

## Diseño de un ferry eléctrico para 260 pasajeros y 19 autos destinado para Puerto Aveiro en Portugal

Por: Kevin Santiago Oña Rojas & Lissette Margarita Tenesaca Mendoza, Enero 2020

Tutor: Hugo José Jama Aveiga, Ing.

### RESUMEN

Más del 90% del comercio mundial se realiza por mar a través de unos 90.000 buques. Estos utilizan combustibles fósiles, emitiendo dióxido de carbono uno de los principales gases del efecto de invernadero, lo que contribuye significativamente al cambio climático, y además el transporte marítimo sigue creciendo. Puerto Aveiro es el punto de conexión entre Sao Jacinto y Fort Da Barra, aquí se encuentra operando el ferry Cale de Aveiro, con más de 50 años de construcción buque que utiliza combustibles fósiles. Portugal quiere sumarse a la campaña de concientización ambiental y requiere reducir las emisiones de dióxido de carbono en este medio de transporte. El alcance general del presente trabajo es diseñar un ferry eléctrico destinado al transporte de pasajeros y autos mediante el cumplimiento de los requerimientos del armador, reglas de la Sociedad Clasificadora y demás regulaciones para navegar en dicha zona de Portugal; logrando esto a través de la identificación de los requerimientos del armador para el desarrollo de las etapas de diseño conceptual y preliminar de la embarcación, implementando energía solar con el uso de paneles para obtener mejoras en el diseño y con la estimación de los costos de diseño-construcción, mantenimiento preventivo y operación de la embarcación, que conlleve a la apropiada toma de decisión del armador.

Dentro del proceso se utiliza el concepto de la espiral de diseño, la cual es una serie de parámetros para el número de etapas requeridas por el diseñador. En este trabajo, se consideraron tres etapas, para lo cual la etapa conceptual y preliminar son las dos primeras donde se tuvo sus respectivos resultados, pero empleando otra vuelta a la espiral finalmente el producto de este trabajo se ve reflejado con la etapa mejorada.

### Características principales

Eslora total	36.52 [m]
Manga moldeada	9.60 [m]
Puntal a Cub. Principal	2.73 [m]
Calado de diseño	1.50 [m]
Velocidad	9 [kn]

Se propone el diseño de un ferry eléctrico de 36.52 [m] de eslora, 9.60 [m] de manga, 2.73 [m] de puntal, 1.50 [m] de calado y 9 [nudos] de velocidad de

diseño. Dentro de su forma y acomodación esta es para 260 pasajeros y 19 autos siendo propuesto la forma double ended donde tanto proa como popa son iguales. Cuenta con 3 [toneladas] para tanques de agua dulce, 3 [toneladas] para tanques de aguas grises/negras y 114 [toneladas] para tanques de lastre. Además, su consumo total eléctrico es de 1241.50 [kWh], disponiendo de 191 baterías de iones de litio destinadas para los diferentes grupos consumidores como sistema de maquinarias, sistema de propulsión, equipos de comunicación y navegación. Por otro lado, para el sistema de iluminación se dispone de energía solar teniendo 40 paneles ubicados en cubierta puente de mando siendo 96.28 [m<sup>2</sup>] su área ocupada.

Dentro de las complementaciones, se dispuso el enfoque en dos grupos. El primero es para el sistema de amarre y fondeo, para lo cual calculando su número de equipo igual a 135 se seleccionaron equipos tales como ancla y cadena, winche, bitas y Panamá chocks. El segundo es para el análisis del comportamiento en la mar, a pesar de que la embarcación no navega en aguas turbulentas, se requirió su estudio en caso de que ella experimentara un estado de mar 4 siendo sus puntos de análisis en el extremo de proa y en puente de mando, dando como resultado que los pasajeros experimentarán mareo después de 2 horas de navegación en el extremo de proa de cubierta principal; esto quiere decir que la embarcación es apta ya que nuestro período de navegación máximo será de 15 [minutos].



Reuniendo todo esto, se puede hablar de una inversión, para lo cual se propuso cuatro escenarios de análisis siendo estos, el escenario 1 es cuando el buque opera solo con energía eléctrica, el escenario 2 es cuando el buque opera con energía eléctrica y

energía solar, el escenario 3 es cuando el buque opera con combustibles fósiles y el escenario 4 es cuando el buque opera con combustibles fósiles y energía eléctrica. Para la inversión inicial se consideró el costo de diseño y construcción del activo fijo, costos indirectos del astillero y capital de trabajo, teniendo como resultado que para los diferentes escenarios la inversión es de; escenario 1 es \$4.5, escenario 2 es \$5.3, escenario 3 es \$4.4 y escenario 4 es \$4, a simple vista el escenario 2 resulta más caro que los otros dos escenarios, sin embargo este análisis de costos también se ve reflejado mediante los costos de mantenimiento preventivo y operación para lo cual el escenario 2 tiene costos de \$83 mil y \$2.1 respectivamente, mientras que el escenario 3 tiene costos de \$95 mil y \$2.2 respectivamente, quiere decir que los costos del escenario 2 se reducen frente a los otros presentados. Por otra parte, para el análisis de viabilidad, se consideraron cuatro criterios de selección de proyecto siendo el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el período de recuperación del capital (PRC) y el índice de rentabilidad (IR); donde el escenario 3 y 4 fueron rechazados por presentar un van negativo, y el escenario 2 fue el escogido frente al 1 ya que este además de cumplir con los criterios, también los pilares de sostenibilidad influyen sobre su selección. Por último para el análisis de sensibilidad, en diferentes circunstancias donde el buque podría verse afectado por un mal funcionamiento o entrar a dique, se analizaron tres casos donde los resultados son que el caso 1 dispondrá de 20 viajes diarios óptimos para que el proyecto sea rentable, el caso 2 dispondrá del 67% de pasajeros mínimos óptimos al año para el que proyecto sea aceptado y el caso 3 donde el buque se vería afectado si llegase a tener competencia de alguna empresa privada y su cantidad de viajes se reduzca a la mitad entonces igualmente el proyecto sería rentable.

pilares de sostenibilidad y finalmente se elaboró el análisis de viabilidad del proyecto mediante la propuesta de cuatro escenarios, siendo el escenario de uso de electricidad y energía solar el más rentable, ya que tiene una alta inversión inicial pero sus costos de mantenimiento preventivo y operación son más económicos que un buque convencional.

**Palabras Clave:** Espiral de diseño, ferry, baterías de iones de litio, sostenibilidad.

	Escenario 1: Baterías	Escenario 2: Baterías + Paneles solares	Escenario 3: Combustibles fósiles	Escenario 4: Combustibles fósiles + baterías
<b>VAN</b>	\$ 3.147.609,46	\$ 1.430.938,63	\$ (3.468.610,36)	\$ (3.585.966,70)
<b>TIR</b>	25,39%	20,95%	-	-
<b>PRC</b>	5,5 años	7,5 años	Más de 10 años	Más de 10 años
<b>IR</b>	1,7	1,27	0,22	0,12

En conclusión, se ha desarrollado el diseño de un ferry eléctrico cumpliendo con los requerimientos del armador, reglas de la Sociedad Clasificadora y demás regulaciones para navegar en la zona de Puerto Aveiro en Portugal, obteniendo cuadernos de cálculos y planos necesarios para demostrar validez en el diseño; también se implementó el uso de la energía solar mediante paneles destinada al sistema de iluminación del buque logrando cumplir con los tres

