EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Mazatlán

BUQUES CON FUENTES DE ENERGÍA ALTERNA PARA EMBARCACIONES MENORES A 24m DE ESLORA

TITULACIÓN INTEGRAL
TESIS

que para obtener el título de
INGENIERO NAVAL

presenta
JESÚS ARTURO SÁNCHEZ CHÁVEZ

No. de Control: 141000296

Mazatlán, Sin., Septiembre de 2020

ITMAZ

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. JUSTIFICACIÓN 3
3. OBJETIVOS 4
3.1. Objetivos generales: 4
3.2. Objetivos específicos 4
4. FUNDAMENTO TEÓRICO 5
4.1. Antecedentes 5
4.1.1. Embarcaciones que utilizan fuentes de energía alterna 6
4.1.2. Turanor: Sol para dar la vuelta al mundo 7
4.1.3. Auriga Leader 8
4.1.4. Solemar: Catamarán solar “Made in spain” 9
4.1.5. Solar Sails: Velas que son paneles solares y viceversa 9
4.1.6. Solar Shuttle: Un diseño innovador 9
4.1.7. The Loon: El barco solar casero 10
4.2. Aplicación de las energías renovables en los buques 10
4.2.1. Velas y perfiles de ala usados como velas 11
4.2.2. Cometas 11
4.2.3. Paneles solares sobre la superficie velica 12
4.2.4. Propulsión asistida por el viento: Velas rígidas 16
4.2.5. Estudio de aplicación de las velas rígidas a un buque granelero 18
4.2.6. Aprovechamiento de la energía solar 19
4.2.7. Aplicación de la energía solar en la marina mercante 21
4.3. Ventajas y desventajas del aprovechamiento de la energía solar. 22
4.4. Embarcaciones existentes 24
4.4.1. Embarcación ECOSOL 33 24
4.4.2. Embarcación SOLEMAR 30 25
4.4.3. Travesía transoceánica 26
4.4.4. Método y cálculo de elección del sistema 28
4.4.5. Equipos de embarcaciones existentes 29
4.5. Balance eléctrico de una embarcación 31

4.5.1. Sistema eléctrico del buque: 31
4.5.2. Definición de las tensiones, frecuencias y distribución 32
4.5.3. Balance de cargas 32
4.5.4. Análisis de cargas 33
4.5.5. Concepto de diseño 35
4.6. Análisis de elementos 36
4.6.1. Elementos que componen la embarcación 36
4.6.2. Metodología de cálculo 38
5. RESULTADOS 39
5.6. Modificación a embarcación de pasajeros 39
5.7. Evaluación e impacto económico 41
5.7.1. Costos de implementación y operación 43
6. CONCLUSIONES 47
7. REFERENCIAS 48
8. ANEXOS 52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Propulsión con velas, transporte típico de marinas mercantes a granel, Cachaza *et al*, (2015).....7
Figura 2. Buque Turanor, Jiménez, (2016).....8
Figura 3. Concepto de buque cometa, Cachaza *et al*, (2015).....12
Figura 4. Proyecto Eco-Marine Power que incluye paneles solares, Cachaza *et al*, (2015).....13
Figura 5. Ferrari Solar Cachaza *et al*, (2015).....14
Figura 6. Modelo a Escala de la Vela rígida, Cachaza *et al*, (2015). 17
Figura 7. Diagrama de un panel Fotovoltaico, Sánchez (2012). 20
Figura 8. Embarcación ECOSOL 33, Jiménez, (2016).....24
Figura 9. Embarcación Solar, Jiménez, (2010). 26
Figura 10. Yate Sun 21, Jiménez, (2010).....27
Figura 11 Método y cálculo de elección del sistema, Sánchez A., (2019).....28
Figura 12. Análisis de carga, Sánchez A., (2019) 33
Figura 13. Diagrama de análisis de elementos, Sánchez A., (2019).....37
Figura 14. Concepto de diseño, Sanchez A., (2019).....37
Figura 15. Relación de motores eléctricos, salas, (2013).....44
Figura 16. Costo de sistema eléctrico Salas, (2013).....44
Figura 17. Costos de sistemas de propulsión, Salas, (2013). 45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de diferentes buques que utilizan energía sustentable, Sánchez A., (2019). 23
Tabla 2 Análisis de equipos de navegación, Sánchez A., (2019)..... 34
Tabla 3 Potencia de equipos de navegación, Sánchez A., (2019) 34
Tabla 4 Calculo de potencias y demanda máxima, Sánchez A., (2019) 35
Tabla 5. Características Principales de la embarcación, Sánchez A., (2019) 40

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a dios, por permitirme concluir esta etapa y desarrollar satisfactoriamente mi proyecto de investigación. Quiero agradecer profundamente en estas pequeñas líneas a las personas que han hecho posible la realización de mi tesis y que me han acompañado a lo largo de mis estudios y de mi vida en general.

Agradezco a mis padres Emilio y Bárbara no solo por su apoyo económico si por sus enseñanzas a través del tiempo, agradezco infinitamente su paciencia, su amor y su acompañamiento en esta etapa de mi vida, los quiero mucho. Gracias a mis hermanos Alejandra y Emilio por su involuntario apoyo a motivarme a seguir adelante, gracias Joel y sobrinos.

Agradezco también a un gran amigo el Pbro. Eladio Najar, gracias por su apoyo personal y espiritual en cada consejo y su en lección de vida.

A mis amigos, Vanessa, Jazmín, Perla, Rodrigo, Maribel, Sandra, Anahí, Francisco, Donají gracias por acompañarme en diferentes etapas, gracias por su tiempo y amistad.

A mis compañeros Misael, Cundapí, Jesica, salvador, Jonathan, Víctor, Valeria, Jorge, Dennes, Daniela, gracias por su apoyo. Agradezco a los profesores que estuvieron en el proceso de titulación, a mi asesor Doc. Antonio Murillo Olmeda por su gran apoyo y dedicación en este proyecto, a mi maestra Ing. Edith Wilggins Aracén gracias por bríndame su incondicional apoyo en lo personal y profesional, de igual manera al Ing. Cayetano Simón Molina por su confianza y su apoyo.

RESUMEN

El proyecto de investigación en el que trabajé, “BUQUES CON FUENTES DE ENERGÍA ALTERNA PARA EMBARCACIONES MENORES A 24 m DE ESLORA”.

Enfatiza la energía alterna está al alcance de todos aquellos que desean usarla y su único costo es: el trabajo de ingeniería, la instalación y mantenimiento a ciertos periodos. Las energías renovables proponen una alternativa válida a largo plazo, desde el punto de vista social y económico para lograr el desarrollo sostenible.

Para comprender mejor estos conocimientos se estudiaron los productos existentes. El proyecto de investigación, tuvo como propósito reducir los altos costos que generan la propulsión y ciertos sistemas y servicios básicos que conlleva realizar el buen funcionamiento de dichas embarcaciones. Se realizó una investigación sobre los beneficios económicos del uso de fuentes de energía alterna, a largo y a corto plazo.

Un número dado de pronósticos de las autoridades, estiman que el uso de energía eléctrica crecerá a 23 millones de kW en el 2020, González, (2004).

El sistema eléctrico de la embarcación propuesta este compuesto por circuitos independientes. Los circuitos están alimentados por un banco de baterías cargado por medio de paneles solares.

1. INTRODUCCIÓN

En la antigüedad las embarcaciones generaban energía a base de trabajo humano usando madera y el carbón, en la actualidad las embarcaciones modernas usan energía generada por combustible que se incrementa cada vez más rápido, Cachaza *et al*, (2015).

El proyecto "BUQUES CON FUENTES DE ENERGÍA ALTERNA PARA EMBARCACIONES MENORES A 24 M DE ESLORA" tiene como propósito, hacer mejoras en las practicas del consumo de energía a bordo, reducir los costos de los servicios básicos de dichas embarcaciones, además de ser una gran aportación para reducir los altos índices contaminación generada por embarcaciones que emiten gases de efecto invernadero, que a largo plazo tendrán un costo ambiental significativo. Por ello la organización de las naciones unidas (ONU) creo un organismo especializado para la seguridad marítima, la Organización Marítima Internacional (OMI). Una de las resientes iniciativas de la OMI han incluido reformas al convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS) y al convenio internacional pare prevenir la contaminación por los buques (MARPOL 73/78). Estos son un conjunto de normativas internacionales con el objetivo de prevenir la contaminación por los buques. Preserva el ambiente marítimo mediante la completa eliminación de hidrocarburos y otras sustancias dañinas.

Una embarcación con una eslora menor de 24 m de eslora, gasta por año en combustible alrededor de $950,000.00. A medida de prevenir esta estadística, se han desarrollado alrededor de 1,000 vehículos marinos propulsados con energía solar, dando servicio en todo el mundo, dichos buques han cruzado océanos como el

Atlántico y Pacífico utilizando solo energía solar y otras energías sustentables.

Las energías sustentables gozan de numerosos beneficios:

- Son un recurso renovable prácticamente ilimitado.
- El único costo asociado al uso de la energía solar es el costo de fabricación de los componentes su instalación y mantenimiento.
- Opera con sistemas silenciosos. No hay contaminación por ruido.
- La encuentras en todos lados.

Altomonte *et al*, (2003)

Debilidades

- Aleatoriedad en el recurso.
- Incertidumbre en la predicción de la producción eléctrica.
- Necesidad de adaptarse a los requisitos de la red.
- Procesos largos de promoción.

Altomonte *et al*, (2003).

2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto de investigación tiene como objetivo determinar el impacto en costos de transporte y subsidio de diésel, así como la variación en la cantidad de emisiones de CO_2 al medio ambiente.

Hoy 67 % de la energía eléctrica procede de combustibles fósiles. Y dicho anteriormente no es una energía renovable, por lo tanto, su uso estará aumentado periódicamente.

Entonces debemos preguntarnos ¿Cuáles serán las embarcaciones en un futuro próximo?, mientras que la tecnología mejora y los costos del combustible suben, es poco probable que los barcos que crucen las aguas dentro de 50 o 100 años se vean igual a los de hoy en día.

A medida que el transporte ecológico está cobrando impulso, muchas ideas nuevas e innovadoras están surgiendo día a día con la promesa de un futuro más “verde”. El transporte es una de esas áreas en donde las nuevas ideas que respeten del medio ambiente están tomando forma. Viejos barcos a diésel están siendo reemplazados por los nuevos barcos propulsados por fuentes de energía renovables.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

Investigar las alternativas de fuentes de energía alternativa aplicadas en embarcaciones existentes. Así también recaudar su información para ser considerada en su elección y/o diseño o modificaciones aplicados en embarcaciones de recreo o pasaje para mayor beneficio económico y menor daño al medio ambiente.

3.2. Objetivos específicos

- Investigar, embarcaciones existentes que generan energía alternativa a bordo, ya sea de recreo o de pasaje y en otras embarcaciones que marcan nuevas tendencias.
- Estudiar los elementos que lleva a la producción de energía alterna, precisar sus aplicaciones típicas.
- Crear un balance eléctrico o sistema de elección en función del requerimiento en las embarcaciones.
- Recomendar opciones para crear embarcaciones ecológicas que cumpla con los requerimientos básicos de su operación; proponer modificaciones de embarcaciones ya establecidas para contribuyan a la mejora ambiental y económica por medio de instalaciones de paneles solares.
- Determinar características principales de dichas alternativas, así como una estimación de costos, con la finalidad de cubrir los servicios. Desarrollando una embarcación que genere energías limpias donde prime la eficiencia energética y la optimización de los recursos.

4. FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1. Antecedentes

Hasta la fecha, la mayoría de las mejoras en la eficiencia del consumo de combustible en los buques se han llevado a cabo a través de cambios en su funcionamiento, como puede ser la navegación lenta, la mejora del diseño de la hélice, la mejora del diseño del casco y la reducción de la potencia instalada, con eso, intentando cumplir con los requerimientos del Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI). Los nuevos combustibles principalmente el gas natural licuado (LNG) y las tecnologías híbridas han sido adoptados por operadores del Norte de Europa y de América del Norte en nichos con tonelajes pequeños o especializados, tales como los ferris. Mientras tanto, los buques de carga de línea regular todavía tienen que dar pasos tecnológicos u operacionales significativos. La dramática bajada en el precio del petróleo y de los combustibles para buques durante 2014 ha menguado el estímulo de los operadores en reducir el consumo de energía, al menos de momento, Cachaza *et al*, (2015).

Para cubrir la potencial demanda de sistemas de bajo consumo energético y reducir las emisiones de carbono, han surgido un gran número de ideas tecnológicas de ahorro de energía. Muchos de estos conceptos no son completamente innovadores, pero se obtienen beneficios significativos a partir de nuevos entendimientos, materiales o métodos, Cachaza *et al*, (2015).

El sistema eléctrico de la embarcación propuesta está compuesto por tres circuitos independientes, uno para iluminación y luces de navegación, otro para luces de emergencia u otro para instrumentos de navegación y lo más importante el sistema de propulsión eléctrico.

Los circuitos están alimentados por medio de un banco de baterías, que está cargado por medio de paneles solares ubicados en partes estratégicos de la embarcación.

El circuito de emergencia e instrumentos de navegación será alimentado con baterías de uso exclusivo, con capacidad para alimentar los equipos de comunicación, dos luces de emergencia, por un tiempo de seis horas, pudiéndose conectarse a ella los equipos de radio ayuda a la navegación.

En embarcaciones de turismo que ya se encuentren operando, se va a tener que diseñar una embarcación adecuada que pueda cumplir una serie de requerimientos legales, además de poder brindar la mayor comodidad posible a los usuarios de este transporte, Barrientos, (2010).

4.1.1. Embarcaciones que utilizan fuentes de energía alterna.

A finales de los años de la década de 1970 y a principios de la de 1980, los grandes aumentos del precio de combustible estimularon el interés en la aplicación de las velas para la propulsión de los buques mercantes y se construyeron o fueron convertidos varios buques, entre los que se pueden mencionar el Shin Aitoku Maru, un petrolero de 1,600 tpm y el bulkcarrier Usuki Pioneer de 26,000 tpm. En Dinamarca se diseñó un bulkcarrier de 50,000 tpm y recientemente en Alemania se ha estado investigando en el diseño de un petrolero de productos de 50,000 tpm con un velamen de 20,000 m^2. Se eligieron velas cuadras tradicionales, ya que la naviera juzgó que éstas trabajarían de forma satisfactoria, pero existen alternativas, como el revolucionario perfil de ala tipo Walker Wingsail, Cachaza *et al*, (2015).

El transporte típico de mercancías a granel a grandes distancias, que no necesita ser un transporte exprés, fue considerado como ideal por el equipo alemán para ser

ayudado en su propulsión con velas o ser realizado solamente a vela, ya que las principales rutas comerciales se sitúan aproximadamente en dirección norte sur con los principales vientos en la misma dirección, Cachaza *et al*, (2015).

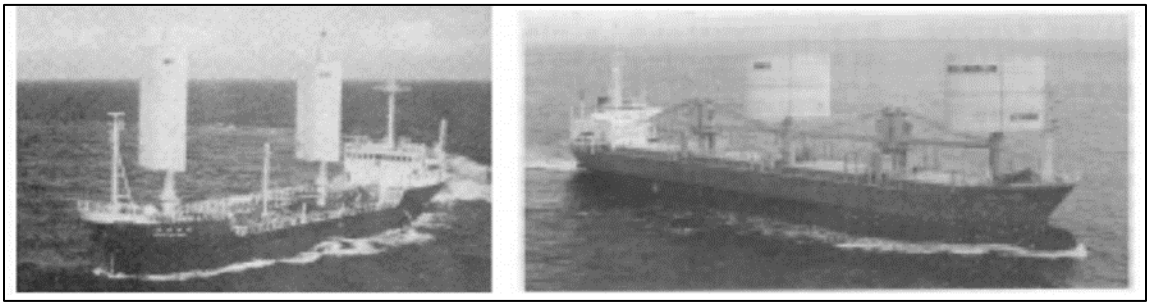

Figura 1. Propulsión con velas, transporte típico de marinas mercantes a granel, Cachaza et al, (2015).

Hay más de 1,000 barcos propulsados por energía solar dando servicio en todo el mundo. Barcos impulsados por energía solar que han cruzado los océanos Atlántico y Pacífico, sin combustible. Ofrecen servicio de taxi y ferry, y mucho más, por ejemplo, los que se presentan a continuación.

4.1.2. Turanor: Sol para dar la vuelta al mundo

El 4 de mayo el Turanor llegó a Montecarlo, tras salir de este principado monegasco el 27 de septiembre de 2010. El suizo Raphael Domjan cumplió así su sueño de crear el primer barco que da la vuelta al mundo únicamente con energía solar. Este catamarán de hidrodinámicas líneas dispone de 703 paneles solares por toda su cubierta, baterías de alta capacidad a prueba de agua salada o sistemas de navegación para aprovechar al máximo la luz solar. El Turanor también lleva dos motores diésel de emergencia, que según sus tripulantes no ha necesitado, Jiménez, (2016).

Figura 2. Buque Turanor, Jiménez, (2016).

4.1.3. Auriga Leader

Un gigante transoceánico con paneles solares. Los grandes buques comerciales contaminan 240 veces más que todos los coches del mundo. El Auriga Leader es el primer buque transoceánico en utilizar energía fotovoltaica: sus 328 paneles solares cubren el un 0,3% de la propulsión y el un 7% de los servicios auxiliares. Así lo señalan sus responsables, las empresas japonesas Nippon Yusen K.K. (naviera) y Nippon Oil Corp. (petrolera). Su primer viaje lo realizó en 2009, tras salir del puerto nipón de Kobe. La generación solar es más bien testimonial, pero puede servir de ejemplo para el resto de grandes buques comerciales: la alta toxicidad de su combustible provoca una contaminación 240 veces mayor que los 760 millones de coches que hay en el mundo, según datos de Gunter Pauli, autor de "La Economía Azul", Jiménez, (2016).

4.1.4. Solemar: Catamarán solar “Made in spain”

El Solemar es un catamarán solar de 80 pasajeros creado por el astillero Seacleaner Trawler, con sede en Mallorca. Sus 16 placas solares ubicadas en el techo le proporcionan toda la energía y alimentan a 24 baterías para garantizarle unas 150 h sin necesidad de luz. Sus responsables destacan sus ventajas: no emite residuos de petróleo, ni dióxido de carbono (CO_2), ni ruido y la energía solar es gratis. Se le puede ver en los embalses de Castell de Guadalest (Alicante), de Benagéber (Valencia) o en el estanque del Parque del Retiro (Madrid). Su precio es de €240.000, Jiménez, (2016).

4.1.5. Solar Sails: Velas que son paneles solares y viceversa

La empresa australiana SolarSailor ha creado desde pequeños catamaranes turísticos a yates privados, o incluso, grandes buques comerciales. La característica que hace únicos a estos "SolarSails" son sus paneles a modo de vela, que aprovechan la energía del sol y la del viento. En algún otro modelo, también utilizan una tecnología híbrida con motores eléctricos y de combustión convencionales, Jiménez, (2016).

4.1.6. Solar Shuttle: Un diseño innovador

SolarLab es una empresa con sede en Londres especializada en diseños innovadores de energía solar, como estructuras inflables, suelos, fuentes, hangares y, por supuesto, barcos. Sus responsables han creado más de 50 "Solar Shuttle", con tamaños variados para entre 40 y 255 pasajeros, y que surcan desde hace varios años las aguas de países de todo el mundo, Jiménez, (2016).

4.1.7. The Loon: El barco solar casero

The Loon es un pequeño barco casero de ocho plazas, obra del ingeniero mecánico Monte Gisborne. Su techo está cubierto de placas solares que le proporcionan 738 vatios y dispone de ocho baterías como fuente de energía extra. De esta manera, según Gisborne, el barco puede recorrer unos 16 km con el sol, y entre 48 y 65 con el apoyo de las baterías. Su familia ya lo ha disfrutado en el canal Trent-Severn de Ontario (Canadá), Jiménez, (2016).

4.2. Aplicación de las energías renovables en los buques

El sector naviero está bajo creciente presión para que tome parte en los esfuerzos para reducir el calentamiento global, que es atribuido a las emisiones de CO_2. Algunas estimaciones indican que el transporte marítimo es responsable entre 1.4 y 4.5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Aparte de otros objetivos, se está trabajando activamente en el desarrollo de sistemas de propulsión que serían una contribución para resolver este problema, tales como:

- Velas.
- Cometas.
- Noria de cometas (proyecto “Laddermill”).
- Energía solar.

Cachaza *et al*, (2015).

4.2.1. Velas y perfiles de ala usados como velas

Las velas que se sitúan en los mástiles pueden ser de dos tipos:

Velas tradicionales o perfiles rígidos de ala, los cuales son estructuras semejantes a las alas de los aviones, colocados verticalmente sobre las cubiertas de los navíos y afirmados a ellas en un extremo sobre un soporte giratorio. Las velas tradicionales han constituido desde tiempos inmemoriales la máxima expresión de la utilización de energía renovable, en forma de viento, y con este tipo de propulsión, como bien sabemos, se ha viajado hasta los lugares más remotos del globo y se han establecido rutas comerciales de tal calibre, que hoy podrían parecer impensables con tales medios, a velocidades que incluso hoy serían envidiadas por los sistemas actuales de propulsión, Cachaza *et al*, (2015).

4.2.2. Cometas

Las velas en mástiles tienen ciertas desventajas potenciales. Con vientos desfavorables los grandes mástiles causan una gran deriva y en las galernas, los mástiles producen grandes escoras, a veces peligrosas. Aparte de esto, los mástiles y las velas restan espacio en cubierta para contenedores, etc. y la carga y descarga son más complicadas. Porque dificultan considerablemente el trabajo de las grúas. Sin embargo, la propulsión asistida con cometas evita o reduce considerablemente estos problemas y tiene la ventaja de poder aprovechar los vientos que son más fuertes a mayores alturas, que los que se pueden aprovechar a las alturas que se pueden alcanzar con los mástiles, Cachaza *et al*, (2015).

Figura 3. Concepto de buque cometa, Cachaza et al, (2015).

Un sistema como éste podría significar un ahorro anual de costes de combustible de entre 10 y 35%, dependiendo de las condiciones reales del viento y de la posibilidad de navegar en los períodos más adecuados del año y, puntualmente, de hasta 50%. Potencialmente, todos los buques de carga pueden ser transformados para utilizar una tecnología como ésta.

4.2.3. Paneles solares sobre la superficie velica

Los barcos también pueden beneficiarse de la energía solar. La cubierta de un buque siempre está orientada al sol, por lo que reciben una gran cantidad de esta energía de forma gratuita, siendo dicha energía un modo altamente beneficioso de producir energía eléctrica. Sin embargo, la cantidad de combustible ahorrado en buques grandes utilizando solamente la energía solar es relativamente pequeña.

El concepto de “vela energética” hace referencia a una vela rígida dispuesta en el buque, capaz de rotar automáticamente para sacar el máximo partido del viento y ayudar a propulsar el buque; al mismo tiempo, los paneles solares incorporados en la vela aprovechan la energía solar para proporcionar energía eléctrica y reducir la cantidad de combustible utilizado por los generadores auxiliares, Cachaza *et al*, (2015).

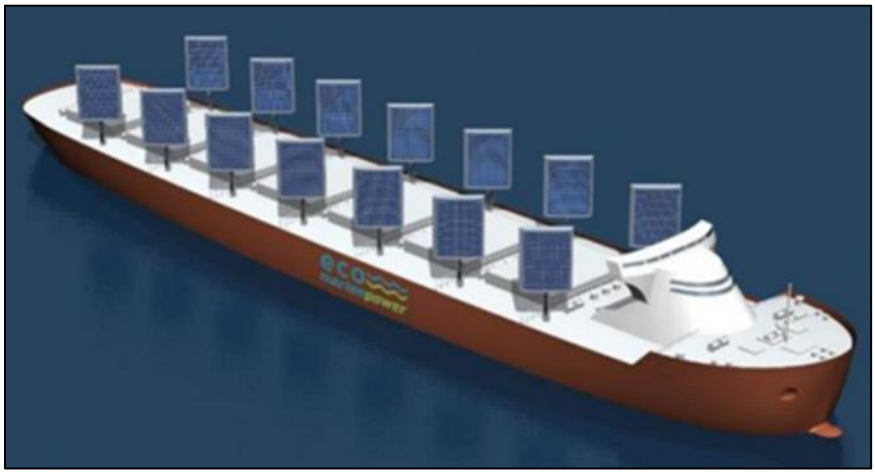

Figura 4. Proyecto Eco-Marine Power que incluye paneles solares, Cachaza et al, (2015).

Sin embargo, los paneles solares pueden usarse mientras el buque está en puerto, almacenando la energía en módulos de baterías y, potencialmente, proporcionar la totalidad de electricidad, totalmente libre de emisiones, necesaria para las operaciones mientras el buque no está en la mar.

La energía solar puede ser empleada para suplementar otras formas de energía disponible a bordo, incluida la necesaria para la propulsión, parcial o totalmente.

Figura 5. Ferrari Solar Cachaza et al, (2015).

En la figura anterior se muestra un ferri tipo catamarán de 69 pies de eslora, para 100 pasajeros, dotado de 8, así llamadas, “velas solares” maniobrables, que pueden ser usada tanto para ayudar a la propulsión como para generar energía eléctrica. Este ferri fue desarrollado y construido por la firma Solar Sailor Holdings Ltd. como un proyecto de demostración, con el apoyo del gobierno australiano y puede operar con viento como con energía solar, con motores diésel y con combinación de todos, Cachaza *et al*, (2015).

Barco solar del pantano de Bengéver, Valencia: es un catamarán de 10 m de eslora, con capacidad para treinta pasajeros. Insumergible al estar rellenos sus dos cascos con espuma expandida. Llega a alcanzar una velocidad de 7 nudos gracias a su generador solar con paneles de última generación que le proporcionan una potencia de 3,150 Wp, unas baterías de gel de 100 Ah de capacidad y dos motores eléctricos con 2,400 W de potencia. La energía utilizada es totalmente gratuita e inagotable, al no utilizar ninguna fuente de apoyo exterior, Cachaza *et al*, (2015).

Comparándolo con un barco similar con motores de gasóleo, a lo largo de su vida útil de 25 años, dejará de emitir aproximadamente 7,214 Tm de CO_2 a la atmósfera. En España encontramos también barcos solares para paseo de turistas en el parque de El Retiro, Madrid, en Palma de Mallorca y en el pantano de Guadalest, Alicante, entre otros. Fueron construidos por la firma española Seacleaner Trawler S.A, con base en Palma de Malloca, del tipo Solemar 25 o Solemar 50, Jiménez, (2016).

Las características del Solemar 50 son, Jiménez, (2016):

- **Eslora total** 10.00 m
- **Manga total** 5.00 m
- **Calado (min/máx.)** 0.60 / 1.00 m
- **Número de pasajeros** 50 personas
- **Velocidad máxima** 6 nudos
- **Velocidad de crucero** 4 nudos

4.2.4. Propulsión asistida por el viento: Velas rígidas

La propulsión asistida por el viento se basa en la utilización de un dispositivo para capturar la energía del viento y generar un empuje. El empuje requerido para propulsar el buque a través del agua se obtiene de la combinación de este dispositivo con el motor del buque. Esto reduce la cantidad de energía propulsora efectiva necesaria para conseguir una velocidad dada. La propulsión asistida por el viento puede funcionar de dos formas:

Mantener la misma velocidad del buque para una potencia reducida del motor. Esto significa una reducción en el consumo de combustible, en los costes y en las emisiones de CO_2.

Incrementar la velocidad del buque para la misma potencia del motor. Esto implica reducir la duración de las travesías y, potencialmente, incrementar la rentabilidad del buque.

La propulsión asistida por el viento es una de las pocas tecnologías aplicables a buques que ofrecen ahorros potenciales de combustible de dobles dígitos, aunque los ahorros reivindicados por las diferentes tecnologías eólicas varían ampliamente, llegando a alcanzar valores cercanos a 50%. Estas variaciones no son debidas únicamente a los diferentes tipos de tecnologías, sino también a las diversas opciones para su implementación y a la influencia de los factores operacionales, tales como las condiciones climáticas y la ruta del buque. Entre las diferentes opciones de tecnologías para la propulsión asistida por el viento, en este trabajo nos centraremos en la utilización de velas rígidas, Cachaza *et al*, (2015).

Figura 6. Modelo a Escala de la Vela rígida, Cachaza et al, (2015).

La efectividad de la propulsión asistida por el viento mediante velas rígidas estará determinada por la capacidad para aprovechar la máxima energía eólica posible y evitar las situaciones desfavorables. Un factor a tener en cuenta es el gradiente vertical del viento. La velocidad del viento atmosférico disminuye al acercarse a la superficie, tanto del mar como de la tierra. Disponer una superficie de velamen mayor en la parte superior de las velas, donde la velocidad del viento es más alta, podría suponer un mayor aprovechamiento de la energía, Cachaza *et al*, (2015).

4.2.5. Estudio de aplicación de las velas rígidas a un buque granelero

Teniendo en cuenta las referencias que sirvieron de inspiración para este trabajo, los tipos de buques que mejor se ajustan a la instalación de velas rígidas son los graneleros y los petroleros, siendo los graneleros los más adecuados debido a que suelen estar sometidos a menores presiones temporales que los petroleros.

Por este motivo, hemos estudiado el empuje logrado en un granelero, cuyas características principales se indican en la Tabla 1, al que se le instalarían tres velas rígidas, Cachaza *et al*, (2015).

Energías sustentables: Son aquellas coherentes con el concepto de desarrollo sustentable. Involucra tecnologías que cuentan con recursos energéticos de larga autonomía, con una ofensa ambiental relativamente baja, mitigando el cambio climático. Incluye, en general, las opciones fósiles en las cuales es posible evitar emisiones, la energía nucleoeléctrica y las energías renovables sin distinción de escala, siempre que sus costos de desarrollo y expansión sean razonables para los usuarios, así como formas intermedias y almacenamiento de energía, combustibles sintéticos e hidrógeno, además de sistemas de consumo eficiente, CEPAL, (2003).

4.2.6. Aprovechamiento de la energía solar

La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la radiación solar, es decir la luz y calor emitidos por el Sol. Puede emplearse para la generación de electricidad o calor, siendo una energía totalmente renovable y limpia, ya que no se emite ningún contaminante atmosférico ni en el proceso de captación ni de transformación. No obstante, los paneles fotovoltaicos pueden suponer al final de su vida útil un residuo contaminante de difícil reciclaje, Sánchez, (2012).

La radiación solar es aprovechable en sus componentes directos y difusos o en la suma de ambos. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La constante solar es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de las atmósferas terrestres en un plano perpendicular a los rayos del sol. Los resultados de su medición por satélites arrojan un valor promedio de 1,366 W/m^2, Sánchez, (2012).

La energía solar puede captarse de forma directa o indirecta; es decir mediante un dispositivo mecánico proyectado e instalado a tal efecto o sin necesidad de este. Los dispositivos mecánicos de la captación de la energía solar pueden clasificarse de forma general en tres grupos:

Colectores térmicos: Captan la radiación mediante captadores solares convirtiéndola en energía térmica que después se transfiere a un fluido de trabajo capaz de emplearse en procesos de generación eléctrica o calefacción. Un captador solar es un elemento material que puede tratarse de una placa plana o un tubo de vacío. Los sistemas de captación planos (o de placa plana) con cubierta de vidrio son los comunes mayoritariamente en la producción de agua caliente sanitaria. El vidrio deja pasar los rayos del sol, estos calientan unos tubos metálicos que transmiten el calor al líquido de dentro. Los tubos son de color oscuro, ya que las superficies oscuras calientan más Sánchez, (2012).

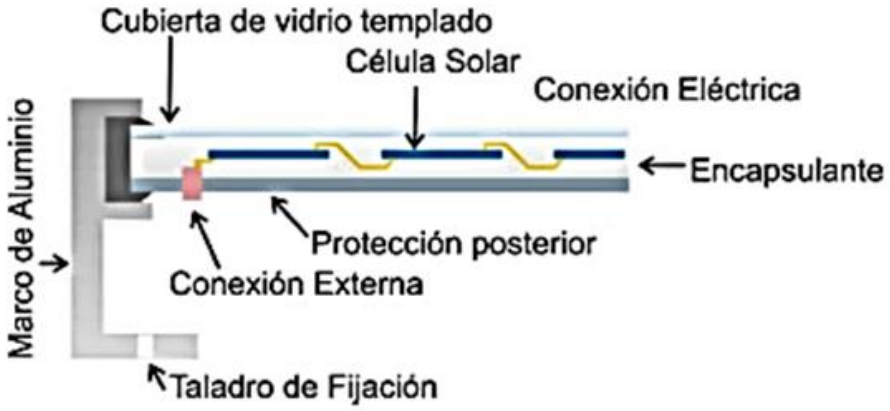

Figura 7. Diagrama de un panel Fotovoltaico, Sánchez (2012).

Paneles fotovoltaicos: Captan la energía lumínica de la radiación solar y la transforman mediante células fotovoltaicas en energía eléctrica. Una célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico compuesto por un material que presenta un efecto fotoeléctrico, es decir, posee la capacidad de absorber fotones y emitir electrones libres que al capturarse, resultan en una corriente eléctrica, Sánchez, (2012).

4.2.7. Aplicación de la energía solar en la marina mercante

La instalación de paneles solares fotovoltaicos o colectores térmicos en buques mercantes viene limitada por el espacio disponible en cualquiera de las cubiertas del buque, si bien existen ciertos dispositivos que permitirían ampliar la superficie útil en estas para la instalación de paneles solares, como lo son las velas solares SolarSail. Esta limitación espacial implica que una instalación de panes solares solo podrá realizarse en aquel tipo de buques con espacio suficiente, por lo que algunos, como los buques portacontenedores o que carguen sobre cubierta, apenas podrán beneficiarse de las mismas, Sánchez, (2012).

En sistemas de propulsión eléctrica: una instalación de paneles fotovoltaicos puede suministrar corriente directamente al motor, reduciendo el aporte del generador principal, y con ello el consumo y las emisiones de contaminantes atmosféricos. Independientemente de que un buque posea o no sistema de propulsión eléctrica, la energía producida por una instalación de paneles fotovoltaicos puede emplearse en la alimentación de sistemas auxiliares, Sánchez, (2012).

Una instalación de colectores térmicos puede proporcionar la energía térmica necesaria para calentar los sistemas de calefacción del buque, así como los de agua caliente de las instalaciones sanitarias o cocinas. La captación de la radiación solar está condicionada por el clima imperante, así como por las horas diurnas, lo que requiere de un sistema de almacenamiento de la energía captada (baterías) o de un sistema de apoyo que supla la energía producida por los paneles solares, Sánchez, (2012).

4.3. Ventajas y desventajas del aprovechamiento de la energía solar.

La principal ventaja del aprovechamiento de la energía solar es su naturaleza completamente renovable y energéticamente limpia, ya que en su empleo no se emite ningún contaminante atmosférico. En un hipotético buque alimentado únicamente por energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos se eliminarían todas las vibraciones producidas en la maquinaria principal, así como todo ruido de la misma debido a su aprovechamiento de la misma en motores eléctricos. El empleo de motores eléctricos conlleva una serie de ventajas, especialmente los de tipo superconductor, Sánchez, (2012).

La única desventaja que presenta el aprovechamiento de la energía solar es el residuo generado por un panel solar tras completar su vida útil, contaminante y difícilmente reciclable en la actualidad. Es de esperar, sin embargo, que dicho aspecto sea mejorado con la evolución en los procesos de reciclaje de residuos y en los materiales empleados en la construcción de paneles solares.

BUQUES QUE UTILIZAN ENERGIA SUSTENTABLE	EQUIPO Y TIPO DE ENERGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TURANOR	- 703 paneles Solares. - 3 baterías de alta capacidad contra agua salada. - 2 motores diésel de emergencia aun no utilizados.	- Aprovecha al máximo la luz solar. - No ha requerido la utilización de combustible. - Recorre gran distancia.	- Dispone de poco espacio para tripulantes. - Tiene rutas especificas delimitadas por el ecuador y trópico de cáncer.
AURIGA LEADOR	- 328 paneles	- Ahorro en la propulsión del 30% y del 70% en los sistemas Auxiliares.	- Dispone de poco espacio para tripulantes. - Tiene rutas específicas.
SOLEMAR	- 16 placas Solares - 24 baterías, 150 h sin necesidad de luz.	- No emiten residuos de petróleo ni gases de efecto invernadero.	- Su funcionamiento depende de un clima favorable.
SOLAR SOILS	- Paneles modo velas	- Aprovecha energía del sol y del viento. - Ahorro de combustible.	- Su funcionamiento depende de un clima favorable.
COMETAS	- Velas en mástil	- Ahorro de combustible 10% y 35% anual. - Grandes beneficios para buques de carga.	- Los mástiles producen grandes escoras a veces peligrosas.
PROPULSOR ASISTIDO POR VELA RIGIDA	- Velas Rígidas - Combinación vela y motor de buque.	- Capturar energía del viento y generar empuje, ahorro de energía.	- Su funcionamiento depende de un clima favorable.

Tabla 1. Comparación de diferentes buques que utilizan energía sustentable, Sánchez A., (2019).

4.4. Embarcaciones existentes

4.4.1. Embarcación ECOSOL 33

La siguiente embarcación es un producto de la empresa alemana Kopf Solarschiff GmbH, especializada en el desarrollo y fabricación de barcos solares. Dispone de una amplia gama de modelos y tamaños, que cubren un amplio rango de prestaciones. El modelo ECOSOL 33, es el referente de diseño para el presente proyecto. Se trata de una embarcación ligera de tipo catamarán construida en aluminio. El equipo de propulsión, lo conforman dos motores eléctricos de corriente continua alimentados por dos bancos de baterías independientes.

Su generador solar permite cubrir un máximo del 8% de la energía requerida por el sistema de propulsión a valores de plena carga, lo que hace pensar que dispone de un medio auxiliar de alimentación, o bien está diseñada para navegar con una carga previa de las baterías a través de la una red eléctrica fija, Jiménez, (2016).

Figura 8. Embarcación ECOSOL 33, Jiménez, (2016).

4.4.2. Embarcación SOLEMAR 30

Es una embarcación similar a la anterior, pero de prestaciones más modestas. El promotor de su desarrollo, ha sido el centro tecnológico electro solar de las Islas Baleares (España), en conjunto con la empresa de construcción naval Seacleaner Trawler S.A.

Tiene una velocidad de crucero de 3 nudos (5,5 km/h), y utiliza dos motores de corriente continua de baja potencia. Para este modelo, el generador solar puede cubrir hasta 60% de la demanda total de energía del sistema de propulsión trabajando a máxima potencia. Por lo que se puede considerar una embarcación que realmente se sustenta a través de la energía solar fotovoltaica.

Emplea unas baterías de plomo-ácido con electrolito de gel. No definen una autonomía mínima, pero suponemos que es baja, ya que está destinado para paseos dentro de un estanque ubicado en un casco urbano, siendo su principal finalidad la divulgación de EERR´s.

En la siguiente ilustración se menciona de forma breve sus principales características técnicas, Jiménez, (2010).

Figura 9. Embarcación Solar, Jiménez, (2010).

4.4.3. Travesía transoceánica

Este modelo fue desarrollado por una compañía suiza especializada en embarcaciones solares. Cruzo el atlántico desde Sevilla hasta Miami solamente utilizando energía solar. El trayecto lo hizo en un periodo de 117 días, su velocidad de crucero fue de 5,5 nudos (10 km/h). Se ha elegido este barco, porque es la muestra palpable de la viabilidad de un barco solar con una alimentación 100% solar. Sin ningún motor híbrido de apoyo ni ninguna carga auxiliar. El único dato técnico disponible es sobre su generador solar. Está compuesto por 48 paneles fotovoltaicos mono - cristalinos que entregan una potencia aproximada de 9,6 kW, capaces de alimentarlo prácticamente sin interrupciones, Jiménez, (2010).

Figura 10. Yate Sun 21, Jiménez, (2010).

4.4.4. Método y cálculo de elección del sistema

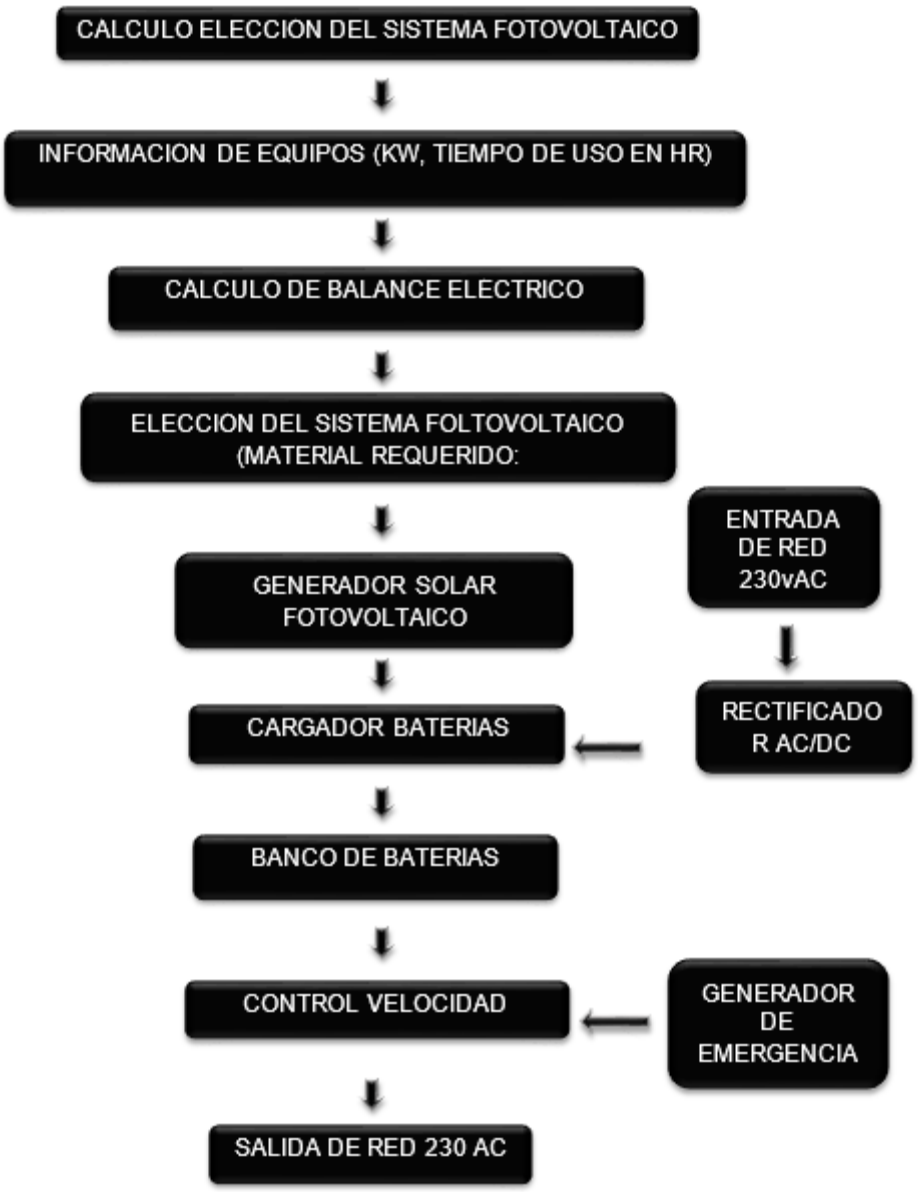

Figura 11 Método y cálculo de elección del sistema, Sánchez A., (2019)

4.4.5. Equipos de embarcaciones existentes

TURANOR

- 703 paneles solares.
- 3 baterías de alta capacidad contra agua salada.
- Dos motores diésel de emergencia aun no utilizados.
- Aprovecha al máximo la luz solar.
- No requiere la utilización de combustible.
- Recorre grande distancia.
- Dispone de poco espacio para tripulantes.
- Tiene rutas especificas delimitadas por el ecuador y trópico de cáncer.

AURIGA LEADOR

- 328 paneles Solares.
- Dispone de poco espacio para tripulantes.
- Tiene rutas específicas.

SOLEMAR

- 16 placas solares.
- 24 baterías.
- 150 h sin necesidad de luz.
- No emiten residuos de petróleo ni gases de efecto invernadero.
- Su funcionamiento depende de un clima favorable.

SOLAR SOILS

- Paneles modo velas.
- Aprovecha energía del sol y del viento.
- Ahorro de combustible.
- Su funcionamiento depende de un clima favorable.

COMETAS

- Velas en mástil.
- Ahorro de combustible 10% y 35% anual.
- Grades beneficios para buques de carga.
- Los mástiles producen grandes escoras, a veces peligrosas.

PROPULSOR ASISTIDO POR VELAS RÍGIDAS

- Combinación vela y motor de buque.
- Capturar energía del viento y generar empuje.
- Ahorro de combustible al utilizar energía eólica.
- Su funcionamiento depende de un clima favorable.

4.5. Balance eléctrico de una embarcación

4.5.1. Sistema eléctrico del buque:

Es uno de los tantos sistemas auxiliares del buque, cuya función la cual es de las de mayor importancia, es generar el flujo de electricidad encargada de alimentar a los diversos aparatos y artefactos eléctricos que garantizan el cumplimiento de la labor para la cual fue destinado el buque. La planta eléctrica de un buque de tiene una gran importancia en el planteamiento y diseño del buque.

Los elementos característicos de una planta eléctrica de un buque son los siguientes:

•Grupos generador de energía.

Cuadro principal.

- Sistema de Paneles solares.
- Red de distribución.
- Banco de baterías.
- reguladores.

La instalación eléctrica del buque deberá ajustarse a los requerimientos de las casas clasificadoras y los convenios de seguridad en el mar:

- American Bureau of Shipping.
- Convenio de Seguridad de la Vida en la Mar (SOLAS).

En general, los sistemas eléctricos de los buques son de una calidad superior a la estándar pues deben sobrevivir un periodo muy largo en condiciones adversas de salinidad, alta conductividad del casco y el agua del mar, humedades, incrustaciones y corrosión. Los aislamientos y el acabado de la instalación requieren por tanto un extra de calidad respecto a otros usos industriales en tierra.

4.5.2. Definición de las tensiones, frecuencias y distribución

Antes de realizar el estudio de la planta eléctrica es necesario definir ciertos parámetros básicos como son:

• Tipo de corriente a utilizar (alterna o continúa).

• Tensión de la misma.

• Frecuencia.

En la actualidad comúnmente en los buques se usa corriente alterna trifásica al igual que en las instalaciones terrestres, por presentar numerosas ventajas a la corriente continua.

4.5.3. Balance de cargas

El análisis del Balance de Cargas Eléctricas consiste de una tabulación detallada de todas las cargas eléctricas que operan durante la navegación, durante las maniobras y en puerto. Para realizar el Balance de Cargas Eléctricas se han de seguir los siguientes pasos/criterios:

- Se definen las diferentes situaciones de operación del barco, entre las cuales hay diferencias significativas de consumo eléctrico (navegación, navegación con pesca, faena de pesca, en puerto).
- Se enlistan los diferentes consumidores eléctricos en una tabla, indicando su carga y su eficiencia eléctrica.
- Se asignan factores de utilización para cada situación y unidad.
- Se determina la potencia útil de cada carga con la ayuda de su factor de utilización y eficiencia.
- Se determina la máxima demanda en cada condición, como suma de los

consumos de red de cada unidad.

- Se asigna un margen de seguridad a la demanda máxima de cada situación.
- El sistema de generación/almacenamiento habrá de tener la flexibilidad suficiente como para atender todas las situaciones, funcionando con el máximo rendimiento posible.

4.5.4. Análisis de cargas

Figura 12. Análisis de carga, Sánchez A., (2019)

Equipo de navegación

Los equipos y sus cargas dependen respectivamente del tipo y tamaño del buque. En este buque se analizarán las cargas instaladas que son de 110 y 220 Volt.

Equipos de 110 - 220 volt	Características de Carga	
	Carga	Eficiencia
	kW	N
Televisión 32"	0.14	0.85
Equipo de sonido	2	0.9
Bobas de achique	0.552	0.85
Luz de navegación	0.132	1
Motor eléctrico	4	1
Alumbrado general	0.128	0.9

Figura 13. Diagrama de análisis de elementos, Sánchez A., (2019)

Potencia de red

En el balance de cargas de 220 volt se detallara las cargas y la eficiencia de los equipos que trabajan a este voltaje. Para determinar la potencia de red (kW) de cada equipo se procede a la siguiente fórmula:

$$potencia\ de\ red = \frac{Carga\ (KW)}{Nelectrica}$$

Equipos de 110 - 220 volt	Características de carga		Potencia de red
	Carga	Eficiencia	
	kW	N	kW
Televisión 32"	0.14	0.85	0.119
Equipo de sonido	2	0.9	1.8
Bobas de achique	0.552	0.85	0.4692
Luz de navegación	0.132	1	0.132
Motor eléctrico	4	1	4
Alumbrado general	0.128	0.9	0.1152

Tabla 3 Potencia de equipos de navegación, Sánchez A., (2019)

Calculo de las potencias útiles y máxima demanda.

Luego se procede a calcular, para cada operación, la potencia útil (Pu) de cada carga con la ayuda de su factor de utilización y eficiencia:

$$Pu = factor\ de\ utilizacion\ (0-1) * potencia\ de\ Red$$

Con las potencias útiles de todas las cargas se puede estimar la demanda máxima de cada forma de operación:

$$Maxima\ demanda = \sum Pui = Pu1 + Pu2 + Pu3 + \cdots + Pun$$

Las clasificadoras recomiendan dejar un margen de 15% de reserva por capacidad de demanda máxima, con esto se puede calcular la CAPACIDAD DE GENERACIÓN por

demanda máxima, la cual difiere en cada forma de operación:

$$CGmax = \frac{Maxima\ demanda}{0.85}$$

Todos estos resultados se dispondrán en una tabla general en donde se ve claramente cada equipo y sus potencias que consumen. Estos resultados se mostraran en un cálculo aparte de la tabla general.

Equipos de 110 - 220 volt	Características de Carga		Potencia de Red	Condición		Condición	
	Carga	Eficiencia		Navegación Día		Puerto	
	kW	N	kW	Fu	kW(PU)	Fu	kW(PU)
Televisión 32"	0.14	0.85	0.119	1	0.119	0.5	0.060
Equipo De Sonido	2	0.9	1.8	1	1.8	0.5	0.900
Bobas De Achique	0.552	0.85	0.4692	0.25	0.1173	0.25	0.029
Luz De Navegación	0.132	1	0.132	1	0.132	1	0.132
Motor Eléctrico	4	1	4	1	4	0.25	1.000
Alumbrado General	0.128	0.9	0.1152	0.25	0.0288	0.25	0.007
Potencia Instalada	6.952						
Demanda Máxima				∑=	6.197	∑=	2.128
Cap. Del Regulador Por Max. Demanda					7.291		2.504

Tabla 4 Calculo de potencias y demanda máxima, Sánchez A., (2019)

4.5.5. Concepto de diseño

Motor fuera de borda eléctrico de corriente continua de alta eficiencia y potencia nominal encargado de propulsar la embarcación. Sistema acumulador compuesto por baterías de litio de capacidad nominal, donde se almacena la energía necesaria para el sistema propulsor y sistemas auxiliares. Este es un elemento crítico ya que de su tamaño depende la autonomía y el peso de la embarcación final. Sistema generador fotovoltaico, encargado de reponer la energía en el banco de baterías (sistema acumulador) durante la navegación y los sistemas auxiliares. Regulador de carga solar

programable con seguidor del punto de máxima potencia para asegurar una adecuada carga hacia el banco de baterías, Mandos para el control de velocidad y consumo energético de la embarcación.

4.6. Análisis de elementos

4.6.1. Elementos que componen la embarcación

A continuación, se muestran los elementos que forman parte del sistema de generación, gestión y aplicación de la energía que proporcionan la fuerza motriz que requiere la embarcación. En el siguiente esquema se representa gráficamente cómo interactúan dentro del proceso.

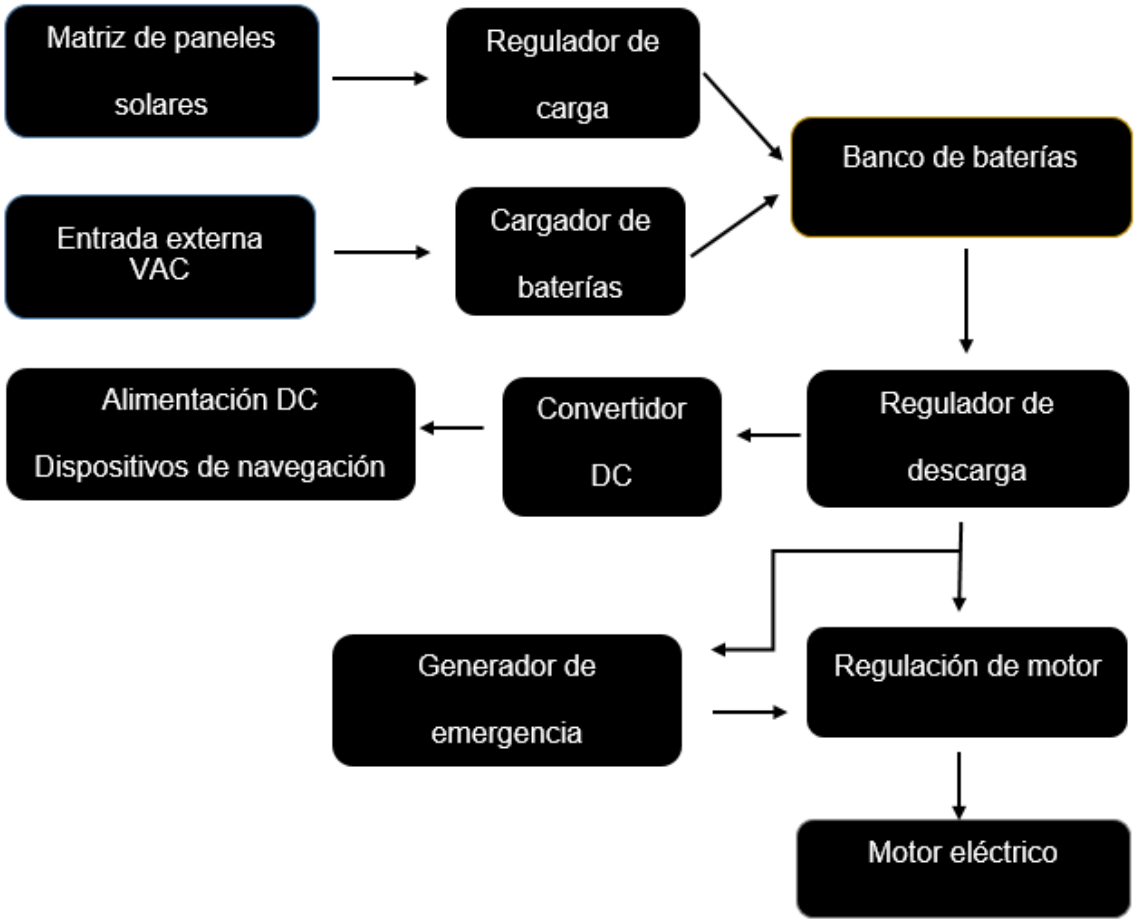

Figura 13. Diagrama de análisis de elementos, Sánchez A., (2019)

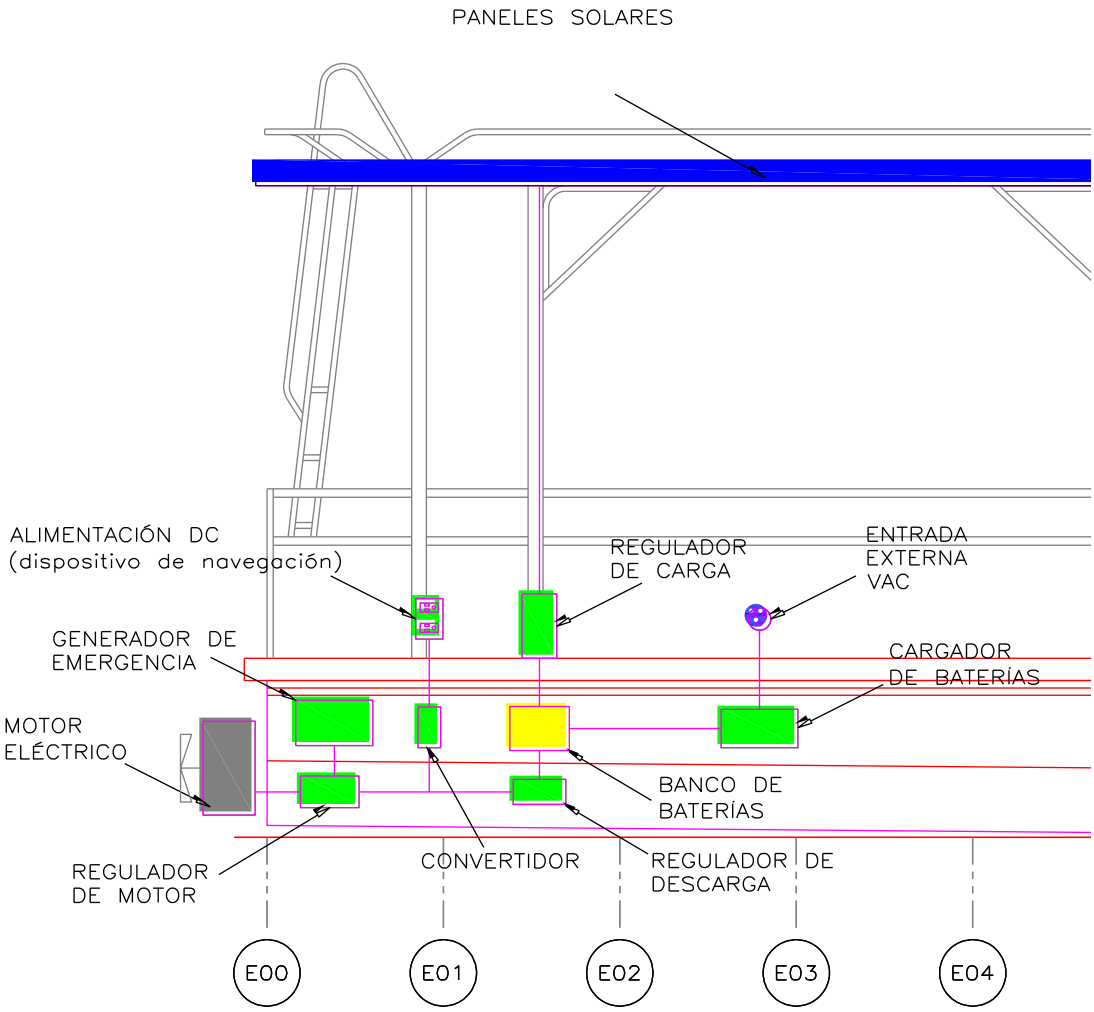

Figura 14. Concepto de diseño, Sanchez A., (2019).

A continuación, se procede a una descripción de las tecnologías disponibles para elementos de la embarcación. La estructura del documento se ha orientado sobre las siguientes áreas:

- Paneles solares fotovoltaicos.
- Acumuladores de baterías.
- Motores eléctricos.

- Regulación de motores.

Dentro del desarrollo de la información obtenida en la fase de investigación, por disponibilidad de recursos no ha sido posible el análisis profundo de todas las tecnologías. Por ello se aplicó un criterio de selección que acote las posibilidades que mejor se adecuan al proyecto.

4.6.2. Metodología de cálculo

Para el cálculo de la demanda energética necesaria para mover la embarcación y suministrar los servicios requeridos, se realizará un levantamiento de información sobre las distancias, tiempos y velocidad de navegación así también todo el equipo y servicios auxiliares, que las embarcaciones utilizaran durante el servicio a ofrecer. Con estos datos, y una vez seleccionado el motor eléctrico adecuado para desplazar el peso total de la embarcación incluyendo equipos y pasajeros, mediante el balance eléctrico se estimará el consumo de energía que tendría la embarcación. Se tomarán como indicadores el uso de la embarcación durante periodo horas al día y distancia, tratando de asegurar la autonomía del sistema al menos durante un día, Jara-Alvear, (2013).

Para el cálculo de la generación eléctrica fotovoltaica, se optó por el método del mes más desfavorable, en el que, conocido el consumo constante durante todo el año, se elige como mes de diseño el que ofrece una menor radiación solar. De esta manera se aseguraría la funcionalidad del sistema fotovoltaico el resto del año, cuando las condiciones son más favorables. Los datos de radiación se consiguieron a través del “Atmospheric Data Center” 3 de la NASA, y completados con datos del proyecto ERGAL (Lahmeyer, 2001), la embarcación debería ser capaz de funcionar únicamente con la radiación solar, por lo menos durante un día de navegación, Jara-Alvear, (2013).

5. RESULTADOS

Propuesta: para el diseño de una nueva embarcación de la embarcación, se modificará y adaptará a una lancha tradicional o yate de recreo no mayor a 24 m de eslora (longitud). Los trabajos de modificación se orientaron a la correcta instalación de los equipos de propulsión eléctrica y generación solar a través de mano de obra local y de esta forma incentivar el uso de esta nueva tecnología. A futuro se podría mejorar su diseño y construcción, para tener una embarcación más liviana y adecuada a la tecnología solar.

5.6. Modificación a embarcación de pasajero

Reconocidas las ventajas y desventajas de embarcaciones con fuentes de energía alterna se tomó un concepto de diseño de una embarcación de recreo, modificando su cubierta principal y colocando 26 paneles solares sobre techo de cubierta. La ilustración 14 muestra las características principales de la embarcación, obtenida de los planos en los (anexos 1, 2, 3, 4, 5). La embarcación se ha diseñado con el mínimo desplazamiento posible. El casco estará construido de aluminio. Su principal uso es el transporte será de pasajeros aguas tranquilas, los viajes serán limitados a algunas horas y el banco de baterías ha sido dimensionado para proveer la energía necesaria para cada viaje, al final del cual la embarcación regresa a su puerto base. Se ha diseñado un techo cubierto de paneles fotovoltaicos, ver (anexo 3), normalmente disponer un peso elevado sobre cubierta podría ser un problema para la estabilidad de

la embarcación, sin embargo, este peso moderado es ampliamente compensado por el mayor peso del banco de baterías, ubicado convenientemente lo más bajo posible. Los paneles recargan continuamente las baterías durante el viaje en condiciones diurnas. No obstante, lo anterior, la recarga de baterías durante el viaje no es necesaria, si al comienzo del viaje las baterías están a capacidad total.

Eslora total	7.800 m
Manga	2.510 m
Puntal	0.693 m
Pasajeros	32
Tripulación	3
Velocidad máxima	6 nudos
Material casco	Aluminio
Potencia motora	4 kW

Tabla 5. Características Principales de la embarcación, Sánchez A., (2019)

Una vez culminada la adecuación de la embarcación e instalación del equipamiento, se proponen pruebas de navegación, simulando las condiciones asumidas en el diseño original, manteniendo la velocidad promedio y distancia del recorrido de diseño.

Los resultados de este proyecto demuestran en un principio la viabilidad técnica y los

beneficios ambientales, económicos y sociales que conllevaría utilizar embarcaciones eléctrico/solares como una alternativa para reemplazar los motores Diésel. Mediante los productos existentes de embarcaciones ecológicas en servicio, obtuvimos productos, y sus aplicaciones típicas, así como los beneficios dentro de los buques tales como: un mayor espacio en la zona de almacenamiento de combustible, así como una reducción en las vibraciones producidas por maquina asistidas por diésel, Libre ruidos y libre de emisiones de CO_2.

Se pueden reducir los errores de elección de sistemas de producción de energía alterna, y los altos índices de contaminación en el mar, por medio de la elección de resultados estadísticos que lleve a la concientización de los daños ecológicos que trae consigo la sobre explotación de la industria naval a largo y a corto plazo.

Sería conveniente promover el uso de fuentes de energías alternativas en embarcaciones, por medio de la utilización de las mejores prácticas del uso de fuentes alternativas de energía graficas que muestre su aportación para mejorar al medio ambiente y a la economía mundial a largo y a corto plazo.

5.7. Evaluación e impacto económico

El proyecto buques con fuentes de energía alterna, pueden contribuir con un impacto positivo en la selección rápida y precisa y la reducción de la contaminación ambiental y en mejorar la economía de los propietarios de dichas embarcaciones. Ya que en la actualidad el incremento de los costos de combustibles ha aumentado de manera desmedida en los últimos años.

Al utilizar dichas embarcaciones que funcionen con energías sustentables, además de tener una gran aportación al medio ambiente, es además una inversión económica para

prevenir futuros danos ecológicos, que trae grandes pérdidas a económicas a largo y a corto plazo.

La contaminación ambiental, trae en sí, diferentes tipos de enfermedades provocadas por las emisiones a gases CO_2. El utilizar embarcaciones ecológicas se reducirá en gran medida dichas emisiones de gas, trayendo así una mejor calidad de vida en el sector de salud, esto implicaría una aportación económica mundial a largo plazo.

Las embarcaciones turísticas de recreo y pesca deportiva que deseen implementar un sistema de paneles solares en sus embarcaciones tendrán que ser modificadas en lo menor posible teniendo un costo de inversión. El cual será rembolsado en un corto periodo.

5.7.1. Costos de implementación y operación

El costo de implementación de un sistema de propulsión eléctrico a bordo constituye una parte importante del valor total de la nave, especialmente en el caso de una embarcación menor.

Es necesario hacer una estimación de costos para cada proyecto en particular, dado que la forma del casco, perfil de misión, presupuesto disponible y una serie de otros factores influirán en las decisiones respecto al tipo, marca y modelo de los elementos que constituyen un sistema eléctrico de propulsión, Salas, (2013).

Sin embargo, es posible determinar ciertos parámetros con el fin de tener una idea global de los costos referenciales de mercado para la implementación de un sistema eléctrico de propulsión en una embarcación menores a 24 m de eslora, Salas, (2013).

Existe una gran gama de proveedores tanto de motores eléctricos, como de baterías y paneles fotovoltaicos, por lo que los precios indicados son referenciales y sujetos a variación. Los motores eléctricos son valorados para 5, 10 y 20 kW que corresponden a potencias normalmente utilizadas para propulsar este tipo de embarcaciones. De igual forma se establecieron parámetros para conocer los precios de mercado de las baterías. En estos casos más comunes se escogen una serie de baterías de 6 volt y capacidad cercana a los 300 Ah. Para los paneles fotovoltaicos se escogieron paneles mono cristalinos de 200 kW de potencia referencial, Salas, (2013).

Consultando a diversos proveedores se establecieron los siguientes precios promedio.

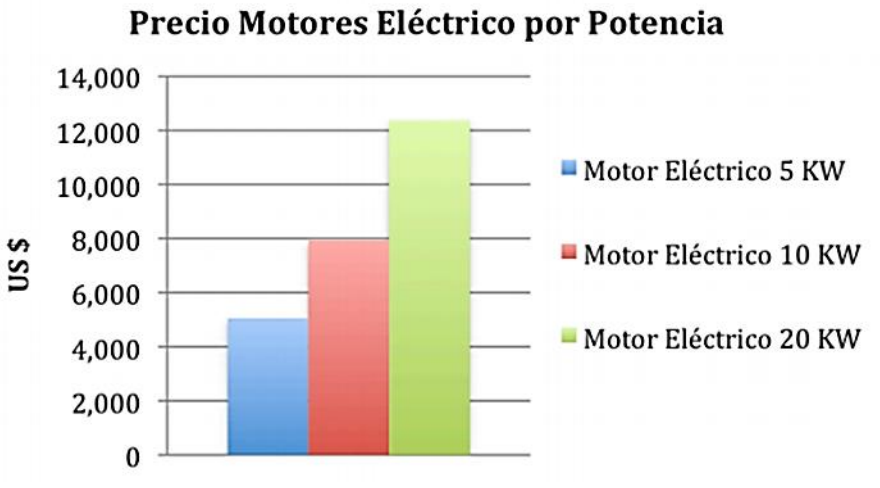

Figura 15. Relación de motores eléctricos, salas, (2013).

Basándose en un sistema de propulsión para un motor de 10 kW de potencia, se muestran a continuación los precios referenciales de mercados para los elementos que componen el sistema, considerando tanto la carga de baterías por medio de paneles fotovoltaicos, así como desde la red eléctrica por medio de un cargador de baterías. El número de paneles y baterías fue calculado para obtener una autonomía dentro del promedio, dado que cada proyecto en particular requiere de un análisis particular a cada caso, Salas, (2013).

Ítem	Cantidad	Precio Unitario (US$)	Precio (US$)
Motor Eléctrico	1	7.932	7.932
Panel Fotovoltaico	10	925	9.250
Baterías	4	970	3.880
Cargador de Baterías	1	1.429	1.429
		Total =	**22.491**

Figura 16. Costo de sistema eléctrico Salas, (2013).

Con el fin de realizar una comparación de costos estimativa para una potencia de 10 kW, las dos alternativas de propulsión eléctrica son confrontadas con un sistema de potencia similar de un motor diésel de 10,3 kW (BHP). En base a los valores de distintos proveedores de motores diésel de las características indicadas se obtuvo un valor de mercado promedio de US$ 8.070. De esta forma es posible realizar la comparación de los precios de adquisición del sistema de propulsión para este ejemplo particular, Salas, (2013).

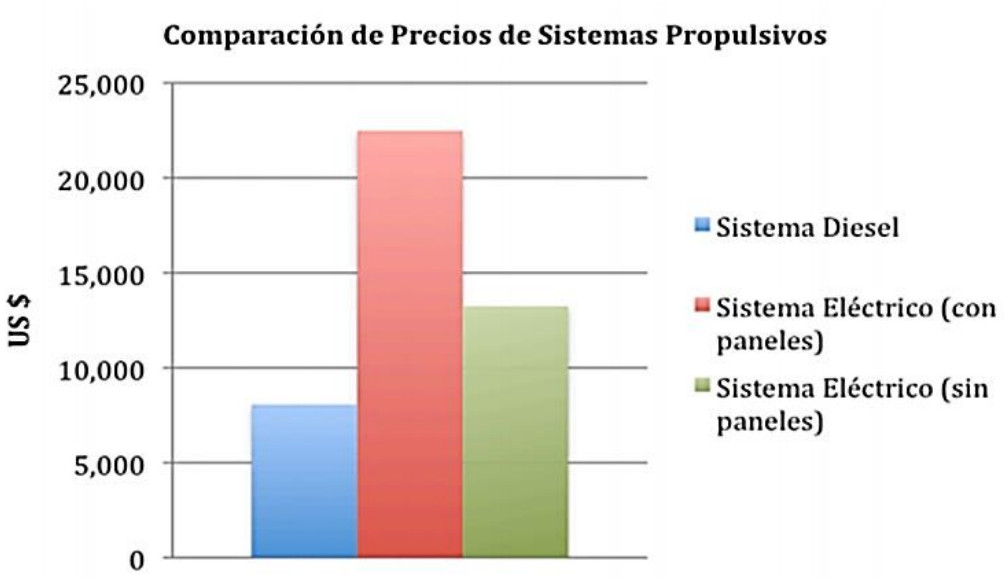

Figura 17. Costos de sistemas de propulsión, Salas, (2013).

Si bien existe diferencia en los costos de implementación entre un sistema propulsor diésel y uno eléctrico, la gran ventaja de este último desde el punto de vista económico se encuentra en los costos de operación, especialmente referido al sistema eléctrico que utiliza radiación solar para la carga de las baterías, ya que los costos de operación son prácticamente nulos, si se considera que estos motores casi no requieren mantención y la utilización de un tipo de energía gratuita y renovable como la luz solar, Salas, (2013).

En el caso de cargar las baterías mediante la red eléctrica por medio de un cargador, se debe considerar el costo de la electricidad, que varía de acuerdo al proveedor local de energía eléctrica. Como referencia el costo, en 2011, de 1 kW/h precio al consumidor residencial en Chile varía entre 0.22 y 0.32 dólares. Usando estos valores es posible calcular el costo por hora de navegación de una embarcación. Como es sabido este cálculo variará de acuerdo a cada embarcación, y cada motor, ya que las formas del casco influirán en el consumo eléctrico del motor, lo cual varía la potencia eléctrica por hora de navegación. De igual forma influirá la velocidad a la que se navegue, por cuanto el motor consume una cantidad de energía distinta a diferentes niveles de carga, Salas, (2013).

El cálculo de costo por hora de navegación es independiente para cada embarcación y cada motor en particular. Sin embargo, como se indicó anteriormente se realizó la comparación para dos motores, uno eléctrico y uno diésel en un casco específico, basado en sus curvas de consumo eléctrico y de combustible respectivamente. Bajo estas consideraciones se estableció que el tiempo para recuperar la diferencia de capital inicial es de 6 meses, en el caso de un casco sin paneles y 1 año aproximadamente, en el caso de instalarse paneles solares. Para esta simulación se consideró una operación diaria de 6 h durante todo el año de la embarcación, lo cual puede ser el caso por ejemplo de una embarcación menor dedicada al transporte de pasajeros, lo que coincide con la autonomía aproximada de un sistema de este tipo, Salas, (2013).

6. CONCLUSIONES

El uso de energía alterna en embarcaciones menores es viable, operacional y económicamente favorable. Con carencias principalmente de autonomía reducida y capacidad de recargar energía diariamente.

La restricción de potencia condiciona el desplazamiento al mínimo posible, por esta razón es conveniente el uso de materiales ligeros tales como aluminio, madera laminada o materiales compuestos, por la misma razón no es posible transportar grandes cargas.

En cambio, el transporte de pasajeros es apropiado a la propulsión eléctrica porque el peso de los pasajeros cambia el desplazamiento en forma mínima, no obstante, lo anterior, las embarcaciones multicasco tienen ventajas comparativas para acomodar grandes superficies de paneles fotovoltaicos. Desde el punto de vista económico, el sistema de propulsión eléctrico tiene un valor considerablemente mayor al sistema de propulsión diésel, para potencias similares. Si el sistema de propulsión eléctrico no contempla generación de energía con paneles fotovoltaicos, el costo se reduce bastante, aunque sigue siendo superior a un sistema diésel convencional. El mayor costo de implementación del sistema eléctrico se ve compensado por el mínimo costo operacional que implica este tipo de propulsión, llegando incluso a ser casi nulo si se opera con paneles fotovoltaicos. Es posible absorber la diferencia de costos de implementación respecto a un sistema diésel en un plazo mediano, pasado el cual se contará con un sistema que no contamina, de fácil operación y notoriamente económico para propulsión de embarcaciones menores.

7. REFERENCIAS

Albert, L. A. (2004). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. Revista de la facultad de salud pública y nutrición, Capítulo 14. (228-231).

Alier, J. M. (2008). Conflictos ecológicos y justicia ambiental. Papeles de relaciones eco sociales y cambio global, 103, 11-28.

Altomonte, H., Coviello, M., & Lutz, W. F. (2003). Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas. CEPAL

Barrientos, O. E. A. G. (2010). Anteproyecto de una embarcación de turismo.

Cachaza Vázquez, L., Pérez López, G., Villa Caro, R., & Ángel, J. (2015). Reducción del consumo de combustible mediante velas rígidas y paneles solares.

Carlier, M. (2003). El transporte marítimo en Europa. XX/Semana de Estudios del Mar, Melilla, 26.

Castro, J. (2011). Perspectivas de la demanda energética global. Petrotecnia, 1, 54-70.

CEPAL, N. (2003). Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: guía para la formulación de políticas energéticas. Cepal.

Chaumette, P. (2009). El Convenio sobre el trabajo marítimo, cuarto pilar del Derecho internacional marítimo. Revista del Ministerio de Trabajo e Inmigración, (82), 65-76.

Chousa, J. P., & Castro, N. R. (2001). El desarrollo sostenible en el sector energético: las energías renovables en Galicia y su aportación al Grupo Unión Fenosa. Revista galega de economía, 10(2), 1-23.

Dedios, J. Y. (2014). El Gas Natural: Una Fuente de Energía Alternativa. Industrial Data, 3(2), 21-25.

Díaz, M. A. R. B. (2013). Energía eólica. Boletín IIE

Fernández, P. (1993). Energía eólica. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, 136p.

Jara-Alvear, J., Pastor, H., García, J., Casafont, M., Araujo, E., Calderón, E., & Bonn, A. (2013). Embarcaciones solares, una evolución al transporte marino en las islas Galápagos, Ecuador. In 1st International congress and scientific expo ISEREE (pp. 1-8).

Franco, I. G., & Álvarez, A. G. (2011). Estimación del consumo de energía y emisiones de CO2 en trenes de mercancías y análisis de su variabilidad. Investigación FFE Memoria de artículos, publicaciones y conferencias 2009-2010, 195.

García, M. A. S., Rivera, M. M. I., Camacho, E. M., & Castaño, F. S. (2007). Estado actual de la gestión de residuos MARPOL y su contribución a la prevención de la contaminación marina. Residuos: Revista técnica, 17(96), 72-81.

Herrera, A. (2015). Uso histórico de la energía y perspectivas de investigación de la energía alternativa en la universidad marítima del caribe. Doctum, 15(1).

Jiménez Ariza, J. M. (2016). Modelado de un sistema híbrido con energías renovables para propulsión eléctrica en embarcaciones: aplicación a una plataforma flotante robotizada.

López Sánchez, O. (2016). Guía de aplicación de energía solar como alternativa de energía renovable en embarcaciones de recreo (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Mazondo, J. (2013). La gestión naviera. Editorial aplicación empresarial.

Montoya-Aguilar, C. (2005). Antecedentes para una política gubernamental de energía que favorezca a la salud, el ambiente, la economía y la soberanía nacional. Cuad Med Soc, 45(2), 81-92.

Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). Energía eólica. Instituto Argentino de la Energía “General Mosco ni, 3.

Paz, J. C. (1989). Energía Solar.

Piñeiro, F. J. G. (1988). WS programas y actividades, en materia de medio ambiente, en las organizaciones internacionales y la participación española. Larralde: Investigación y espacio, (11), 9-20.

Ravelo, M., Rodas, M., Zaragoza, F., & Hernández, R. (2006). Fuentes Alternas de Energía: ¿Cuál será la Energía que Sustituirá al Petróleo? Revista de estadística, econometría y finanzas aplicadas, 153.

Rasero, C. M. (2008). Energía solar fotovoltaica.

Rittenhouse Inglis, D. (1981). Energía eólica. Ed. Fraterna.

Salas, M., Luco, R., & Ekdahl, H. (2013). Energía solar para propulsión de embarcaciones fluviales. EUT Edizioni Universita di Trieste.

Sanjorge Maneiro, M. (2015). Diseño de los sistemas de mantenimiento y consumos auxiliares mediante energías renovables del Buque Escuela Juan Sebastián Elcano (Doctoral disertación, Centro Universitario de la Defensa, ENM).

Sánchez Girón, J. R. (2012). Hacia el buque de actividad sostenible: Revisión de medidas de reducción de emisiones atmosféricas y alternativas al empleo de combustibles fósiles.

Sieferle, R. P. (2001). Qué es la historia ecológica. Naturaleza transformada. Estudios de historia ambiental en España, Icaria, Barcelona, 31-54.

SOLAS, J. (2013). Organización Marítima Internacional. Barcelona: Alianza.

Talayero, A., & Telmo, E. (2008). Energía eólica. España: Universidad de Zaragoza.

Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. Revista española de salud pública, 79(2), 117-127.

Villega Posada, F. A. (1999). Evaluación y control de la contaminación (No. Doc. 21316) CO-BAC, Bogotá).

8. ANEXOS

Planos de líneas de forma

Planos de arreglo general 1

Planos de arreglo general 2

Planos de arreglo general 3

Planos de arreglo general 4