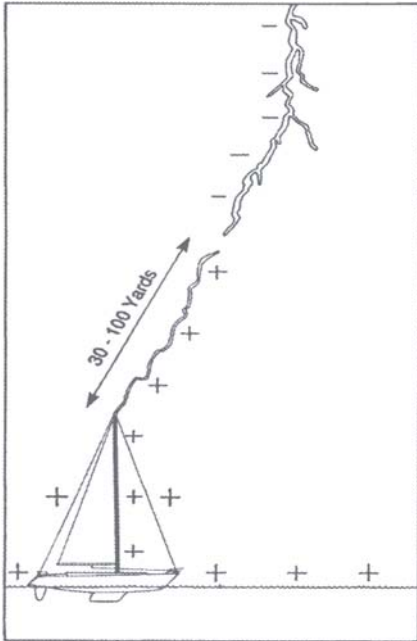


Fig 1. Esquema de una descarga atmosférica sobre una embarcación a flote.

En el mar, donde la superficie generalmente es plana, los mástiles de los barcos son el punto más cercano a la zona atmosférica donde se encuentran las mayores densidades de partículas cargadas. Por tanto la arboladura y mastilería de un barco aun sin pararrayos es potencialmente el lugar mas seguro para que se produzca una descarga eléctrica del tipo atmosférica. Súmesele a ello que una embarcación acumula en su estructura un valor de cargas significativo, al cual los ingenieros navales llaman potencial del casco, el cual es acumulativo y está presente en todo tipo de buque, independientemente del tipo de material con que esté construido. El potencial del casco se alimenta de la energía que le suministran diferentes factores:

- Energía estática producto de la fricción de las olas con el casco y el viento en la superestructura y velámenes.
- Corrientes parásitas de equipamiento eléctrico y electrónico
- Aparición de corrientes eléctricas producto de procesos galvánicos o de electrocorrosión
- Inducción de un campo eléctrico producto del campo electromagnético terrestre por donde navega

Como podemos apreciar, un buque tiene sin dudas, un potencial eléctrico de cargas, significativo. Por tanto, el uso de los medios de protección contra los efectos de las descargas eléctricas más que complemento para la navegación segura, es un medio indispensable en primer lugar, para la protección de los tripulantes amén de los medios técnicos y la embarcación misma.

Cualquier tipo de consideración subjetiva sobre la conveniencia o no de instalación de pararrayos en las embarcaciones debe estar en correspondencia con las normativas del Registro Cubano de Buques al respecto y

que plantea:

Los buques deberán tener dispositivos para derivar los rayos, cubriendo la zona protegida y en los cuales los efectos originados por las descargas repetidas pueden ocasionar incendios o explosiones, deberá instalarse un dispositivo de aterramiento de la descarga eléctrica. El dispositivo derivador de los rayos, deberá estar compuesto de: Punta; conductor derivador y terminal de aterramiento. En los mástiles metálicos; no será necesario instalar dispositivo derivador de rayos, si se hubiesen tomado medidas para una conexión eléctrica confiable del mástil al casco metálico del buque o al punto de aterramiento.

CONSTRUCCIÓN DE LOS PARARRAYOS.

Anunciado que el de pararrayos es un sistema o dispositivo destinado a proteger objetivos del impacto directo de las descargas eléctricas y conducir las a tierra. El mismo esta formado por los siguientes elementos fundamentales:

- Punta de pararrayos, terminal aéreo o malla terminal aérea.
- Conductor derivador, conductor de bajada o de bajante.
- Terminal de aterramiento.
- Aterramiento de drenaje.
- Accesorios.

El terminal aéreo es un elemento metálico del sistema de protección destinado a interceptar las descargas eléctricas. Conocido navalmente como punta de pararrayos esta construido por una varilla no menor de 12 mm de diámetro. La varilla podrá estar constituida de cobre o acero adecuadamente protegido contra la corrosión. Para mástiles de aluminio se recomienda utilizar varillas de este mismo material pero de diámetro no menor de 20 mm. Este terminal aéreo deberá sobresalir como mínimo 300 mm por encima de cualquier dispositivo montado en los extremos de los mástiles.

El conductor de bajada o derivador, se construirá de una varilla, cinta metálica o conductor eléctrico multifilar con una sección transversal no menor de 70 mm², para el cobre y sus aleaciones y 100 mm² para el acero, en este caso deben tomarse medidas de protección anticorrosivas.

Los conductores derivadores deberán tenderse por el lado exterior del mástil y las superestructuras, tan recto como sea posible con el número mínimo de curvas, las cuales deberán ser suaves y tener el mayor radio posible. Los conductores derivadores no deberán pasar a través de compartimento y espacios con peligro de explosiones, deberán estar separados de estos a una distancia mayor o igual a 500 mm. Nos estamos refiriendo a cisternas de combustibles o lubricantes, recipientes de gases, tanques de alta presión y tuberías de líquidos inflamables entre otros. Se recomienda particularmente para bajantes de pararrayos marinos la cinta de trenzada de cobre por su baja resistencia eléctrica y alta disipación calorífica, además de una composición química beneficiosa para enfrentar un medio altamente corrosivo.

El terminal de aterramiento, no es mas que un soporte roscado o soldado que asegura la conexión ininterrumpida y segura entre los conductores de derivación o bajada y el aterramiento de drenaje. Estos deberán ser de sección transversal igual o superior al bajante para evitar el aumento de la resistencia ohmica del tramo.

El aterramiento de drenaje es el elemento metálico que se encuentra en todo momento en contacto con el agua y su función es disipar la descarga eléctrica un medio de baja resistencia. En el caso de las embarcaciones metálicas el propio casco se podrá utilizar como aterramiento de drenaje. Las embarcaciones cuyo casco este conformado predominante de materiales dieléctricos como pueden ser fibras de vidrio, plástico, madera, cemento, etc, deberán proveerse en su obra viva de una o varias planchas de aterramiento para el drenaje de las descargas. La cantidad de planchas de aterramiento se determinaran por la estructura, composición y dimensiones del casco del barco.

En la elección del material de la misma se recomienda el cobre y sus aleaciones, aunque no esta excluido el acero naval debidamente tratado.

No es recomendable la utilización de bronce en la elaboración de las planchas, puesto que debido su composición química se producen explosiones ante la incidencia de altas temperaturas en el momento de la descarga. De igual forma y por los mismos motivos no se aconseja conectar los conductores derivadores a las horzas y quillas metálicas que generalmente son de plomo fundido.

Los accesorios están formadas por puentes, juntas, grilletes, soportes, etc., que aseguran en unos casos la unión segura y en otros el aislamiento correcto de los elementos conductores de la descarga eléctrica desde la punta del pararrayo hasta el aterramiento de drenaje.

Los pararrayos de punta tipo Franklin son los frecuentemente usados en las embarcaciones navales para proteger una zona común y pueden ser:

- Simples.
- De dos puntas.

- De varias puntas.

ZONA DE PROTECCIÓN DE PARARRAYOS.

La zona de protección de un pararrayos es el espacio dentro del cual este protege un objetivo del golpe directo de una descarga eléctrica atmosférica con determinado grado de seguridad. En el caso nuestro la zona de protección deberá asegurar todo el contorno mínimo de seguridad de 2 metros alrededor del barco.

Las zonas de protección de pararrayos de un mástil de altura $h \leq 150$ m se representa como un cono (ver fig.2).

Cálculo de las dimensiones de la zona de protección de los pararrayos.

Las zonas de protección se clasifican en dos tipos:

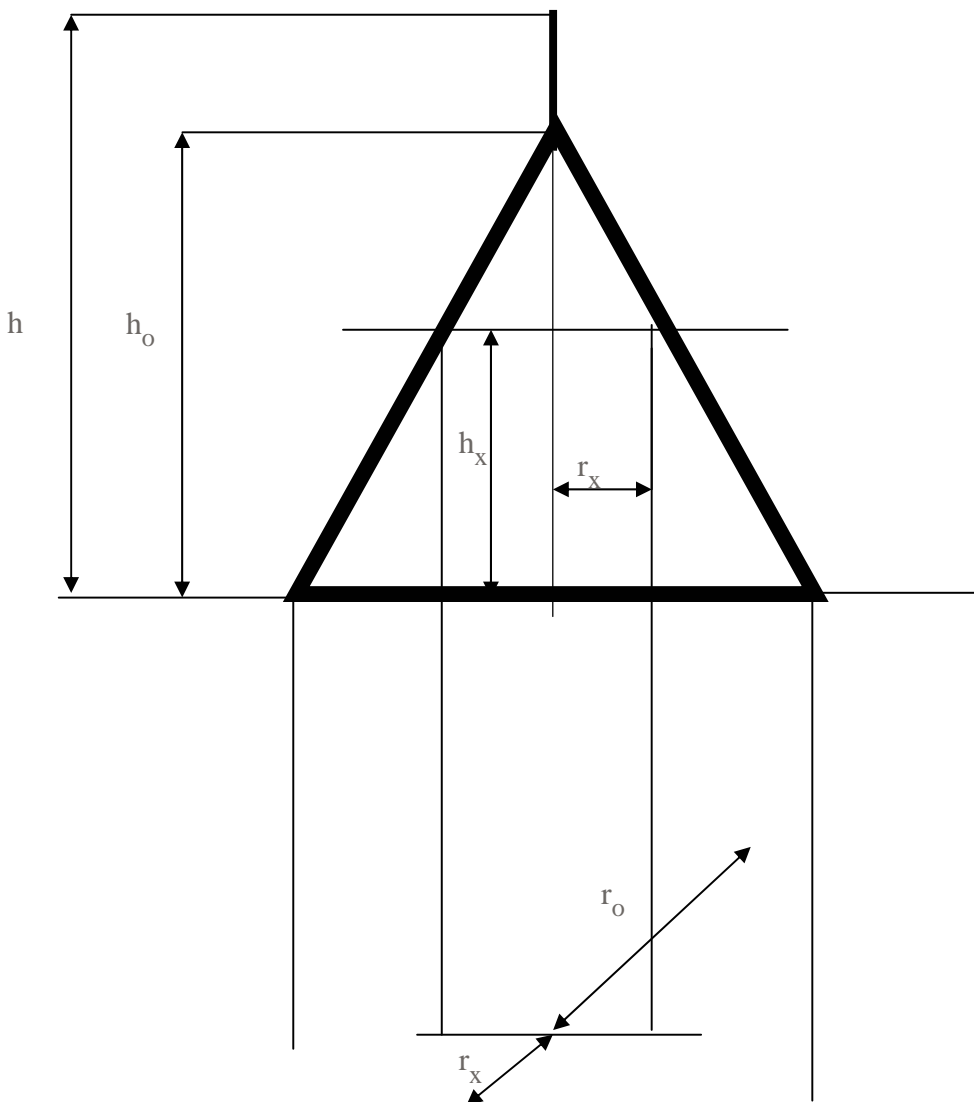
- Zona A : Posee un grado de seguridad igual o mayor de 95.5%.
- Zona B : Posee un grado de seguridad menor de 95.5%

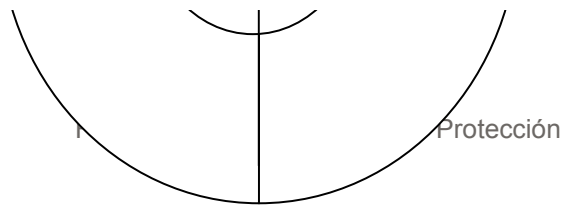
Zona A.

$$h_0 = 0.85 h \quad (1)$$

$$r_0 = (1.1 - 0.002 h) h \quad (2)$$

$$r_x = (1.1 - 0.002 h) (h - h_x / 0.85) \quad (3)$$





Zona B

$$h_0 = 0.92 h \quad (4)$$

$$r_0 = 1.5 h \quad (5)$$

$$r_x = 1.5 (h - h_x / 0.92) \quad (6)$$

donde:

h ; altura del pararrayos

h_0 ; altura del cono

h_x ; altura a proteger

r_0 ; radio de protección a la altura del nivel del mar.

r_x ; radio de protección a la altura del objetivo.

Cuando los límites de la zona de protección, entiéndase como tal el cono de seguridad, no abarquen todo el objetivo a proteger en la embarcación, se pueden situar mas de un pararrayos tratando de lograr en la intersección de ambos conos una única zona de protección.

Existen otros métodos para el cálculo de una zona de protección, tanto matemática, como gráficamente. Los mismos garantizan valores aproximadamente igual en el cálculo del cono de seguridad aquí expuesto.

PROTECCIÓN MULTIFACTORIAL CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS.

La protección contra descargas no podemos considerarla completa si la absolutizamos al montaje exclusivo de pararrayos.

La incidencia de golpes de relámpagos a las embarcaciones ocurren con mayor frecuencia, en atracaderos y muelles (86%), dada la alta densidad de mástiles y antenas de las naves que se encuentran agrupadas en una pequeña zona de la costa. Esto trae como consecuencia que los efectos secundarios o colaterales de la descarga eléctrica afecten no solo al barco que es tocado por el rayo, sino que se irradian a las embarcaciones circundantes que no esta protegidas.

Los efectos secundarios de una descarga generalmente son arcos eléctricos producidos por la inducción electrostática y electromagnética, por la acumulación de elevados potenciales, a causa del golpe sobre el objetivo o cerca de este.

La inducción electrostática provoca la aparición de potenciales eléctricos en la estructura de los barcos como consecuencia de las variaciones del campo eléctrico originada por la nube de tormenta, las que pueden provocar el surgimiento de chispas entre los elementos metálicos de las estructuras y los equipos.

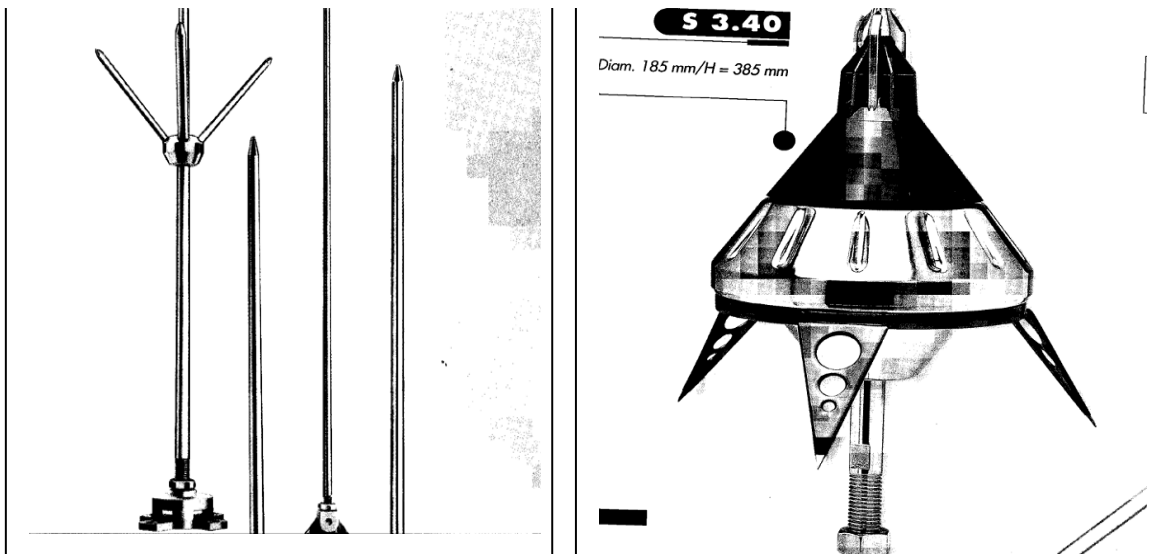
La inducción electromagnética crea potenciales eléctricos en los contornos metálicos no cerrados como resultado de las variaciones rápidas de las corrientes producidas por la descarga, lo que puede provocar chispas en los puntos de acercamiento de estos contornos.

Para evitar tales efectos regularmente se toman medidas que logran eliminar la mayor parte de los daños causados por los golpes de los rayos.

En un primer escalón se trata de proteger de forma extensiva los atracaderos y muelles con pararrayos dispuestos en tierra, calculados de tal forma que la totalidad de las embarcaciones atracadas estén protegidas. Este tipo de protección garantiza que los barcos que no tengan sistema montado también se resguarden de estos efectos atmosféricos.

Se pueden emplear pararrayos de tipo normal (Fig.3) pasivo montados en mástiles, como los comúnmente empleados en proteger edificaciones costeras. Sin embargo si se quiere de una protección exquisita con mayor porcentaje de seguridad, podremos emplear pararrayos activos con dispositivos de cebado (Fig.4).

Estos pararrayos de tecnología avanzada aprovechan la energía del campo eléctrico ambiental que aumenta de forma considerable en las proximidades de las tormentas eléctricas.



Mediante captadores almacenan energía eléctrica en un dispositivo de ionización, cuando la descarga es inminente el pararrayos detecta el repentino aumento del campo eléctrico local, activa el dispositivo de cebado que libera la energía acumulada a través de electrodos provocando la ionización de la punta. Esto permite que en el momento de la descarga sobre la zona protegida se forme un punto privilegiado de impacto del rayo y suscita en el momento oportuno el camino preferencial del rayo.

Un segundo escalón protegerá individualmente cada embarcación lo que permite doble seguridad en caso de que falle el pararrayos del atracadero o se encuentre aislado en un punto costero o navegando a mar abierto.

El tercer escalón de protección tiene que ver con la imposibilidad que tiene el pararrayos de eliminar los efectos colaterales de la descarga eléctrica. El mismo solo asegura un camino de baja resistencia donde disipa el mayor volumen de energía contenido en el relámpago, pero es incapaz de atrapar los procesos transitorios de electromagnetización que afectan los equipos eletrotécnicos del buque. Para ello se han creado dispositivos electrónicos que actúan como trampas receptoras de esos elevados potenciales. En la práctica se construyen diferentes aparatos según los equipos a proteger (fuentes electroenergéticas, equipos electrónicos de navegación, informáticos, audiovisuales, domésticos, entre otros).

Entre los más conocidos y utilizados podemos citar:

- Supresores de pulsos.
- Descargadores de corriente de rayo con cebado electrónico.

Cuando un sistema de protección naval este dotado de estos tres escalones, su nivel de seguridad y confiabilidad aumentará de manera considerable, evitando lamentables pérdidas y efectos desastrosos de las descargas eléctricas atmosféricas.

VALORACIÓN ECONÓMICA SOCIAL DE LA PROPUESTA TÉCNICA.

La fabricación de un pararrayos del tipo pasivo Franklin, que es el más comúnmente utilizado no es costosa aun cuando se tengan que adquirir las partes y componentes en divisas. Su instalación siguiendo correctamente las instrucciones de montaje no es engorrosa ni necesita de grandes inversiones.

Sin embargo el costo de los daños irreparables que puede causar no se debe asumir solo por el valor de las pérdidas materiales. Un fenómeno de este tipo tiene implicaciones sociales importantes, desde el momento que pueden causar pérdidas de vidas humanas, que deben ser en primer orden los objetivos a proteger. Producto de los efectos devastadores que provocan incendios, interrupciones de fluido eléctrico y destrucción por causas electromagnéticas de equipos eléctricos y electrónicos productivos de la esfera de los servicios asistenciales, turísticos, domésticos, informáticos, de seguridad y control, etc, se originan conmociones sociales. Están pueden ser la pérdida de flujos productivos importantes, afectaciones por interrupciones laborales, cese de servicios públicos e institucionales, así como puesta fuera de servicio de electrodomésticos de apreciable valor a nivel de comunidad y núcleos familiares. Por todo esto afirmamos que el golpe de un rayo aún sin propiciar pérdidas de vidas humanas puede ocasionar conmoción social relevante.

Haciendo una valoración económica de las pérdidas que ocasiona una descarga eléctrica en un objetivo naval, se

ha podido contabilizar que el 80% del equipamiento electrónico, como promedio se destruye irreversiblemente, siendo este de gran valor monetario. Sin embargo el costo de un pararrayos y sus aditamentos es insignificamente menor, por lo que podemos afirmar que el efecto económico que representa esta protección es muy favorable y trascendente.

Costo de un pararrayos de punta despiezado.

Punta tratada:	96.55
Cable derivador: (30m)	139.80
Accesorios:	51.35
Supresor :	50.30
Total:	338.00

Costo del equipamiento electrónico de una embarcación promedio.

(Teniendo en cuenta solo los equipos que generalmente se afectan.)

Equipo de posicionamiento por satélite (GPS):	1450.00
Ecosonda de navegación marítima:	261.38
Radar:	12 300.00
Equipos de comunicación de onda corta:	430.00
Equipos de comunicación de onda larga:	865.00
Piloto aut :	1930.50
Compás:	1139.30
Nevera:	1593.98
Climatizador:	2500
Cargadores :	2886.14
Luminarias:	396.50
Total:	27 682. 00

O sea el costo de la protección representa el 1,22% del costo del equipamiento de la zona de protección. Esta comparación permitirá, a los responsables de la toma de decisión, sacar sus propias conclusiones.

CONCLUSIONES

El presente trabajo es fruto de un estudio que se realizó a tenor de con el incremento de accidentes producidos en nuestras marinas. Los autores pretenden sensibilizar a los responsables de velar y controlar las medidas de seguridad y protección naval de la importancia y factibilidad de implementar el uso obligatorio de pararrayos en las embarcaciones marítimas con el objetivo de evitar pérdidas humanas y materiales por desconocimiento y negligencia.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Registro Cubano de Buques. Protección contra descargas eléctricas atmosféricas.
- 2- Normas NFPA. Protection for Watercraf. USA.
- 3- Norma Cubana, NC 96-02-09 1987. Protección contra las descargas eléctricas atmosféricas.
- 4- Earthing Lightning Protection, Fuse Distribution Network, Nottingham 1994.
- 5- Catálogos Indelec. Protección contra rayos.
- 6- Revista GIGA, Numero 2 2002. Descargadores de rayo de alto poder de extinción.
- 7- Internet: Philip@ crockettbro.com, <http://www.polyphaser.com>, Rojas&Rojas .com.
- 8- REEB,Reglas de explotación de los equipos eléctricos