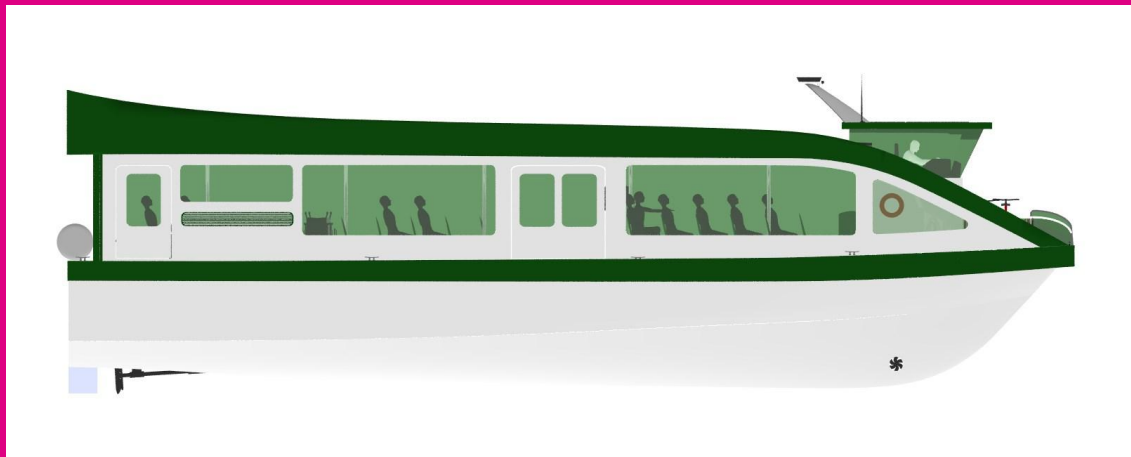


Proyectos de **I+D+i**
2011-2013



Utilización Guadalquivir como línea de transporte de pasajeros: Prototipo de Embarcación sostenible. GuadaMAR

Memoria divulgativa de resultados

Universidad de Cádiz



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Utilización Guadalquivir como línea de transporte de pasajeros: Prototipo de Embarcación sostenible: GuadaMAR

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía. 2013-2014

Gerente de Proyecto (AOPJA)
Miguel Ángel Zarco Garrido
Director Técnico de Proyecto (APPA)
Fernando Copado

Universidad de Cádiz

Investigador Principal:
Francisco Piniella Corbacho

Equipo de investigación:
Antonio Querol Sahagún
Juan Carlos Rasero Balón
Jorge Walliser Martín
Juan Moreno Gutierrez
Rafael Jiménez Castañeda
Ignacio Turias Domínguez
María del Mar Cerbán Jiménez
José Antonio Moscoso López
Vanessa Durán Grados
Ruth García Llaves
Emilio Rodríguez Díaz
Nieves Endrina Sánchez
José Ángel Llamas Alfaro
Raquel Núñez Barranco
Juan Jesús Ruiz Aguilar
German Jiménez Ferrer
Juan Ignacio Alcaide Jiménez
Juan Antonio Palacios García
María Jesús Jiménez Come
Begoña Flethes Bernal

Cádiz, 31-12-2014

1. El proyecto GuadaMAR

El proyecto que se propuso en un principio a la Consejería y posteriormente aprobado y concedido, abordaba diferentes objetivos que fundamentalmente iban encaminados al diseño teórico de un Prototipo de embarcación y de un sistema de navegación marítima por el Río Guadalquivir, que teniendo como base el puerto de Sevilla sirviera para el transporte de pasajeros bajo criterios de eficiencia, operatividad y sostenibilidad económica y medioambiental.

Fundamentado en la necesidad de estimular un transporte marítimo en ciudades fluviales como es el caso del núcleo metropolitano de Sevilla y el Río Guadalquivir establecimos tres objetivos específicos: la determinación de las necesidades y alternativas, el desarrollo teórico de la embarcación prototipo y el estudio de impacto económico directo.

En el desarrollo del proyecto han colaborado, en las diferentes tareas, profesores e investigadores de diferentes áreas de conocimiento, con participación también de la empresa NEST (New Energy Solution & Technology SL). En la realización del proyecto se llevaron a cabo numerosas reuniones, además de numerosos contactos y una fluida comunicación entre los investigadores y el Gerente y Director del proyecto, así como con otros técnicos incluyendo al propio Viceconsejero. Se realizaron diferentes visitas y se ha presentado un primer avance científico de la innovación desarrollada en un Congreso Internacional (Barcelona, MT'2014 –Fig.1–) y está pendiente otra final en el verano de 2015 (Gdynia, TransNav'2015). Se esperan futuras publicaciones en revistas científicas de los aspectos más novedosos del proyecto.



Fig. 1: Presentación de los primeros avances del proyecto GuadaMAR en el Congreso Internacional MT'2014.

2. Dos líneas fluviales: Urbana e Interurbana

Se llevó a cabo un “Estudio de Navegación” de las líneas marítimas fluviales bastante extenso, donde se incorpora un análisis exhaustivo del marco geográfico, tanto río vivo como dársena: condiciones climatológicas históricas de viento, niebla y clima, corrientes, utilización del espacio terrestre/marítimo; ayudas a la navegación con los balizamientos, servicios anexos y regulación establecida. Se presentó una temporización de las rutas según velocidad y un análisis DAFO en lo que fueron las conclusiones

preliminares del P0102. Se llevó a cabo una programación de estaciones o paradas que estarían pendiente de concretar junto al otro proyecto de la misma convocatoria MET_Rio llevado a cabo por la Universidad de Sevilla. En nuestro caso apostamos por una línea en zig-zag acomodada a las necesidades de aglomeración urbana. En cualquier caso será la Administración la que en base a ambas propuestas decida la más conveniente al respecto.

Muy resumidamente distinguimos dos líneas de navegación:

- La línea marítima en río vivo, en la zona desde Puebla del Río hasta el embarcadero de la Expo. En este trayecto existen dos zonas claramente diferenciadas: a) Desde Puebla del Río hasta el puerto deportivo de Gelves; b) Desde el puerto deportivo de Gelves hasta el embarcadero de la Expo'92. Como principal diferencia entre ambas zonas podríamos decir que el primer tramo se consideraría en términos muy simples como "río acondicionado para la navegación" y al segundo como "río abandonado para la navegación". La línea propuesta establece dos intercambiadores. Uno con el metro en San Juan y otro con el tren de cercanías en el embarcadero de la Expo'92.
- La línea marítima en dársena, en la zona desde San Jerónimo hasta la esclusa, si bien para la línea marítima no se ha tenido en cuenta gran parte de la zona portuaria por no existir núcleos de población.



Fig. 2: Primera aparición en prensa del proyecto GuadaMAR (las imágenes corresponden al diseño preliminar y no al definitivo) Diario de Sevilla

El establecimiento de ambas líneas fluviales de pasajeros, pensamos que son totalmente factibles con un coste social en la implantación, como todo nuevo modo de transporte. Las carencias técnicas son salvables. El establecimiento de las líneas 1 y 2 conjuntamente con los intercambiadores de autobús, metro, SEVICI y tren, generarían una red de transporte que aportaría beneficios tales como descongestión del tráfico rodado, fomento del tráfico en bicicleta, abaratamiento y trayectos en menos tiempo del transporte, beneficio medio ambiental.

La repercusión social del proyecto GuadaMAR es importante y como prueba de ello el eco recibido en la prensa como se puede apreciar en la Fig.2.

Como parte del proyecto se recopilaron los datos relativos a los diversos usos que en distintos entornos urbanos fluviales y litorales a se da a los ríos, estuarios y aguas litorales interiores como elementos estructurales del transporte acuático. Aunque la casuística es enorme y el nivel de

semejanza con el área de referencia considerada es muy dispar, se desarrolló una captación de información en base a una estructura homogénea, con información relevante relativa a: país, ciudad,

escenario para navegación, infraestructura para servicio marítimo, rutas, buques, apartado de observaciones y valoración de semejanza con Sevilla.

La búsqueda de información se ha realizado considerando cuatro áreas claramente diferenciadas. Estas áreas fueron: Europa, Estados Unidos de América y Canadá, Australia y Nueva Zelanda y Asia. Después de una serie de filtros metodológicos de las ciudades elegidas, el estudio se centró en veintitrés enclaves urbanos donde se utiliza la navegación fluvial con características parecidas a las del proyecto. Toda esa información se ha volcado en las casi cien páginas de uno de los informes parciales.

3. Diseño de las embarcaciones

A efectos normativos se trataría de una embarcación de navegación interior, dedicada al tráfico de pasajeros en línea regular y que desempeñaría su cometido en la zona portuaria del puerto de Sevilla. Según la clasificación de los buques mercantes nacionales, establecida en las Normas Complementarias de Aplicación al Convenio Internacional para la Seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS), 1974 y su protocolo de 1978, a los buques y embarcaciones mercantes nacionales, se le aplicará: Grupo I, Clase K: “Buques de pasaje dedicados a la navegación en aguas tranquilas (puertos, canales y ríos, etc.)”.

Se plantearon dos diseños de propulsión en base a las dos líneas propuestas, uno convencional y otro eléctrico, posible debido a la menor demanda de velocidad por restricciones de navegación en el canal urbano.

En un principio para el diseño general o convencional de las embarcaciones se estudiaron los siguientes apartados:

- **Compartimentado reglamentario:** Para cada flotador se establecieron los siguientes compartimentos estancos de popa hacia proa: local de servomotor, local de maquinaria propulsora, local de tanque de combustible, local de generador auxiliar, y local de pañol de proa.
- **Selección del sistema propulsivo a instalar:** Se estableció como más óptimo para la navegación a alta velocidad el sistema propulsivo formado por dos líneas de ejes con hélices de paso fijo acopladas a sendos motores rápidos con caja reductora de revoluciones intermedia.
- **Selección del combustible:** Se decidió el uso de diésel como combustible, por ser el más económico, seguro y común de los empleados en este tipo de embarcación. No obstante, también se contempló la posibilidad de que los mismos motores pudieran usar Gas Natural Comprimido como combustible, y aunque técnicamente es viable, no existen en el mercado motores marinos homologados que puedan usarse, además de que los requerimientos de seguridad de la administración marítima respecto a la ubicación de los depósitos de GNC hacen inviable la configuración de la embarcación con la cámara de máquinas y los tanques de combustible bajo la cubierta de pasaje.
- **Selección óptima del fabricante y modelo del motor propulsor:** A fin de hacer el dimensionamiento de los diferentes sistemas y estudiar la viabilidad de la configuración de la embarcación, se decidió seleccionar un posible fabricante de los motores principales y de las reductoras. Se modelaron los equipos en 3D y para su correcta ubicación dentro del espacio destinado a la cámara de máquina.
- **Descripción y dimensionamiento de las líneas de ejes.** Se utilizaron las normas de la Sociedad de Clasificación Lloyd para dimensionar las líneas de ejes, arbotantes y hélices.
- **Descripción y dimensionamiento de los sistemas asociados a la propulsión.** Se dimensionaron y ubicaron los sistemas de combustible, refrigeración, exhaustación de gases, ventilación forzada, gobierno y hélices de maniobra.
- **Descripción y dimensionamiento de los servicios generales de la embarcación:** Se dimensionaron los sistemas de conrainscendios, achique y baldeo, aislamiento de cámara de máquinas, servicio hidráulico e imbornales y desagües de cubierta principal.
- **Descripción y dimensionamiento del sistema eléctrico:** Se definió el sistema de generación, distribución y control de la planta eléctrica, incluyendo tanto el sistema de baja tensión como el de media

tensión. Se dimensionaron el número y tipo de baterías (de arranque y servicio) y se seleccionó un generador auxiliar acorde al balance eléctrico realizado para cada condición de navegación reglamentaria. Así mismo se seleccionó un generador de emergencia diésel que fue ubicado sobre cubierta principal y bajo el puente de navegación.

- Accesos a los locales de máquinas. Si bien la maquinaria cumpliría con el criterio de “máquina desatendida” se diseñó un sistema de acceso a todos los locales de forma rápida y segura, mediante escotillas estancas de rápida apertura y situadas en la cubierta principal y mediante el uso de escalas y techos de acero inoxidable.
- Cálculo de la autonomía. Se calculó el consumo de combustible de la embarcación en diferentes condiciones de navegación, maniobra de aproximación a los pantalanes y tiempo de espera de embarque y desembarque y se determinó la autonomía de la embarcación en base al tamaño de los tanques de combustibles definidos.
- Estimación del peso de la propulsión convencional diésel. Se estimó el peso de todo el equipo de destinado a la propulsión convencional incluyendo los motores propulsores, reductoras, motor auxiliar, aceites y líquido refrigerantes, tanques de combustible y combustible.
- Disposición general de la propulsión convencional diésel: Se realizó la distribución integrada de todos los sistemas en la embarcación, mediante el modelado en 3D y la elaboración del plano correspondiente.

Complementariamente se llevó a cabo un estudio de emisiones contaminantes con el resultado constatado de que el impacto de las emisiones contaminantes provocadas por las embarcaciones, en el peor escenario posible, estarían muy por debajo de los límites legales exigidos.

Con relación al diseño de la propulsión eléctrica de la embarcación, después de analizar el estado actual de la tecnología se definió la arquitectura de la misma mediante el uso de baterías de ión-litio de última generación, y la aportación de generación eléctrica de las placas solares instaladas en la cubierta de cierre superior de la embarcación. De esta manera se garantiza la autonomía eléctrica para la propulsión y los servicios durante el periodo de operación diario, fijado en doce horas, teniendo que recargarse durante la noche mediante corriente de tierra en los puntos de atraque. Se comprobó que el peso de todo el sistema propulsivo eléctrico estaba dentro de los límites marcados por el desplazamiento máximo y por el peso de la propulsión convencional diésel. Así mismo se comprobó la correcta ubicación de todo el sistema en los espacios destinados a tal fin dentro de la cámara de máquinas, mediante el modelado en 3D y la generación del correspondiente plano de disposición general.

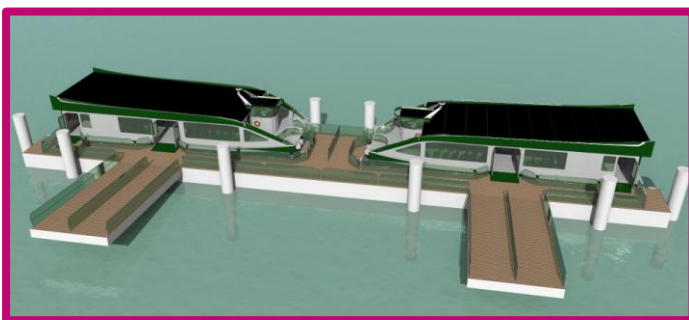


Fig. 3: Simulación de los pantalanes

El diseño de los pantalanes se realizó de forma conjunta con el de las embarcaciones, con el objetivo de reducir en lo posible el tiempo de atraque y el número de tripulantes necesarios, mediante el diseño de un sistema de atraque sin estachas y que permite garantizar la correcta ubicación de la embarcación durante el embarque y desembarque del

pasaje. Así mismo, se incluyó la especificación de los servicios que deberán tener los embarcaderos para suministrar la corriente eléctrica de recarga de las baterías, durante el periodo de inactividad de la embarcación (Fig. 3).

Finalmente el proyecto final de Arquitectura Naval estableció que ambas versiones de la embarcación prototipo eran viables desde el punto de vista técnico y normativo. Los datos finales aparecen en la siguiente Tabla I. Las figuras 4 a 6 dan una idea del diseño.

Características Comunes	Eslera máxima	21.25 m
	Eslera perpendiculares	19.21 m
	Eslera en flotación	19.71 m
	Manga máxima	7.38 m
	Manga en flotación	2 x 2.18 m
	Puntal	2.62 m
	Calado máximo	1.29 m
	Desplazamiento máximo	50 t
	Nº de pasajeros	110
	Nº de tripulantes	De 1 a 3
	Nº de bicicletas	6
	Clasificación	Buque pasaje- Clase K
	Estructura	PRFV
	Tipo carena	Catamarán
	Tipo de propulsión	Doble línea de ejes con hélice paso fijo
	Hélice de maniobra	2 x 20kW
	Superficie Solar electrica	82 m2
Potencia Solar máxima	52 x 320 W	
Presupuesto mínimo de licitación	1,822,000 € (IVA inc.)	
Presupuesto máximo de licitación	2,275,000 € (IVA inc.)	
Versión Rápida (Río Vivo)	Velocidad máxima	20 nudos
	Potencia propulsora	2 x 715 BHP (tipo CAT C-18)
	Tipo de motores principales	2x Diésel marinos escape húmedo
	Reductoros (2x)	Factor 4:1 (tipo ZF modelo W350-1)
	Generador eléctrico auxiliar	Diésel de 64.5 kVa @ 1500 rpm
	Generador de emergencia	Diésel de 9cv (tipo HATZ B-40)
	Capacidad de combustible	2 x 2100 litros
	Autonomía	2 días de operación de 12 h
Versión Lenta (Dársena)	Velocidad máxima	7
	Potencia propulsora	2x22kW
	Número de Baterías	256
	Tipo de baterías	Ion Litio HE 240
	Capacidad almacenaje eléctrico	2 x 792 Ah a 400VDC
	Autonomía	1 día de operación de 12 h

Tabla 1: Resumen características finales embarcación prototipo



Fig. 4: Perspectiva Exterior de la embarcación GuadaMAR.

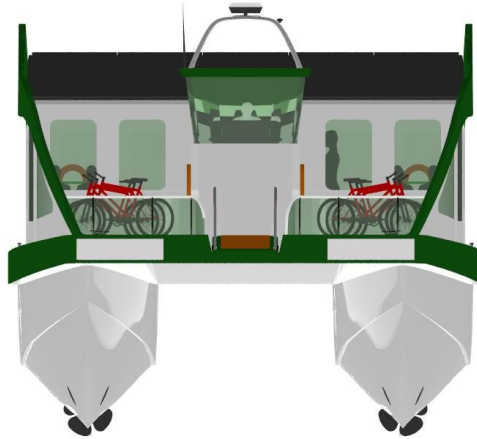


Fig. 5: Perspectiva Exterior de la embarcación GuadaMAR.

4. Presupuesto e impacto económico



Fig. 6: Perspectiva exterior y embarcadero

Hemos llevado a cabo, como colofón de nuestro proyecto, un informe de presupuestos y un estudio de impacto económico. El precio máximo de licitación en concurso público estaría en torno a los dos millones de euros por embarcación.

En cuanto a la estimación de los efectos directos del transporte de pasajeros por el Río Guadalquivir,

esta se ha llevado a cabo a partir de la información proporcionada directamente por las instituciones y empresas implicadas en el transporte de pasajeros en la Bahía de Cádiz, actuación que se ha considerado como la que mejor se adapta a la que se desea estimar, según se ha justificado con anterioridad. La información también se ha obtenido a partir de los datos disponibles de estas empresas en el Registro Mercantil. Se estima que la explotación de las dos líneas, Urbana e Interurbana, para el transporte de pasajeros por el Río Guadalquivir generaría un impacto total de 65 empleos, de los cuales 9 corresponderían a Instituciones Públicas y 56 a las empresas de servicios marítimos y portuarios. La retribución de estos trabajadores alcanzaría la cifra algo superior a dos millones de euros y el VAB asociado a esta actividad en torno a dos millones y medio de euros. Esta estimación está basada en el criterio de prudencia contable, pero hay que prever que la consolidación de este modo de transporte a lo largo del tiempo (como ha ocurrido con nuevos modos de transporte en otras ciudades: metro, tranvía, etc.) podría generar un mayor impacto económico, no solo por usuarios regulares sino por el incremento de pasajeros turistas en una ciudad tan característica como Sevilla, especialmente en la Línea urbana y en las paradas centrales. Además, habría que considerar un incremento del tráfico en eventos puntuales en el año, en referencia al uso del recinto ferial cercano a la ribera del río Guadalquivir.



Más información disponible en:



Video 3D en YouTube <http://youtu.be/bRB8ezzlV14>



Presentación en Prezi <https://prezi.com/ffw3n7ils-q4/guadamar/>

Contactos:

- ✉ Francisco Piniella francisco.piniella@uca.es
- ✉ Antonio Querol antonio.querol@uca.es

