

# GMT *by* ACLUNAGA



**“Un gas de protección que protege más allá del baño de fusión.”**

**V80R4.0. La visión de Sener de la Industria 4.0.**





**Nuevos desarrollos de soldadura Friction Stir Welding y su aplicación en construcción naval.**

**El buque patrullero de vigilancia pesquera Sabah de Freire Shipyard.**

**Control de calidad en el tráfico a través del Canal de Panamá.**

**Intercambiadores de calor. Tipos y aplicaciones.**

**Entrevistamos a: Amura Reparaciones Náuticas.**

-  Separadores de aguas oleosas
-  Incineradores de residuos
-  Sistemas de repostaje de helicópteros
-  Hidróforos y Calentadores

MÁS DE  
**3.000**  
equipos  
SUMINISTRADOS

PRESENCIA  
a nivel  
mundial



## Plantas de tratamiento de aguas residuales




Biológicas





Biorreactores de membrana



 [www.detegasa.com](http://www.detegasa.com)

 +34 981 49 40 00

 [commercial@detegasa.com](mailto:commercial@detegasa.com)

 ¡Síguenos en LinkedIn



GALICIAN MARITIME TECHNOLOGIES // n<sup>o</sup>7 // 2021

**2** CARBUROS METÁLICOS // “Un gas de protección que protege más allá del baño de fusión”

**6** SENER // V8oR4.0. La visión de Sener de la Industria 4.0.

**11** TWI // Nuevos desarrollos de soldadura Friction Stir Welding y su aplicación en construcción naval.

**18** Va de Barcos // El buque patrullero de vigilancia pesquera Sabah de Freire Shipyard.

**20** UNIVERSIDADE DA CORUÑA // Control de calidad en el tráfico a través del Canal de Panamá.

**26** GEFICO ENTERPRISE (GRUPO CETUS) // Intercambiadores de calor. Tipos y aplicaciones

**31** Entrevistamos a: Amura Reparaciones Náuticas.

¡¡¡Qué sencillo era!!!.....aplicar una corriente eléctrica al agua para obtener hidrógeno.

A partir de ahí puede uno complicarlo tanto como quiera. Se puede usar agua residual, se puede utilizar electricidad discontinua para obtener un vector energético fácilmente acumulable, se puede usar el calor generado para economizar en otras aplicaciones, se puede añadir el hidrógeno a cualquier otro producto y crear otros combustibles o hidrogenar metales, por supuesto se puede hacer la operación inversa en una pila de combustible y volver a obtener electricidad.....y muchas posibilidades más.

Cuando los principales países exportadores de petróleo han puesto su vista en el hidrógeno, no hay mucho más que añadir.

El hidrógeno está aquí para quedarse. De hecho, su obtención va algo más rápido que sus usos industriales directos. Y seguro que aparecerán nuevos tipos de electrolizadores que mejorarán la eficiencia de los actuales.

En estos días de la primavera de 2021, cuando empezamos a recibir, con cierta ansiedad, buenas noticias sobre la situación de la pandemia mundial causada por el COVID-19, hemos de estar todos concentrados en la recuperación económica del país.

Refiriéndome al sector industrial de la comarca de Ferrolterra, en una situación que ya era mala y que se ha visto agravada por las últimas noticias sobre Siemens-Gamesa y la Central de As Pontes entre otras, es más necesario que nunca un impulso decidido por parte de todos los actores: la industria, los centros tecnológicos, la universidad y la administración.

Y ese impulso parece que va bien encaminado en nuestra zona por la iniciativa de la Xunta de Galicia sobre un pacto de estado para la recuperación y transformación industrial de la comarca.

A nivel estatal estamos cerca de tener el borrador de POEM (Plan de Ordenación de los espacios marítimos) para los próximos años. A buen seguro que será el punto de partida para el nacimiento de la eó-

lica flotante en España, dentro de la cual estamos en una zona privilegiada para su explotación y única en cuanto a personal, instalaciones y experiencia para su diseño, fabricación y montaje.

La Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao está lista para ayudar a esa recuperación industrial y, desde luego, las expectativas no pueden ser mejores. Con un puerto exterior en plena expansión y cercano a tener la comunicación por tren, así como una terminal de contenedores "Deep Sea" con grandes expectativas de crecimiento.

Tenemos varios concesionados que están aportando unos números de récord. Me refiero a Reganosa y Forestal del Atlántico. Pero no contentas con esas cifras, ambas empresas tienen la vista puesta en la descarbonización del mismo modo que lo hace Navantia Fene estando en la punta de lanza del mercado mundial de la eólica offshore.

En los últimos meses han sido varias las empresas que se han implantado o están en vías de hacerlo, en el puerto exterior. Endesa sigue sus planes de buscar nuevos tráficos. La madera y los componentes de eólicos siguen saliendo de forma continua y Alcoa, aún a pesar al problema crónico del precio de la energía, sigue devorando 60.000 toneladas de bauxita cada 5 días de manera continuada, ejerciendo como único productor de España de un material tan estratégico como es el aluminio primario.

Añadamos a todo eso la creación de un polo de la eólica en Ferrolterra, la próxima apertura de un centro de tratamientos térmicos del acero, la construcción de las fragatas F110 (actualmente copando toda la capacidad de ingeniería de la zona), el inminente reparto de fondos Next-Generation entre empresas con grandes proyectos en la zona y alguna que otra gestión que se está haciendo para mejorar las infraestructuras de comunicación. Creo que debemos ser razonablemente optimistas a la vez que estar seriamente preocupados por la responsabilidad que se nos viene encima.

¡¡¡No dejemos pasar esta oportunidad!!!



**INDALECIO SEIJO**

**Presidente de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao**

## UN GAS DE PROTECCIÓN QUE PROTEGE MÁS ALLÁ DEL BAÑO DE FUSIÓN

**PEDRO MORENO // CARBUROS METÁLICOS**

Application Specialist Manager (IWT-ES-248) // [oferta@carburos.com](mailto:oferta@carburos.com)



### INTRODUCCIÓN:

La soldadura por fusión, aplica un foco de energía muy localizado para fundir los componentes que se van a unir. El baño de fusión fundido, se debe proteger de la contaminación atmosférica mediante un fundente o una protección con gases.

Como proveedores del sector de la soldadura, es nuestra finalidad “centrarnos en el soldador” y proporcionarle los medios adecuados para “facilitarle el trabajo”. Al proporcionar mejores gases protectores, influimos y contribuimos a que el soldador obtenga una buena calidad con mayor facilidad. Por supuesto, esto influirá a la hora de obtener una mejor productividad y rentabilidad, lo cual se debe tener muy en cuenta.

### PROPIEDADES DEL GAS PROTECTOR

La función principal del gas protector es “proteger el baño de fusión” o evitar que la atmósfera o el aire circundante entre en contacto con el metal de soldadura fundido. Esto es necesario porque la mayoría de los metales, cuando se calientan hasta su punto de fusión en aire, presentan una gran tendencia a formar óxidos y, en menor grado, nitruros. Estas reacciones pueden provocar deficiencias en la soldadura, tales como inclusiones de óxido, porosidad y el deterioro del metal de soldadura.

Además de proporcionar un entorno de protección, el gas protector y su caudal tienen también un efecto acusado sobre lo siguiente:

- Características del arco
- Modo de transferencia
- Metal de soldadura y propiedades mecánicas y metalúrgicas

- Penetración y perfil del cordón de soldadura (geometría de la soldadura)
- Factores de productividad (velocidad de soldadura, limpieza posterior y tiempo de arco)
- Condiciones ambientales o emisiones de humos y gases

La elección del gas protector depende de lo siguiente:

- El tipo de material (acero dulce, inoxidable, aluminio...)
- Proceso de soldadura y consumibles (MIG/MAG o TIG, FCW, MCW, SW)
- Modo de transferencia del metal (arco corto/pulsado/arco spray)
- Grosor del material y estado de la superficie

A continuación se indican los componentes de uso más común en un gas protector:

#### Gases inertes:

- Argón (Ar).
- Helio (He).

#### Gases activos:

- Oxígeno (O<sub>2</sub>).
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Hidrógeno (H<sub>2</sub>).
- Nitrógeno (N<sub>2</sub>).

Las mezclas y los gases de uso más común son los siguientes:

- Argón (TIG y MIG).

- Helio (TIG y MIG).
- CO<sub>2</sub> (soldadura MAG o CO<sub>2</sub>).
- Argón + CO<sub>2</sub> (MAG).
- Argón + O<sub>2</sub> (MAG).
- Argón + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> (MAG).
- Argón + He (TIG y MIG).
- Argón + He + CO<sub>2</sub> (MAG).
- Argón + H<sub>2</sub> (TIG).
- Argón + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> (MAG).

## ADICIONES DE OXÍGENO Y DIÓXIDO DE CARBONO AL ARGÓN Y EL HELIO

El argón puro ofrece excelentes resultados en la soldadura MIG de metales no féreos o en la soldadura TIG de cualquier material. No obstante, la protección de argón puro en soldaduras MIG de aleaciones férricas crea un arco muy errático con insuficiente penetración y presión del arco, así como una tendencia negativa a la penetración y a las mordeduras. La adición del 1 al 5% de oxígeno, o del 3 al 25% de dióxido de carbono al argón, o mezclas de argón/helio, proporciona una notable mejora en la estabilidad del arco y reduce la tendencia a las mordeduras y al riesgo de penetración insuficiente.

Las adiciones de dióxido de carbono al argón pueden mejorar también la configuración del cordón de soldadura produciendo un perfil con forma de pera más definido, como se ilustra en la siguiente figura.

La adición de oxígeno al gas mejora la fluidez del baño de fusión, la penetración y la estabilidad del arco. El oxígeno también disminuye la corriente de transición en la que se alcanza la transferencia en spray. Se reduce la tendencia a las mordeduras, aunque es posible que aumente la oxidación del metal de soldadura por un mayor contenido de oxígeno.

Se utilizan mezclas de argón puro/CO<sub>2</sub> (hasta un 25%) en aceros al carbono y de baja aleación, y hasta cierto punto (máx. 3% CO<sub>2</sub>) en aceros inoxidable. La adición de dióxido de carbono puede producir efectos adversos tales como un aumento de la corriente de transición a arco spray, más proyecciones y menor estabilidad del arco.

Las mezclas de argón-dióxido de carbono se utilizan principalmente en aplicaciones de transferencia por cortocircuito, pero también se pueden utilizar en transferencia spray y cuando se emplean corrientes pulsadas.

Se ha utilizado ampliamente la mezcla de argón con 5% de dióxido de carbono para soldaduras por corriente pulsada con hilos sólidos de acero al carbono. Para soldaduras por corriente pulsada con hilos

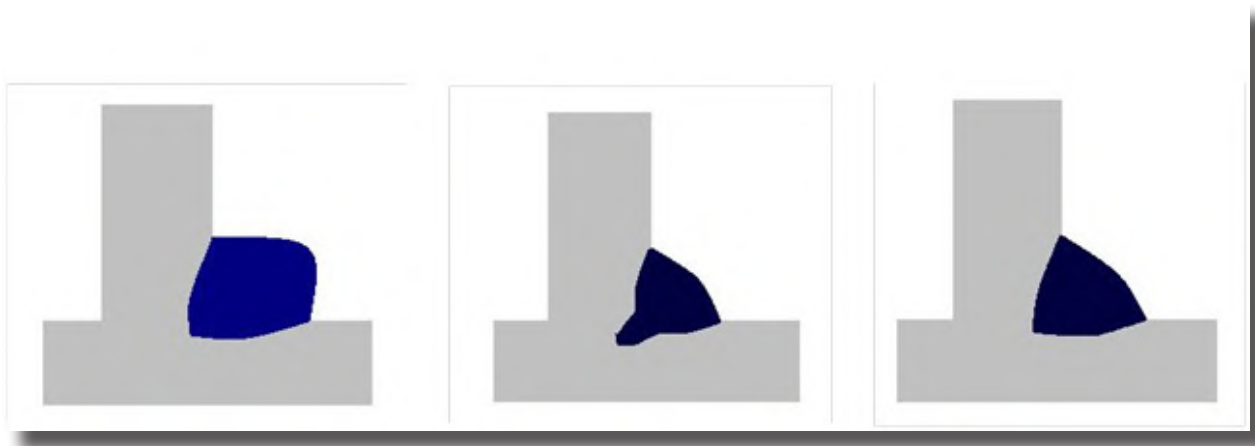


Figura: efecto del CO<sub>2</sub>, el argón y las mezclas de Ar/CO<sub>2</sub> en el perfil de penetración para soldadura MAG.

sólidos de acero inoxidable, son preferibles las mezclas de argón, helio y dióxido de carbono.

## MEZCLAS DE GAS PROTECTOR DE ARGÓN-HELIO-DIÓXIDO DE CARBONO

Se utilizan mezclas de argón, helio y dióxido de carbono, comúnmente llamadas "tri-mix", con las soldaduras por corriente pulsada y cortocircuito de aceros al carbono, de baja aleación e inoxidables. Cuando se requiere calidad y productividad, estas mezclas también se pueden aplicar perfectamente para soldaduras de alta producción con soldadura MAG de alta deposición, de aceros inoxidables y baja aleación.

## HELIO EN LOS GASES DE PROTECCIÓN

El helio añadido a gases protectores para soldaduras MAG de aceros al carbono y de baja aleación, tiende a reducir la formación de silicato y escoria en la soldadura y crea un perfil de soldadura más conveniente. El helio tiene mayor conductividad térmica que el argón y produce un plasma de arco con una distribución de la energía de arco más uniforme. Por otra parte, el plasma de arco del argón se caracteriza por un núcleo interno de gran energía y una zona exterior con menor energía. Esta diferencia afecta notablemente al perfil del cordón de soldadura. Un arco de soldadura protegido por helio produce un cordón de soldadura parabólico amplio. Al tener mayor conductividad térmica, el helio producirá un perfil de penetración mayor, mejores características de humectación y se pueden obtener velocidades de soldadura más altas que ofrecen soldaduras más planas con un perfil más conveniente. Por tanto, el factor económico de la soldadura es una cuestión importante a la hora de utilizar gases con helio para soldar acero dulce, acero inoxidable o aluminio y sus aleaciones, así como materiales de alta conductividad térmica como el cobre o sus aleaciones.

Para la soldadura de aluminio concretamente, la comparación de un gas protector como el argón con una mezcla habitual de argón/helio (70/30) da como resultado mejoras significativas.

## HIDRÓGENO

Se puede añadir hidrógeno (H<sub>2</sub>) a gases protectores para soldaduras TIG de aceros inoxidables austeníticos y así reducir la formación de óxido, mediante la creación de una atmósfera reductora que da como resultado una soldadura más brillante y limpia. La adición implica también más calor en el arco y un

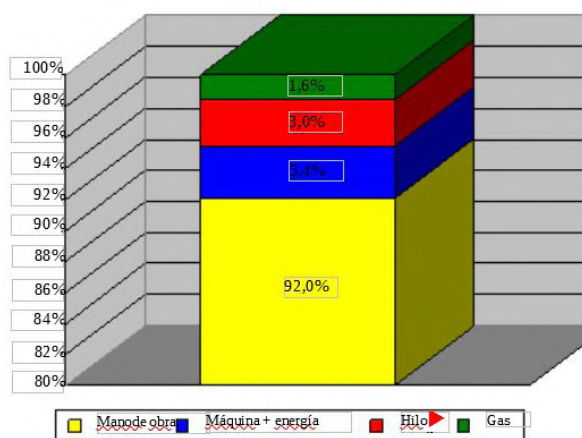
arco más estrecho, que mejora la penetración y la velocidad de soldadura. Igualmente, proporciona una transición más fluida entre el cordón de soldadura y el metal base. Está solamente indicado para aceros inoxidables austeníticos.

## PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD: LA ECONOMÍA DE LA SOLDADURA

La rentabilidad de la soldadura se puede aumentar mediante la reducción de costes en muchas áreas. Los costes son el resultado de muchos factores, como se ilustra en el siguiente diagrama.

Los costes de gas protector son sólo una pequeña parte del coste total de soldadura. Los costes de mano de obra y de capital juntos pueden suponer fácilmente hasta el 90% del coste total de soldadura. Esto ofrece grandes posibilidades para reducir costes de soldadura.

Distribución de costes por metro (4mm.)



Hay una clara tendencia y enfoque hacia una mayor productividad en el sector de la soldadura. Pero la productividad está influida por muchos más factores que la "velocidad de soldadura" y una "mayor velocidad de deposición". Por supuesto, estos factores son importantes, aunque los factores siguientes también tienen una influencia importante en los costes de soldadura:

- La duración del arco se ve influida por las operaciones posteriores a la soldadura como:
  - esmerilado de soldaduras demasiado convexas
  - reparación de defectos (grietas, porosidades,..)
  - eliminación de proyecciones.
  - limpieza posterior de la soldadura.
- Volumen de junta.
- Eficacia del proceso o pérdida de material por proyecciones.
- Grado de preparación.
- Comodidad del soldador.

Los cálculos de los costes de soldadura demuestran que el aumento del tiempo de arco en un 1% afecta notablemente a los costes de soldadura.

Además, todos estos factores pueden verse influidos por el método de soldadura, pero si tenemos en cuenta las soldaduras MIG/MAG y TIG por separado, la elección del gas protector es importante para todos estos factores.

La correcta elección del gas protector puede dar como resultado lo siguiente:

- Soldaduras más planas (adición de O<sub>2</sub> y He)
- Menos proyecciones en la pieza de trabajo (adición de O<sub>2</sub>)

- Mayor eficacia del proceso (O<sub>2</sub>-He).
- Menos tratamiento posterior para limpiar (H<sub>2</sub>-He).
- Soldadura más rápida (O<sub>2</sub>-He-H<sub>2</sub>).
- Calidad superior y constante, y penetración más favorable (He-O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>).
- Menos porosidades.

Esto demuestra que un gas de protección no sólo protege el baño de fusión, sino que también facilita su vida y la de los soldadores.

## CONCLUSIÓN

La correcta selección del gas protector en la operación de soldadura puede suponer reducciones importantes en el coste global.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- "Welding Handbook, Vol2, Ninth Edition, Welding Processes, Part 1; American Welding Society.
- "Handbook MIG/MAG-welding"; Dutch Welding Institute.
- "Alu 2000 research project"; Belgium Welding Institute.
- "Reducing welding costs", Harm Ikin in Metal & Kunststof, diciembre de 1999.
- Información proporcionada por cortesía de TWI Yorkshire, Sheffield, Reino Unido.

**DIHGIGAL**  
DIGITAL INNOVATION HUB INDUSTRIAL DE GALICIA



Un Hub impulsado por cuatro cadenas de valor



## V80R4.0 LA VISIÓN DE SENER DE LA INDUSTRIA 4.0

**RODRIGO PÉREZ FERNÁNDEZ // SENER INGENIERÍA**

Responsable Área Naval Militar // rodrigo.fernandez@sener.es



FORAN es una herramienta CAD/CAM/CIM utilizada en el diseño y construcción de buques y estructuras marinas, desarrollada por SENER. FORAN inició su andadura hace 50 años, estando siempre en la vanguardia de la tecnología y actualmente tiene licencia en más de 150 astilleros y oficinas de diseño de 40 países.

Es el único software de su tipo en el mercado, ya que abarca todos los aspectos del diseño de una manera totalmente integrada y porque se utiliza en todas las etapas del diseño y producción del buque.

Desde el lanzamiento de la versión V80R3.0 a finales de julio de 2019, SENER ha continuado mejorando el Sistema FORAN en todas sus disciplinas.

El esfuerzo de desarrollo se ha traducido en una gran cantidad de mejoras en todo el sistema, y algunas de ellas incluyen nuevas tecnologías como la Inteligencia Artificial. Este artículo presenta algunas de las nuevas funcionalidades disponibles en la versión V80R4.0, lanzada al mercado en mayo de 2021.

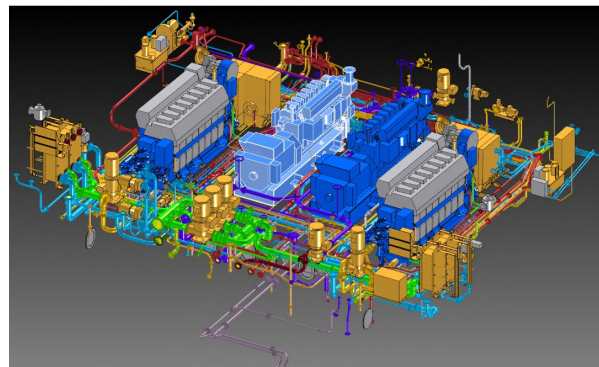
En cuanto a las capacidades de la revolución digital, SENER ha desarrollado el Asistente FORAN, una nueva herramienta basada en la Inteligencia Artificial (<https://foran-assistant-prod.eu-de.mybluemix.net/>).

### NUEVO MOTOR DE VISUALIZACIÓN

Otra área de mejoras ha sido la implementación en todos los módulos gráficos de un nuevo y moderno motor de visualización con varias funcionalidades nuevas. Algunos de ellos se explican a continuación:

- Resaltado dinámico (ver figura 1). Al pasar el ratón

por la escena, los objetos seleccionados se resaltan automáticamente



*Figura 1: Ejemplo de resaltado dinámico. Al pasar el ratón por la escena, los objetos seleccionados se resaltan automáticamente.*

- Nuevo modo de selección. El modo de selección resalta los objetos deseados, haciendo transparentes los elementos que tienen menos interés pero que son útiles por alguna razón.
- Nuevo sistema de navegación. El usuario puede navegar por la escena sin cambiar de modo. Éste, está integrado con la rueda del ratón en una manera muy intuitiva.
- Compatibilidad con tarjetas gráficas y bibliotecas de gráficos 3D.
- Nuevo editor de archivos de preferencias del usuario. Las preferencias de visualización se pueden



# BBVA

Creando Oportunidades

Publicidad

## Cuenta Negocios Bienvenida

# Estrenar banco para tu negocio te costará:

**O** Comisiones 1<sup>er</sup> año  
Desplazamientos  
Esperas

| Alta 100% online  
en solo 10 minutos.

| Herramientas digitales  
para no quedarte atrás.

**Hazte cliente en [bbva.es](https://bbva.es)**



La exención de comisiones será el primer año. Válido hasta el 30/06/2021. Consulta condiciones en [bbva.es](https://bbva.es)

editar en una ventana de opciones exhaustiva, fácil y completa. Los valores son almacenados en los archivos de preferencias.

- Modo transparente para los límites reales (véase la figura 2). La visualización de los límites reales se sustituye por el nuevo modo transparente que ofrece una visualización más realista.

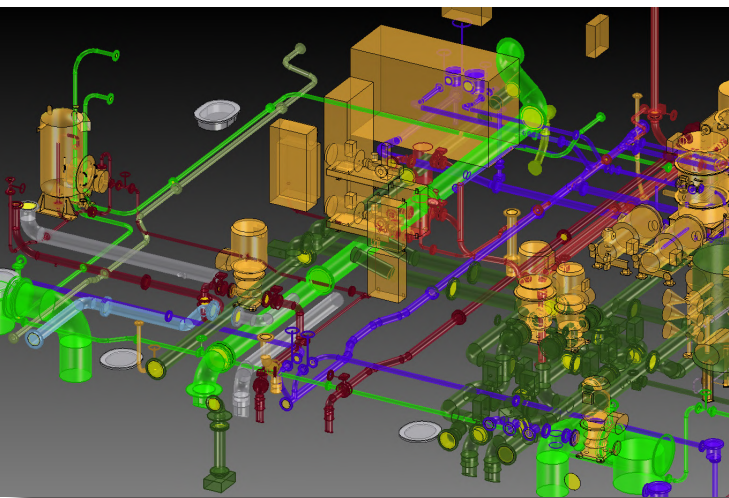


Figura 2: Modo transparente para los límites reales. Sustitución de la visualización de los límites reales por el nuevo modo transparente que ofrece una visualización más realista.

- Modo de visualización de trazado de rayos/Raytracing (véase la figura 3). Es posible activar el modo de trazado de rayos para detectar sombras y lugares oscuros.

## SUBSISTEMA DE DISEÑO INICIAL

El diseño inicial de FORAN comprende los cálculos de las formas del casco, la disposición general y la arquitectura naval, todo ello integrado con otras disciplinas de diseño en FORAN, lo que garantiza la integridad de los datos, la rápida propagación de los cambios, el acceso multiusuario y la reutilización de la información en etapas posteriores.

En la versión V80R4.0 se ha desarrollado un nuevo conjunto de mejoras, las siguientes son solo algunas de ellas:

- Criterios nacionales chinos de estabilidad para buques pesqueros fluviales y marítimos.
- Generación automática de daños.
- Requisitos adicionales para el criterio de estabilidad australiano.
- Criterios de estabilidad de SOLAS actualizados hasta 2020.
- Posibilidad de utilizar el coeficiente de fricción dinámica y cálculos de fuerza paralela en los cálculos de flotadura.
- Criterios de estabilidad de los buques de dragado (DR-68 y Dirección General de la Marina Mercante).
- Criterios de estabilidad MSC.415(97) para los buques que realizan operaciones de manipulación de anclas, operaciones de remolque y escolta, y operaciones de elevación.

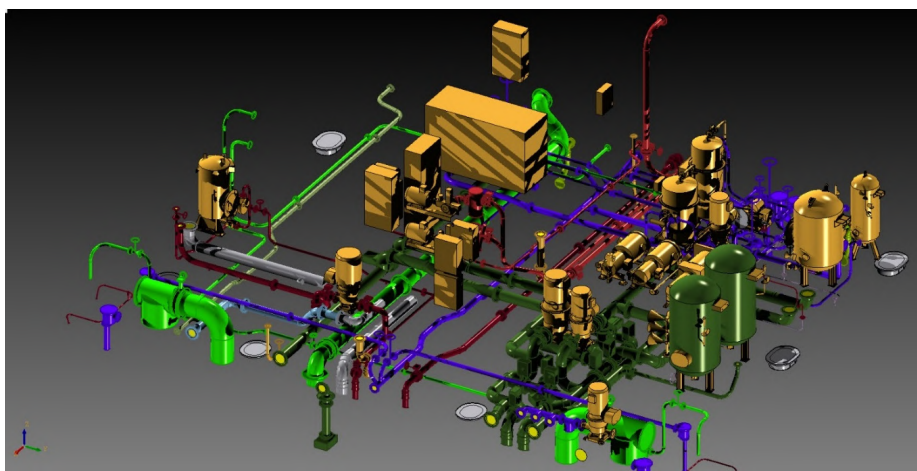


Figura 3: Modo de visualización de trazado de rayos. Es posible activar el modo de trazado de rayos para detectar sombras y lugares oscuros.

## SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA

FORAN Hull Structure proporciona una solución completa para la definición del modelo 3D de la estructura, y para la generación automática de toda la información necesaria para la fabricación.

El V80R4.0 ha traído nuevas funciones. A continuación, alguna de ellas:

- Mejora de la experiencia de usuario en la gestión de la aplicabilidad en proyectos en serie.
- Dibujo del modelo de plantilla en 3D.
- Número ilimitado de planos basados en un conjunto de plantillas diferentes.
- Nuevo entorno para previsualizar las secuencias de corte: Visor CNC.
- Nuevo concepto de etiquetado para mostrar y ocultar la orientación en el patrón de etiquetado de marcado.
- Mejoras en la visualización de la soldadura.
- Nueva estructura de postprocesadores para generar secuencias de corte.

## SUBSISTEMA DE MAQUINARIA Y EQUIPAMIENTO

FORAN Maquinaria y Armamento continúa el proceso de diseño incorporando todos los aspectos relacionados con los equipos, las tuberías, los conductos HVAC y las estructuras auxiliares en la misma base de datos única del proyecto utilizada para la estructura del buque.

Una sola herramienta gestiona los equipos, las líneas de tuberías, los conductos de climatización, las estructuras auxiliares y los soportes. Por último, toda la información para la fabricación y el montaje se genera automáticamente, incluidos los bocetos de fabricación, las isométricas, los planos y los informes.

En la siguiente lista, algunas funciones nuevas:

- Advertencia del impacto en proyectos en serie debido a las modificaciones de algunos elementos:
- Informe de evaluación de impacto debido a los cambios de diseño.
- Nuevo entorno para la edición y los dibujos isométricos de tuberías.

- Gestión de piezas de tubería curvada de radio variable e instrumentos con varios puntos de conexión.

Se ha implementado la posibilidad de añadir dimensiones en los planos de spools de FDESIGN. Una nueva zona en la plantilla de, dibujos ver figura 4, permite configurar las dimensiones necesarias en esa área del plano automático.

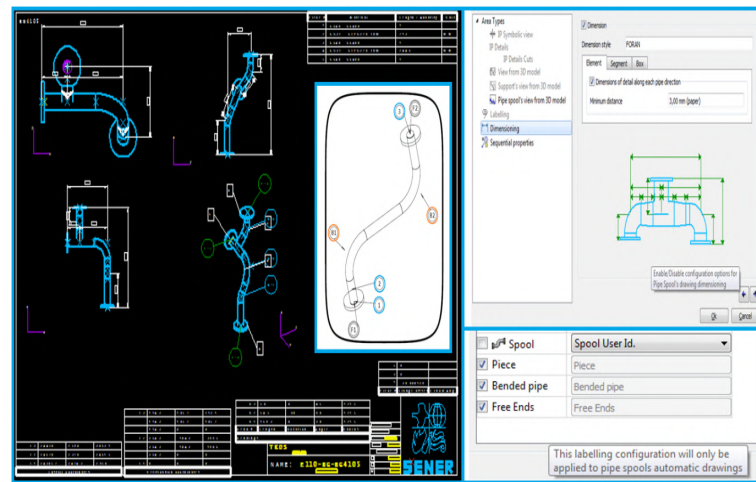


Figura 4: La nueva zona en la plantilla de planos permite configurar las dimensiones necesarias en esa área del plano automático.

Las listas de piezas ahora pueden mostrar información de plegado, coordenadas de instalación y verificación de coordenadas locales. Se han añadido nuevas opciones para etiquetar los dibujos de las spools.

## SUBSISTEMA ELÉCTRICO

FORAN proporciona funciones avanzadas para gestionar todos los aspectos relevantes en el diseño y producción de sistemas eléctricos. En concreto, incluye funcionalidades para crear esquemas eléctricos, modelar equipos eléctricos, crear diseños de equipos y canalizaciones en 2D o 3D, calcular el tamaño de los cables, enrutar los cables, definir las terminaciones de los cables, gestionar la instrumentación y las señales de control, y generar diferentes tipos de informes y planos.

En V80R4.0 se han incorporado muchas novedades. Algunas de ellas se enumeran a continuación:

- Nuevas restricciones en las operaciones de diseño para tener en cuenta la madurez productiva de la penetración.
- Comparación interactiva de las rutas de trazado de los distintos cables.
- Posibilidad de resaltar el recorrido de un cable en la escena sin necesidad de leer la red nodal.
- Verificación de la eficacia del enrutamiento.
- Capacidad de enumerar los cables tendidos en segmentos saturados y con exceso de peso.
- Cálculo de la caída de tensión acumulada.

FCABLE, el módulo FORAN para la definición de los elementos eléctricos, proporciona opciones y funcionalidades adicionales en las tareas de modelado de bandejas de cables, mejorando la experiencia del usuario con nuevas interfaces intuitivas y fáciles de usar.

Algunas funciones nuevas:

- Biblioteca de fitting para bandejas de cables con una nueva interfaz gráfica de usuario que utiliza una vista de árbol con los elementos agrupados por tipos.
- Opciones adicionales en la generación de bandejas de cables desde la red nodal.
- Funcionalidad para visualizar el modelo 3D de cables como una tarea de revisión del diseño, como se muestra en la figura 5.

Los diseñadores se beneficiarán de una interfaz gráfica de usuario mejor y más intuitiva en el caso de la biblioteca de accesorios para bandejas de cables y la inserción de accesorios en el modelo 3D. Además, se beneficiarán de nuevas opciones de modelado que mejorarán las posibilidades de creación de objetos, así como su productividad.

## INTERACCIÓN CAD Y PLM

La integración avanzada de FORAN-PLM es una solución que ofrece la posibilidad de compartir eficazmente la información, los procesos, los sistemas y las bases de datos durante el diseño, la producción y la explotación de los buques.

Algunas mejoras relevantes relacionadas con V80R4.0 son:

- El plugin FWSI de FORAN-PLM permite publicar en determinados contextos de Windchill: Repositorio, Biblioteca y en los de ProjectLink©
- La integración FORAN-PLM Teamcenter utilizará la API estándar de integración de aplicaciones externas de Teamcenter, para comunicar los elementos de FORAN a Teamcenter de forma directa sin hacer uso de ningún software de intermediación.
- FWSI: interconexión de varias instancias de FORAN con Windchill.
- Visor web de PLM en los módulos de FORAN: incluyendo la función de arrastrar y soltar a la escena 3D.

Con FORAN V80R4.0 SENER mantiene su posición como proveedor líder de soluciones integradas para la construcción naval y la industria offshore, reinventándose constantemente y proporcionando a los clientes soluciones para satisfacer sus necesidades.

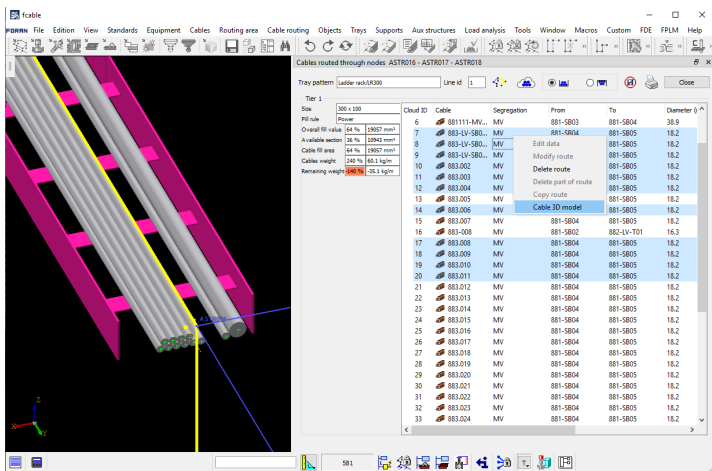


Figura 5: Funcionalidad para visualizar el modelo 3D de los cables en la tarea de revisión del diseño. Modelo 3D de cables trazados en un segmento de bandeja.

## NUEVOS DESARROLLOS DEL PROCESO DE SOLDEO FRICTION STIR WELDING Y SU APLICACIÓN EN CONSTRUCCIÓN NAVAL

STEPHEN CATER, FRIN MEI ARINA AWeldII // THE WELDING INSTITUTE

Jefe Principal de Proyectos // [stephen.cater@twi.co.uk](mailto:stephen.cater@twi.co.uk)



### INTRODUCCIÓN

Friction stir welding (FSW) es un proceso de soldadura en estado sólido inventado por TWI en 1991 y ampliamente utilizado posteriormente para la fabricación de estructuras que requieren uniones de alta resistencia, ligeras y que soporten la fatiga. El proceso se desarrolló originalmente para unir aluminio, ya que se considera un material complicado de soldar, y posteriormente se desarrolló para otros metales también difíciles de soldar como el magnesio y el cobre. El FSW se adoptó rápidamente como técnica de fabricación para aeronaves, trenes, componentes de barcos y automoción, así como para ensamblajes electrónicos y bienes de consumo, todas ellas aplicaciones en las que era necesario fabricar juntas de aluminio que fueran fuertes, duras, resistentes a la fatiga, y ligeras. Una vez que se acreditaron las adecuadas propiedades mecánicas de las uniones con el método FSW, sumado a las ventajas de la potencial reducción de costes y los medios automatizados para producirlas, los usuarios comenzaron a demandar el desarrollo del proceso también para el acero.

El desarrollo de herramientas lo suficientemente resistentes como para remover el acero, químicamente inertes para el propio material, y capaces de trabajar a las altas temperaturas necesarias para ablandarlo, significó que la introducción del FSW en el acero fue un desafío, una tarea exigente. Sin embargo, las pruebas de laboratorio a pequeña escala demostraron que la calidad de las soldaduras

por fricción en el acero podía ser excepcionalmente buenas, y que por tanto, la búsqueda de herramientas de FSW industrialmente útiles para la unión del acero merecía la pena. Estas herramientas se están incorporando actualmente en el mercado y se está trabajando para identificar y explotar las numerosas ventajas del proceso. Un ámbito en el que es probable que la FSW en acero se utilice pronto es el de la construcción y la reparación naval, dos áreas en las que TWI y ACLUNAGA participan activamente para desarrollar la tecnología en el marco del proyecto RESURGAM.

### EL PROCESO FSW

Los procesos convencionales de soldadura por fusión utilizados para la fabricación y reparación de estructuras navales son esencialmente una técnica de fundición. Los dos componentes que se van a unir se juntan y se les aplica energía, normalmente en forma de arco eléctrico o rayo láser, para provocar que el metal en la zona de la unión se funda y se fusione. A medida que se elimina la fuente de energía, este baño de fusión se solidifica y los componentes previamente separados pasan a ser una sola pieza.

En cambio, la FSW es fundamentalmente una técnica en la que los componentes que se van a unir están forjados y nunca fundidos - ¡de forma similar a como los herreros calientan el acero y lo unen con un martillo!. Para realizar una simple unión a tope

mediante FSW, se colocan las dos chapas a unir una al lado de la otra y se baja la herramienta giratoria, poniéndose en contacto con ellas en la línea de unión- como se muestra en la Figura 1. La herramienta giratoria genera un calentamiento por fricción que ablanda, pero no funde el metal. A medida que el metal se vuelve blando y plástico, el útil se introduce en él hasta que se incrusta completamente en el hombro de la herramienta, y luego recorre la línea de unión. La herramienta continúa calentando y ablandando el metal inmediatamente situado delante de ella, y la acción giratoria de la herramienta mueve circularmente el metal a su alrededor y a lo largo de la línea de unión, uniendo las dos piezas de metal como una sola. Al final de la soldadura, se extrae la herramienta.

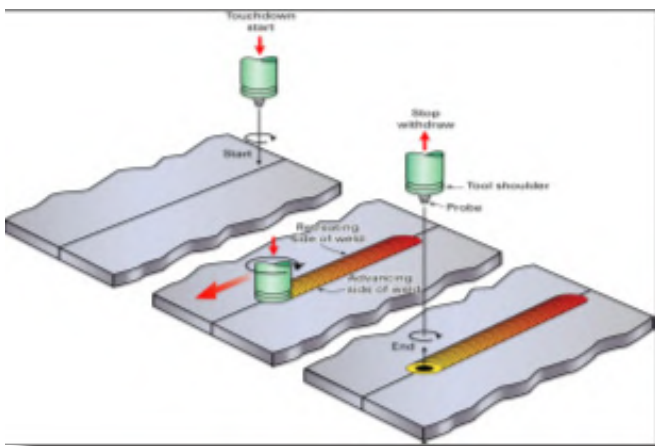


Figura 1. El principio general de la soldadura por fricción y agitación.

Los beneficios del proceso FSW derivan principalmente de:

- la eliminación de la fusión en el proceso de unión;
- la creación de una microestructura de soldadura forjada en lugar de fundida;
- la eliminación de la variabilidad y la destreza humanas del proceso de soldadura.

Considerando estos aspectos con más detalle, la eliminación de la fusión del material base ocasiona una reducción significativa de la distorsión estructural, así como mayores beneficios para la salud y la seguridad, ya que no hay riesgos derivados del metal fundido ni de humos. Además, el proceso consu-

me mucha menos energía. La ausencia de un baño de soldadura de metal líquido también libera el proceso de los efectos gravitacionales y de las limitaciones: las soldaduras pueden realizarse en vertical (3G) y a techo (4G) con la misma facilidad que una soldadura plana y horizontal. Un beneficio adicional es que FSW también se puede realizar bajo el agua, e incluso se ha demostrado que es eficaz cuando se realiza en aceite. [1]

La naturaleza mecánica y de forja de la FSW produce una microestructura de grano fino, forjada, en lugar de la microestructura de fundición más típica de la soldadura por fusión. La Figura 2 muestra una sección metalográfica típica mediante una soldadura por fricción en acero DH36 de 6 mm de espesor. La soldadura muestra una penetración completa y sin reducir el espesor del material significativamente, sin defectos internos visibles como poros, agrietamientos por contracción o dilatación. La Zona Afectada Térmicamente (ZAT) es pequeña y la soldadura tiene una microestructura de grano fino y equiaxial, similar a la del material base. Como no se necesita metal de aportación para el método FSW, la composición de la aleación permanece inalterada y los costes de adquisición, almacenamiento, y administración de los metales de aportación se suprimen del proceso de soldadura.



Figura 2. Una sección metalográfica mediante FSW de una sola pasada en acero DH36 de 6 mm de espesor.

La soldadura por fricción es un proceso mecanizado, adecuado para la automatización o la robotización. En su forma más sencilla, puede realizarse con una máquina de fresado. El proceso no está, por tanto, supeditado a la habilidad de los operarios, por lo que reduce su variabilidad, permite el funcionamiento durante las 24 horas del día, puede llevarse a cabo en entornos peligrosos, y permite el uso del control estadístico en el proceso y las técnicas automatizadas de Ensayos No Destructivos

La naturaleza física y de forja del método FSW impone algunas limitaciones en las geometrías de las

soldaduras que pueden conseguirse, ya que se requiere que las dos superficies de unión estén en contacto directo, y no existe el metal de aportación para compensar huecos significativos. Dicho esto, se ha conseguido una amplia gama de geometrías de unión en metales ligeros, con ejemplos típicos que se muestran en la figura 3.

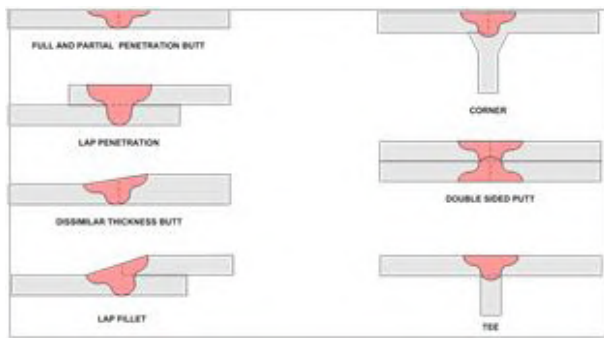


Figura 3. Geometrías de unión conseguidas con más facilidad en FSW.

Se ha desarrollado una variación del proceso FSW, el FSW de Hombro Estacionario, utilizado en aluminio para permitir la ejecución de soldaduras en ángulo y de filete. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de soldadura en ángulo con radio realizada con esta técnica. Aquí, se unieron dos placas de 8 mm de espesor de AA6082 utilizando pasadas opuestas de una herramienta FSW que simultáneamente unió las placas y forjó el radio en el metal emulsionado antes de que se enfriara.

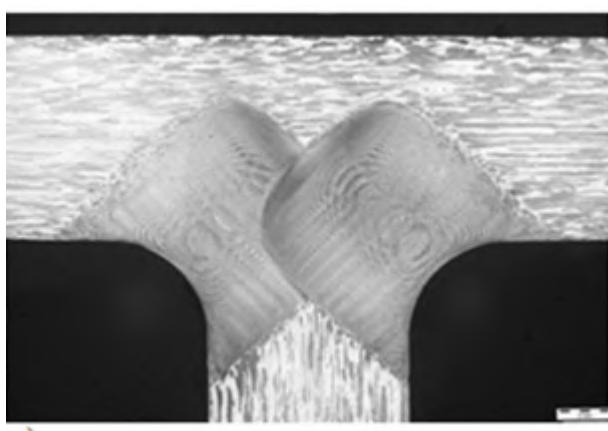


Figura 4. Sección metalográfica de una soldadura en ángulo radiada realizada mediante dos pasadas de FSW en AA6082 de 8 mm de espesor.

La técnica de FSW de hombro fijo también permite que se realicen uniones entre espesores de metal diferentes, como se muestra en la figura 5.

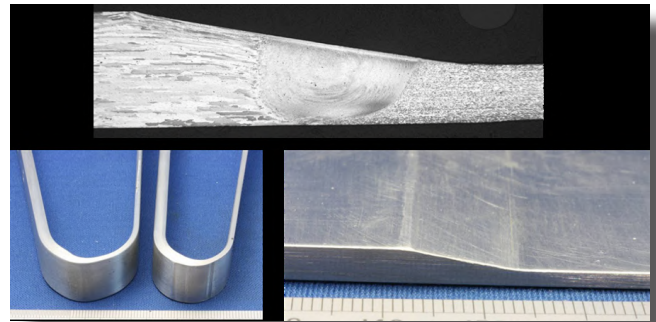


Figura 5: Ejemplo de unión entre chapa AA6082 de 4 mm y 2 mm de espesor. La macrografía (arriba) muestra que la soldadura no tiene defectos y las muestras de ensayo de doblado de la raíz y de la cara (abajo a la izquierda) certifican su integridad mecánica. La transición gradual y uniforme entre los dos espesores de material se muestra en la parte inferior derecha

## USO MARINO DEL MÉTODO FSW-ALUMINIO

El FSW ha sido uno de los principales impulsores del desarrollo de buques de alta velocidad con casco de aluminio, principalmente ferries rápidos y patrulleras navales. Las soldaduras han demostrado ser fuertes y rígidas, con una excelente resistencia a la fatiga y a la corrosión. La Figura 6 muestra una serie de embarcaciones que utilizan el método FSW en su construcción.



Figura 6. Las clases LCS1 y LCS2 de la USN, también el catamarán HSSV, todas ellas utilizan aluminio FSW.

Las embarcaciones civiles también utilizan el FSW, a menudo para la construcción modular de cubiertas de aluminio y de componentes de la superestructura.

ra sobre un casco de acero, para proporcionar estructuras fuertes, rígidas, y ligeras a la vez.

## TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA AL ACERO

Como parte del proyecto RESURGAM, Element Six en el Reino Unido, ha desarrollado herramientas de FSW que se pueden aplicar al acero. Las últimas herramientas FSW de Element Six para soldar acero de 6 mm. de espesor han sido testadas en TWI y han demostrado ser consistentes de un lote a otro, y capaces de producir soldaduras sin defectos en acero al carbono bajo diversas condiciones de prueba. Estas condiciones de prueba fueron:

**Régimen 1:** Múltiples soldaduras de 2 m.

- Múltiples inmersiones de la herramienta en el acero duro y frío.
- Herramienta funcionando varios minutos a temperaturas elevadas;
- Típico en la soldadura de tuberías, soldaduras de reparación y trabajos de montaje.

**Régimen 2:** Múltiples soldaduras de 5 m.

- Menos inmersiones de la herramienta en el acero frío y duro;
- Herramienta funcionando normalmente durante 20 minutos a temperatura elevada;
- Representativa en la construcción modular, de recipientes a presión.

**Régimen 3:** Menos soldaduras, pero más largas de 20m.

- Dos o tres inmersiones de la herramienta en el acero frío y duro;
- Herramienta funcionando a temperatura elevada durante una hora o más;
- Típico en la producción de paneles para barcos.

Las soldaduras se realizaron a una velocidad de 300 mm/min en acero S355J2+N. Bajo todas las condiciones de servicio, las herramientas fueron capaces de producir soldaduras consistentes, sin defectos. Todas las herramientas probadas alcanzaron una longitud de soldadura acumulada de 60 m., sin que se produjeran fallos durante los ensayos. Todavía se están realizando pruebas para determinar la durabilidad final de las herramientas.

## PROPIEDADES DE LA SOLDADURA

### RESISTENCIA

La microestructura de grano fino que se observa en las soldaduras por fricción les confiere, en general, propiedades de resistencia a la tracción más parecidas a las del metal de base que las de la soldadura por fusión convencional. En el caso del acero, esta ventaja se ve reforzada por el hecho de que la soldadura tiene lugar en el rango de temperaturas de transformación, y la selección cuidadosa de los parámetros de soldadura puede ejercer un grado útil de control sobre las transformaciones de fase que tienen lugar durante el proceso. Es posible, por ejemplo, realizar soldaduras optimizadas para la resistencia o para la tenacidad, o una combinación de ambas, en función de los requisitos de servicio. Generalmente las soldaduras por fricción en acero son más resistentes que el metal base en el que fueron realizadas. Cuando las soldaduras por fricción se realizan entre diferentes grados de acero, por ejemplo, un acero al carbono y un acero inoxidable, el fallo tiende a producirse en el más débil de los dos metales principales y lejos de la zona de soldadura.

Se tomaron varias muestras de una soldadura a tope de una sola pasada realizada en acero S355 de 6 mm. de espesor con herramientas E6 que habían acumulado más de 60 m. de soldadura y se sometieron a ensayos mecánicos. Estas muestras superaron una prueba de flexión de raíz y cara, evidenciando que las muestras no tenían defectos significativos y que tenían un buen grado de ductilidad en la zona de soldadura. Las muestras del ensayo de tracción de las soldaduras cruzadas fallaron de forma dúctil en el metal base a cierta distancia de la soldadura y de la zona afectada térmicamente.

El promedio de resistencia a la tracción de las muestras ensayadas fue de 562 MPa. No se ha ensayado el metal base, pero la norma EN 10025-3 para el acero S355 en estado laminado de grano fino especifica un requisito mínimo de UTS de 520 MPa para el acero de menos de 40 mm. de espesor. Como las muestras soldadas fallaron en el metal de base, solo se puede establecer que la resistencia de la soldadura era al menos igual a 562 MPa y superaba el requisito mínimo del metal base.

### DUREZA

Las microestructuras finas y multifásicas generadas por la soldadura de acero con FSW dan lugar a soldaduras que además pueden ser más resistentes.



tes que el metal base. Se tomaron muestras de una soldadura FSW en acero S355 de 6 mm. de espesor producida por una herramienta que había realizado más de 60 m de soldadura acumulada y se sometió a la prueba de impacto Charpy. El ensayo de impacto Charpy se realizó a -20°C y de acuerdo con la norma BS EN ISO 148-1:2016. Las muestras fueron extraídas del espesor medio de la soldadura y se hicieron impactos en la dirección de la soldadura a través del espesor en la línea central del cordón de soldadura.

Se registraron fuerzas de impacto de 49, 57 y 61 julios KV en las tres piezas de ensayo, siendo la media de 56J. Esto excede considerablemente el valor mínimo para el metal de base especificado para S355 a -20 ° C, que es 27 J KV.

## FATIGA

La compleja microestructura mixta que puede generarse en las soldaduras por fricción parece ser capaz de proporcionar un excelente rendimiento a la fatiga. El trabajo para estudiar este efecto está en curso, pero parece que las soldaduras son notablemente resistentes a la propagación de grietas, incluso en presencia de bordes afilados. La figura 7 muestra una sección metalográfica a través de una pieza de ensayo obtenida de una chapa de acero DH36 soldada por fricción, y de 6 mm. de espesor. Se incorporaron dos defectos deliberados en la soldadura: la falta de penetración de la raíz y la falta de fusión en el borde. Cuando se sometieron tanto a ensayos de tracción simple, como a pruebas de fatiga, las muestras fallaron en el metal base y no en la soldadura.

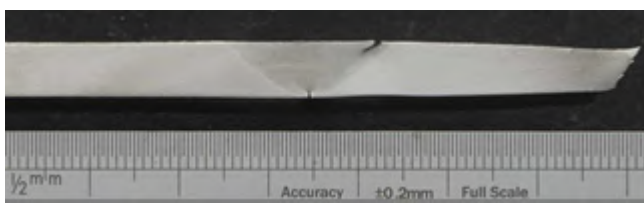


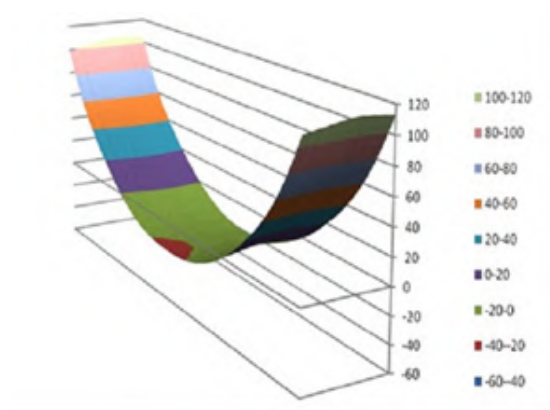
Figura 7. Una sección metalográfica a través de un FSW intencionalmente defectuoso en acero DH36 de 6 mm. de espesor. La zona del fallo está en el metal principal al lado derecho de la muestra.

## DISTORSIÓN

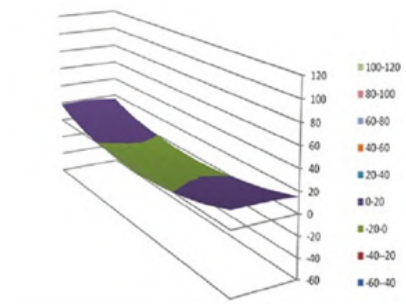
Una de las principales ventajas del proceso FSW es que produce muy poca distorsión. Como el metal que se suelda no se funde y, por lo tanto, no pasa

por un cambio de fase de sólido a líquido a sólido con el consiguiente cambio volumétrico (hasta un 4% en el caso de algunas aleaciones), la distorsión inducida en la pieza soldada es significativamente menor que la observada con las técnicas convencionales de soldadura por arco o láser. La entrada de calor en la zona de soldadura en FSW está mucho más localizada, y generalmente es disipada con más rapidez, y al estar las piezas ancladas rígidamente, se reduce así aún más el potencial de distorsión.

Las figuras 8a y 8b muestran la distorsión medida en probetas de ensayo idénticas fabricadas mediante soldadura por Arco Sumergido (a) y FSW (b). La pieza de ensayo SAW, fabricada en acero DH36 de 6 mm de espesor utilizando equipos de última generación y soldadores experimentados, tenía una distorsión máxima de 110 mm en toda su longitud. La primera pieza de prueba fabricada mediante FSW presentaba una distorsión máxima de 15 mm., que se redujo posteriormente a poco más de 2 mm. en un segundo intento con parámetros de soldadura revisados.



La figura 8a (arriba) muestra la distorsión medida en un proceso SAW y la 8b (debajo) muestra la distorsión en un FSW, ambas en acero DH36 de 6 mm de espesor. (Datos por cortesía de BAE Surface Fleet)



## SOLDADURAS DISÍMILARES

Como la soldadura FSW es un proceso en estado sólido, es decir, sin fusión, está mucho menos influenciada por el contenido de la aleación de los aceros que se sueldan. Por lo tanto, es posible soldar diferentes grados de acero juntos con más facilidad que con otras técnicas, incluyendo desde los aceros inoxidables dúplex hasta el acero al carbono, y soldar grados de acero que resultan difíciles con otros procesos.

La figura 9 muestra una soldadura de metal disímil realizada entre el acero al carbono S355 y el acero inoxidable dúplex S32205. En la micrografía se puede observar que no se ha producido ninguna aleación entre los dos grados de acero diferentes, la unión se realiza puramente mediante mezcla mecánica. No se perdieron elementos de la aleación de ninguno de los dos grados en la zona de soldadura, ni se produjo segregación de elementos en esta región. El acero inoxidable dúplex conservó el equilibrio de fases del metal de base original, no obstante, con un tamaño de grano mucho más fino en la zona de soldadura.

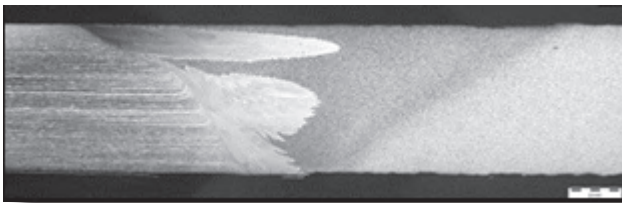


Figura 9. Sección metalográfica de una soldadura realizada entre acero al carbono S355 de 8 mm. de espesor y acero inoxidable dúplex S32205.

La industria de la construcción naval ha mostrado interés en el potencial del proceso FSW para soldar metales con temperaturas de plastificación muy diferentes, por ejemplo, soldando aluminio con acero. Aunque esto es difícil, dado que el aluminio, por ejemplo, tiene un punto de fusión considerablemente por debajo del punto de ablandamiento del acero, se han logrado soldaduras de aluminio y acero en TWI. Las muestras tomadas de la probeta elaborada para el ensayo de tracción fallaron en el metal base de aluminio y no en la soldadura, lo que indica que la resistencia de la soldadura era al menos tan buena como la de la más débil de los dos materiales base. Se necesitarían trabajos adicionales para investigar

las propiedades a largo plazo, especialmente la fatiga y la corrosión de este tipo de uniones de metales diferentes antes de adoptarlo para uso industrial.

## PANELES REFORZADOS INTEGRALMENTE

Los paneles reforzados, como los que se utilizan a menudo para la construcción modular de cubiertas y mamparos, se fabrican tradicionalmente soldando con arco las nervaduras de refuerzo a planchas de acero planas mediante una soldadura en ángulo a lo largo de cada lado del refuerzo.

Una forma alternativa de fabricar un panel de este tipo sería soldarlo a partir de secciones de canal en "T" laminadas, formando los refuerzos, y espaciándolos entre placas planas, como se muestra debajo en la Figura 10. Esta técnica sustituiría cada par de soldaduras en ángulo por una única a tope por fricción. Esto reduciría el tiempo de soldadura, simplificaría los ensayos no destructivos, crearía un panel totalmente forjado, y reduciría la distorsión.

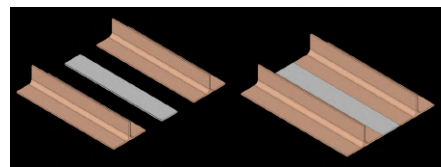
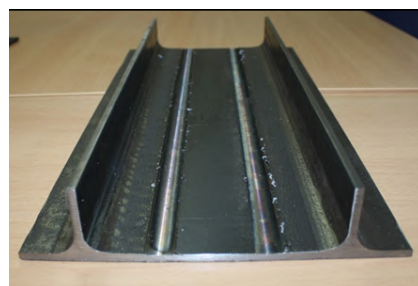


Figura 10 (arriba) Esquema de los canales laminados y las placas espaciadoras. (Abajo) Ejemplo de un Panel Reforzado Integralmente totalmente forjado.



## EL PROYECTO RESURGAM

El proyecto RESURGAM (Robotic Survey, Repair & Agile Manufacture) [2], en el que participa ACLUNAGA, combinará el desarrollo de la tecnología FSW

para el acero con la introducción de técnicas de fabricación digital tanto para la fabricación modular inicial de buques en múltiples emplazamientos como para la reparación en el agua de buques o estructuras marinas dañadas.

El proyecto buscará el desarrollo de un conjunto de herramientas de FSW capaces de soldar múltiples grados de acero de 2 a 12 mm. de espesor, en seco y bajo el agua. Este desarrollo de herramientas irá acompañado del desarrollo de un sistema modular de FSW que se puede instalar en los centros de fresado y mecanizado CNC existentes, y de un sistema robótico que se puede utilizar debajo del agua para realizar reparaciones in situ [3].

Estas capacidades de fabricación y reparación, respaldadas por la infraestructura de las técnicas seguras y digitales de la Industria 4.0 que ya se utilizan de forma generalizada en las industrias automoción y aeroespacial, facilitarán la fabricación modular rápida y coordinada, pero descentralizada, de buques y embarcaciones a través de toda Europa.

En la práctica, esto permitirá que los buques que sufran daños en cualquier parte del mundo tengan la opción de ser reparados provisionalmente en el mar sin necesidad de desplazarse al dique seco más cercano. Esto permitirá a los armadores elegir los astilleros más adecuados para realizar sus reparaciones finales en lugar de los más cercanos, y las reparaciones podrán ser llevadas a cabo por astilleros sin dique seco propio, lo que aumentará significativamente el número de astilleros con capacidad para realizar estos trabajos.

## CONCLUSIONES

El método FSW tiene un historial probado en el sector naval en la fabricación de barcos de aluminio de tamaño mediano y pequeño. La innovación continúa desarrollando el proceso para la fabricación de aluminio, en particular para la soldadura de esquinas y filetes, pero el reciente desarrollo de herramientas de varios fabricantes que son capaces de soldar acero abre ahora la perspectiva de aplicar el proceso a la fabricación y reparación de buques de acero más grandes y, potencialmente, de estructuras en alta mar como plataformas de producción de petróleo, tuberías y torres de turbinas eólicas.

Queda un importante trabajo por hacer para implantar el FSW de acero a nivel industrial:

- técnicamente para desarrollar las herramientas y el proceso de soldadura;
- con los potenciales usuarios del proceso para adaptarlo a las necesidades de la industria;
- y con las sociedades de clasificación para garantizar que cumple con su aprobación.

El proyecto RESURGAM proporciona una vía de avance inmediata para el programa de desarrollo técnico, y TWI ya está trabajando con sociedades de clasificación como Lloyd's Register para alcanzar los requisitos del Proceso de Certificación. Ahora se busca la participación de los arquitectos navales, los diseñadores y los posibles usuarios del proceso para garantizar que éste se ajuste a las necesidades de la industria.

## RECONOCIMIENTOS

El proyecto RESURGAM ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 101007005

## REFERENCIAS

- [1] "FSWBOT: Weld repair of internal corrosion defects in live pipelines," S Cater, C Stanhope, J Sykes, P Routledge and P Wilson, OPT 2020, Amsterdam, 2020.
- [2] <https://cordis.europa.eu/project/id/101007005>
- [3] <https://www.e6.com/en/about/News/ELEMENT-SIX-PCBN-TOOLS-FSW-EU-RESURGAM-PROGRAMME>

## BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Stephen Cater, FRIN, MEI, AssocRINA, AWeldI, ocupa actualmente el puesto de Jefe Principal de Proyectos en TWI Ltd. Es responsable de la gestión de la parte de soldadura por agitación-fricción del proyecto RESURGAM. Su experiencia previa incluye el desarrollo del proceso de FSW para el acero y para el aluminio de sección gruesa (>40 mm), así como el desarrollo de FSW para su uso bajo el agua y en el aceite. Metalúrgico de formación y ganador del premio Richard Weck por su trabajo sobre el acero, Stephen ha publicado más de 20 artículos sobre el método FSW

## EL BUQUE PATRULLERO DE VIGILANCIA PESQUERA SABAH DE FREIRE SHIPYARD

JUAN A. OLIVEIRA // Autor de: "vadebarcos.net"

Ingeniero Técnico Naval y MBA // vadebarcos@gmail.com



El buque patrullero de vigilancia pesquera Sabah es una de las últimas entregas del astillero vigués Freire Shipyard. Con 42 metros de eslora y capacidad para 16 tripulantes, el buque, destinado a la Oficina de Agricultura y Recursos Pesqueros del Departamento de Vigilancia Marina de Kuwait (Public Authority for Agriculture Affairs and Fish Resources), servirá como unidad de apoyo a las operaciones de patrullaje de la marina de Kuwait en sus aguas territoriales, en tareas de prevención de la pesca ilegal, así como en operaciones de búsqueda y rescate.



IMAGEN CEDIDA POR FREIRE SHIPYARD

El Sabah es el cuarto patrullero de este tipo entregado por la factoría viguesa durante el siglo XXI, tras el Arnomendi y el Tarifa para la Armada Española en 2001 y 2003 respectivamente y Anna Kukurukaze Mungunda para Namibia en 2004. Fundada en 1895 por Paulino Freire Piñeiro como Construcciones Navales Paulino Freire, en su origen el astillero se encargaba de la construcción y reparación de los buques pesqueros de su propia armadora. A partir de

los años 20 del siglo pasado, Freire comenzó a construir para diferentes armadores, fabricando todos los elementos de los buques dentro del propio astillero, incluyendo máquinas de vapor de patente propia.



IMAGEN CEDIDA POR FREIRE SHIPYARD

En 1958 el astillero construyó su primer barco de casco de acero. La construcción de este buque se alargó durante tres años, pero representó un valioso aprendizaje a la par que obligó a la transformación completa de todos los procesos productivos. La internacionalización de Freire llegó en la década de los 80, con diferentes contratos para Sudáfrica, Marruecos, Argentina o México, y la especialización en la década de los 90, con la construcción de buques de alto valor añadido: pesqueros congeladores de última generación para Groenlandia y Holanda, buques congeladores, oceanográficos o patrulleros.

Cuatro generaciones más tarde, la familia Freire sigue al frente del accionariado y la dirección. Durante este tiempo, Freire Shipyard se ha convertido

en una referencia internacional en buques a medida destinados a operaciones cada vez más complejas: buques de investigación oceanográfica, buques apoyo offshore, buques de pesca, buques escuela a vela, megayates de lujo, patrulleros y remolcadores para los armadores más exigentes del mundo han sido alguno de los buques salidos del astillero durante el siglo XXI para armadores, organismos científicos y armadas de países como Noruega, Dinamarca, Reino Unido, Perú, Indonesia, Qatar, Kuwait o Arabia Saudí.



IMAGEN CEDIDA POR FREIRE SHIPYARD

Con 42 metros de eslora y capacidad para 16 tripulantes, la habilitación del Sabah fue encargada a la ingeniería vasca Oliver Design, cuyo principal reto fue minimizar al máximo el peso de todos los componentes para que el buque pudiera alcanzar la velocidad de 30 nudos. Para ello se utilizó aluminio, tanto en el mobiliario como en los elementos estructurales, y paneles de nido de abeja que combinan ligereza y flexibilidad con resistencia.

De abajo hacia arriba, el buque se divide en tres cubiertas: la cubierta inferior, con siete camarotes dobles para la tripulación, el comedor, la oficina, espacios de descanso y cámara de máquinas; en la cubierta principal, se encuentran los camarotes del capitán y del jefe de máquinas, el comedor de oficiales, la cocina y las gambuzas frigoríficas, así como una pequeña enfermería; y en la cubierta superior, el puente de gobierno, con visión de 360 grados.



IMAGEN CEDIDA POR FREIRE SHIPYARD

El Sabah cuenta con dos motores de 2.880 kW de potencia cada uno que hacen girar dos hélices de paso fijo con las cuales el buque es capaz de alcanzar los 30 nudos de velocidad máxima. En popa el barco está equipado con una lancha de salvamento semirrígida de siete metros de eslora.

El buque, destinado a la Oficina de Agricultura y Recursos Pesqueros del Departamento de Vigilancia Marina de Kuwait (Public Authority for Agriculture Affairs and Fish Resources), servirá como unidad de apoyo a las operaciones de patrullaje de la marina de Kuwait en sus aguas territoriales, en tareas de prevención de la pesca ilegal, así como en operaciones de búsqueda y rescate.



IMAGEN CEDIDA POR FREIRE SHIPYARD

#### Características principales:

Eslora: 42,00 metros  
Manga: 7,70 metros  
Calado: 2,40 metros  
Tripulación: 16 personas  
Potencia instalada: 5.760 kW  
Velocidad de crucero: 28 nudos  
Autonomía: 14 días

## CONTROL DE CALIDAD EN EL TRÁFICO A TRAVÉS DEL CANAL DE PANAMÁ



**SALVADOR NAYA**

// Catedrático UDC  
// salva@udc.es



**JAVIER TARRÍO-SAAVEDRA**

// Profesor contratado Doctor en la UDC  
// javier.tarrio@udc.es



**LUIS CARRAL**

// Profesor titular UDC  
// l.carrar@udc.es



**LADY AMADOR**

// Licenciada en Economía  
// lady.amador@udc.es



### INTRODUCCIÓN

El mes de marzo de 2021 el mundo estuvo pendiente de la maniobra para reflotar un gran portacontenedores que se había quedado encallado en mitad del Canal de Suez. El Ever Given (Figura 1), de 400 m de eslora, quedó varado en diagonal en pleno paso del Canal, dejando a cientos de barcos a la espera de poder abrir la única vía posible que facilita el paso entre Europa y Asia. Las consecuencias de esta catástrofe fueron colosales repercutiendo en la falta de suministros de muchas fábricas, que siguiendo los buenos consejos del Just in Time, delegan su logística al servicio de productos a la carta sin ocupar espacio con los stocks. Se estima que cerca del 15% del tráfico marítimo mundial transita este canal y la interrupción causada por este incidente supuso un coste de más de 15 millones de dólares diarios a las autoridades del Canal.

El accidente del Ever Given y la apuesta sin control de buques cada vez más grandes, con el único fin de abaratar costes, han puesto de plena actualidad la importancia que estas vías marítimas tienen en la economía mundial en un mundo cada vez más globalizado.



Figura 1. El Ever Given en su proceso de desencallado en Suez

Al igual que el Canal de Suez, el otro gran paso que comunica el atlántico con el pacífico, es el Canal de Panamá. En este caso, sí se han realizado obras que permiten un ensanche y duplicidad de los pasos estrechos. La ampliación realizada, con unas terceras esclusas, posicionan al Canal de Panamá en un lugar competitivo para acoger nuevos barcos, los ya denominados Neopanamax, que con un mayor tamaño (13500 Teus) se han adaptado a esta nueva amplitud de paso, llegando a los 50 m de eslora con 18 m de profundidad.

Sin embargo, la ambición por el aumento del volumen de los nuevos buques y la falta de una legislación que controle su construcción, hace que la pericia de los controladores (llamados comúnmente pilotos del canal) sea de gran importancia para evitar otra catástrofe similar. Por ello, con el fin de gestionar de una manera automatizada y eficiente el tránsito de buques a través de los canales como Suez o Panamá, se hace necesaria la aplicación de técnicas de control estadístico de procesos, más si cabe cuando las instalaciones son nuevas y hay que estimar el tiempo normal de tránsito y definir los requerimientos de la empresa y clientes. Este es el caso del Canal de Panamá Ampliado.

En junio de 2016, se inauguró el Canal de Panamá Ampliado. El proyecto final implicó la construcción de un tercer conjunto de esclusas más grandes que las realizadas en 1914. Este conjunto de esclusas está ubicado en el lado atlántico del canal, en la orilla este de las esclusas de Gatún. Otro conjunto de esclusas se encuentra en el lado del Pacífico, al suroeste de las esclusas de Miraflores. La expansión también incluyó el dragado de ambas entradas del

Canal (Atlántico y Pacífico), así como la ampliación y profundización de los canales de navegación existentes en el Lago Gatún y la profundización en el Corte Culebra. A diferencia de las esclusas construidas en 1914, las nuevas tienen dimensiones apropiadas para maniobrar los buques denominados Neo-panamax, entre 150,000 y 170,000 toneladas de desplazamiento, según se indica en Carral et al. (2019). Esta vía interoceánica conecta 144 rutas marítimas que llegan a 1700 puertos en 160 países, posicionando a Panamá como un centro de transporte, logística y servicios (Figura 2).

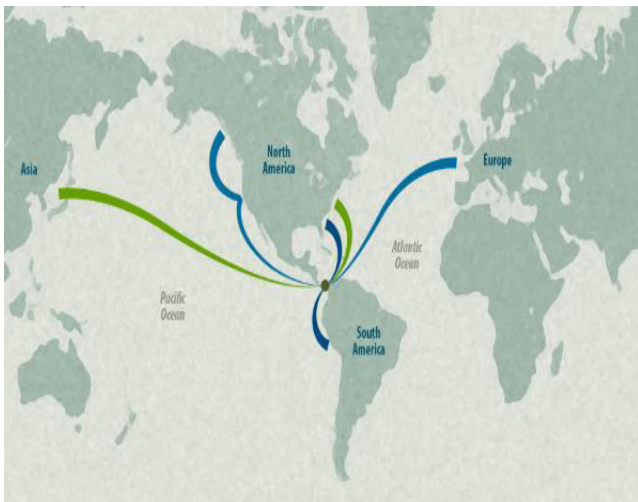


Figura 2. Flujo de tránsito del Canal de Panamá. Fuente: Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá.

Al analizar los datos relativos al tránsito acumulado por el Canal de Panamá, según segmento de mercado y tipo de esclusa, en el año fiscal 2020, se verifica que casi el 75% del total de los tránsitos son buques tipo Panamax, mientras que el resto son buques Neopanamax. Los buques cuyo tránsito es más común a través del Canal de Panamá son los Graneleros, Portacontenedores, Quimiqueros, de transporte de Gas Licuado de Petróleo (GLP) y Petroleros. Específicamente, en este trabajo se estudian los buques Portacontenedores, los GLP y aquellos dedicados al transporte de Gas Natural Licuado (GLN), dado que representan casi el 80% de los tránsitos de los buques Neopanamax, desagregado en un 42.9 %, 24.6% y 12.4 %, respectivamente. Desde su inauguración en 1914, se han realizado alrededor de 1.1 millones de tránsitos a través del Canal de Panamá, alcanzándose los 10000 por el Canal

ampliado, desde su apertura en junio de 2016. Este hecho posibilita la aplicación de técnicas que se enmarcan dentro del control estadístico de procesos, cuyo objeto es el control, análisis y mejora del proceso, en este caso el tránsito de buques a través de las esclusas del Canal de Panamá Ampliado, siendo el objetivo de este trabajo su propuesta en este ámbito específico.

## ESTUDIOS PREVIOS SOBRE MODELOS DE APRENDIZAJE EN EL CANAL

El proceso de tránsito a través del Canal de Panamá ampliado consta una sucesión de procesos repetitivos. A medida que aumenta el número de repeticiones y la experiencia del personal y la organización, se podría esperar una reducción del tiempo y el esfuerzo requerido para efectuar el tránsito de los buques a través del Canal. Esta reducción en el tiempo se debería a la realización del trabajo de una manera cada vez más eficiente, debido fundamentalmente a un fenómeno definido como “aprendizaje”, cuya representación gráfica se denomina, a su vez, “curva de aprendizaje”. Por lo que la visualización, modelización estadística y estimación de esta curva define el proceso de aprendizaje en un proceso, circunscribiéndose en este caso al pilotaje y maniobras de la Autoridad del Canal para efectuar los tránsitos de buques.

Las curvas de aprendizaje se basan en la premisa de que las organizaciones, lo mismo que las personas, hacen mejor sus trabajos a medida que estos se van repitiendo. El aprendizaje individual está relacionado con la repetición de un proceso y la adquisición de la correspondiente habilidad a partir de la experiencia. Por otro lado, el aprendizaje organizacional también es resultado de la práctica, relacionada con tareas de la administración, con el uso y tipo de equipo y el diseño de productos y procesos, entre otros (Lefcovich, 2003).

Precisamente, en Carral et al. (2021) se propone una metodología de estudio del aprendizaje individual y de la organización en el caso particular del Canal de Panamá Ampliado. Para ello, se estudiaron los tiempos de tránsito a través de esclusas en el periodo 2016-20. Como resultados, se estimaron las curvas de aprendizaje de los buques portacontenedores, GLP y GLN, a partir del estudio del tiempo de tránsito a través de cada esclusa, teniendo en cuenta la dirección del trayecto (Figura 3). En este estudio se concluía que los buques portacontenedores tendían a realizar tránsitos más lentos a lo largo de

las esclusas, debido, en cierta medida, a sus dimensiones. Por otro lado, los tránsitos cuyo punto de partida fuese el océano, tendrían también a ser más lentos. Por tanto, la dirección de tránsito afecta significativamente al tiempo total de tránsito a través del Canal Ampliado.

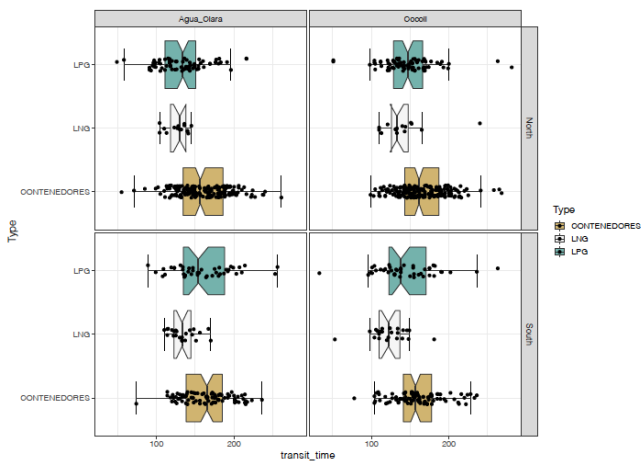


Figura 3. Diagramas de caja para el tiempo de tránsito dependiendo de la combinación de los niveles de tipo de embarcación, esclusa y dirección de tránsito.

Por otra parte, en Carral et al. (2019), se estimó un modelo que pudiera predecir el tiempo total para cruzar el Canal Ampliado mediante modelos basados en Máquinas de Soporte Vectorial (SVM). También se analizaron, mediante la aplicación de modelos de regresión multivariante, además de identificarse las variables más influyentes en el tiempo de tránsito: la dirección del tránsito, el tipo de buque, su eslora (LOA) y la experiencia.

### CONTROL DE CALIDAD PARA EL CANAL DE PANAMÁ

El control del paso de embarcaciones por el Canal puede asimilarse a un proceso industrial con las variaciones propias que pueden tener la pericia de los pilotos, el tipo de barco, el clima en el momento del paso, etc. En este sentido, los gráficos de control son una herramienta esencial para verificar si un proceso se encuentra bajo control (ausencia de anomalías) y poder medir su capacidad para cumplir las especificaciones de la empresa.

El control de calidad se lleva a cabo dos fases, en una primera, llamada Fase I, se estiman los límites inferior y superior naturales correspondientes a los

gráficos de control. Las hipótesis de partida para la su aplicación son la normalidad y la independencia entre observaciones. Una vez calculados los límites de control natural para esta Fase I, se hace un análisis de la capacidad del proceso para cumplir las especificaciones de empresa, norma o clientes. Es decir, se calculan los índices de capacidad mediante la comparación de las especificaciones dadas por las autoridades del canal, con el rango de variación real de la variable crítica para la calidad del proceso a medir (CTQ). El análisis de capacidad nos indica si el proceso es o no capaz de cumplir las especificaciones o si hay o no que implementar un plan de mejora. Finalmente, en la Fase II, se monitorizan los tiempos de paso del canal en función de diferentes variables de interés y controlar de forma automática las posibles anomalías con el objeto de encontrar fallos y mejorar el proceso.

Para el análisis se tomarán datos correspondientes a los tiempos de tránsito de distintos tipos de buque (los más comunes en el Canal ampliado), en particular, a través de las esclusas Cololí y Agua Clara, en las direcciones de Atlántico a Pacífico (Sur) o de Pacífico a Atlántico (Norte). Las operaciones en cada esclusa están tomadas en orden cronológico, en el intervalo comprendido entre 2016 y 2019. Todos los cálculos se implementan utilizando el software estadístico R, en concreto mediante el uso de los paquetes qcr (Flores et al, 2021) y qcc.

### ANÁLISIS DE TRÁNSITOS DEL BUQUE DE ENTRENAMIENTO BAROQUE

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) dispone de un buque, denominado Baroque, que ha sido utilizado para entrenar a los pilotos que realicen el paso a través de las nuevas esclusas del Canal de Panamá Ampliado. Se ha elegido una esclusa específica y se han efectuado los tránsitos llevados a cabo por diferentes pilotos. Los resultados pueden servir para estimar cuál es la distribución de tiempos de tránsito a través de una esclusa. A partir de esta distribución, podremos definir un límite máximo de especificación a partir del cual se penalice el tránsito. A partir de este límite superior, se podrá establecer si la ACP es capaz o no de cumplir sus propias especificaciones. En la Figura 4 se observa un patrón de cambio paulatino de tipo asintótico, cuya causa asignable es el aprendizaje de la organización. La propuesta es emplear gráficos de control y análisis de capacidad para controlar, analizar y mejorar continuamente todos los procesos del PC relacionados con el tránsito de buques.



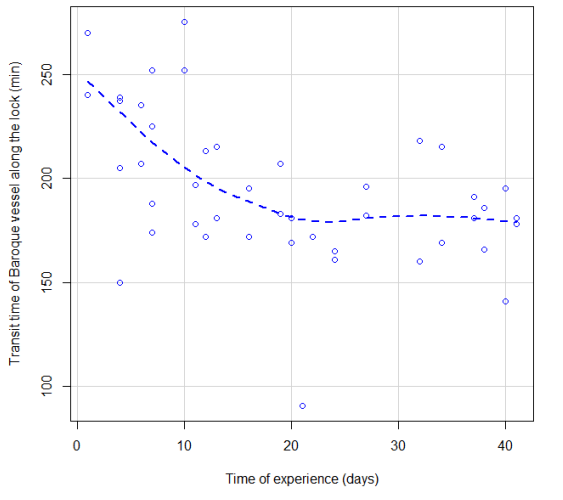


Figura 4. Relación entre los días de experiencia de los pilotos y los tiempos de tránsito en el Canal con la muestra de datos de Baroque. Ajuste de un modelo de regresión no paramétrico Loess.

Se toman las 21 últimas observaciones, correspondientes a la zona de saturación del tiempo de tránsito (Figura 4), se aplican gráficos de control Shewhart para medidas individuales y se observa que están bajo control, no hay otra causa asignable para la variación del tiempo de tránsito que aquellas debidas a la propia aleatoriedad del proceso (Figura 5<sup>a</sup>). Este estudio preliminar permite establecer un límite de especificación tentativo para el tiempo de tránsito a través de cada esclusa, de hecho, dado que el proceso a estudiar es nuevo, todavía no está definido un límite de especificación superior (USL) por la empresa. Este límite debería indicar si el proceso es capaz o no de cumplir especificaciones, y ayudar a emprender acciones de mejora o a tomar la decisión para proceder a penalizar un determinado tránsito. En la Figura 5b se muestra la distribución de tiempo de tránsito, que se puede ajustar a una distribución normal y, como tal, se puede tomar el cuantil 0.999, por ejemplo, como USL tentativo, en este caso 250.6 min.

El siguiente paso es el control del paso de buques a través del Canal Ampliado entre 2016 y 2020, con



## FORAN v80

New version  
**V80R4.0**



[www.marine.sener](http://www.marine.sener)

el objeto de detectar patrones de aprendizaje y posibles anomalías, proporcionando información para tomar acciones de mejora.

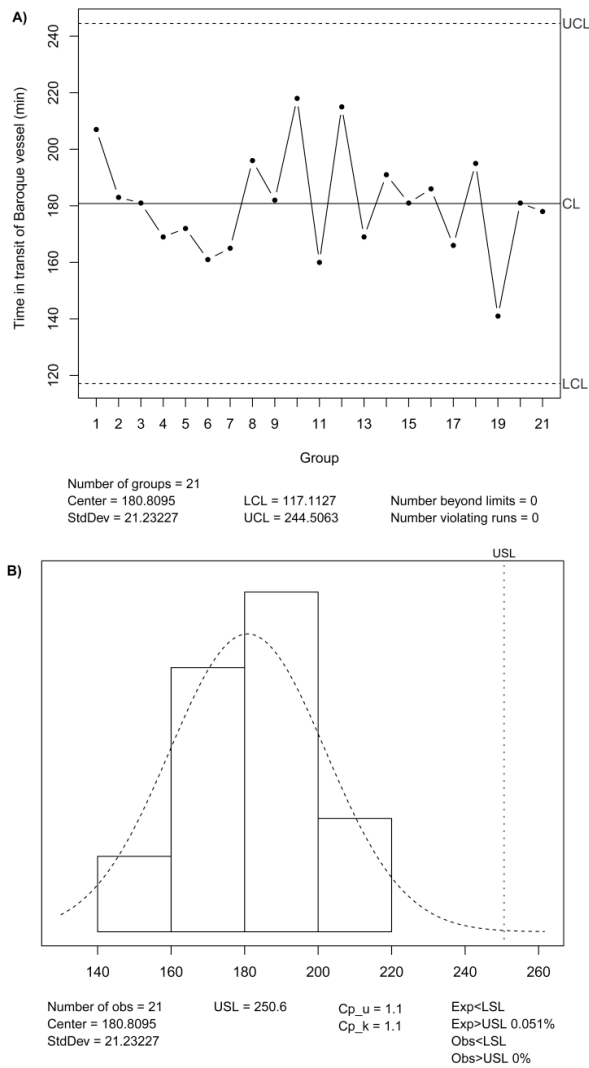


Figura 5. A) Gráfico de control para el tiempo de tránsito utilizando los últimos 21 tránsitos del buque Baroque. B) Histograma y función de densidad asumiendo distribución normal del tiempo de tránsito, límite de especificación superior (USL) y análisis de capacidad.

Como ejemplo de aplicación, se estudian los tiempos de tránsito a través de la esclusa Agua Clara en dirección sur, de Atlántico a Pacífico. En este punto, es importante destacar que, dado que el tiempo de tránsito sigue una distribución diferente según esclusa, tipo de buque y dirección, es preciso estudiar cada combinación de factores por separado. En la

Figura 6a se muestran los histogramas del tiempo de tránsito a través de Agua Clara, el de buques portacontenedores, en dirección sur, tomando el primer mes desde la apertura del Canal, por un lado, y los trayectos a partir de 2017, por otro. La diferencia de medias entre las dos muestras es de 2.5 veces la desviación típica de los tiempos de tránsito en el primer mes, hay un efecto aprendizaje relativamente importante.

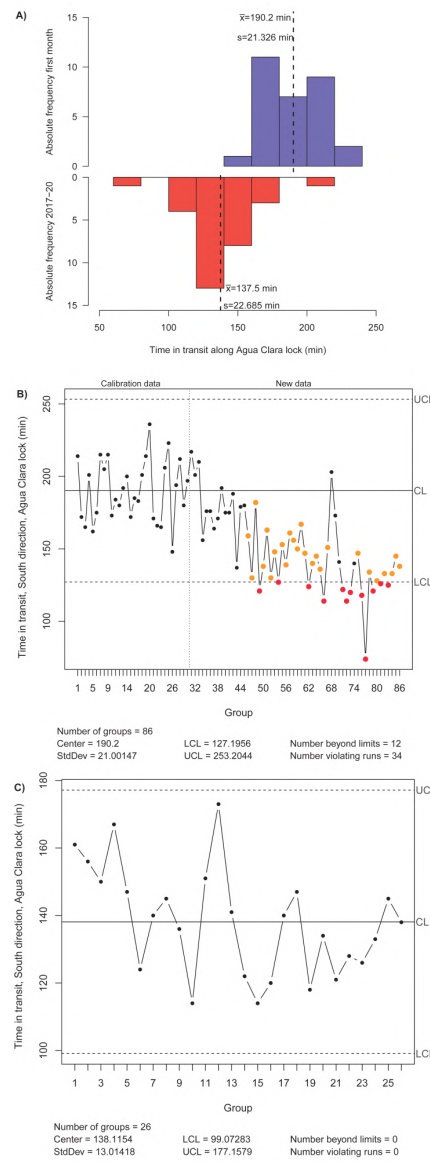


Figura 6. A) Histogramas de la distribución del tiempo de tránsito el primer mes de funcionamiento del Canal y a partir de 2017. B) Gráfico de control del tiempo de tránsito (muestra de calibrado y monitorizado). C) Gráfico de control para los tránsitos a partir de 2017.

La Figura 6b muestra la aplicación de gráficos de control para medidas individuales, tomando como muestra de calibrado los tránsitos realizados el primer mes desde la apertura del Canal. Se estiman los límites de control natural y se procede a monitorizar los tránsitos desde el 2017. Como resultado identifica un patrón de cambio paulatino de nivel, por efecto del aprendizaje. Se toman, por tanto, unos nuevos límites de control a partir de la muestra 23 (Figura 6c). Como se puede observar el proceso está de nuevo bajo control. Una vez que se obtiene el proceso bajo control el paso siguiente es ver si un proceso capaz. Para ello se calculan los índices de capacidad usando como límite superior de especificación de 250.6 minutos. En concreto, el índice:

$$C_{pu} = \frac{USL - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}} = 2.881 \quad (\text{siendo } \hat{\mu} \text{ la estimación de la}$$

media y  $\hat{\sigma}$  la estimación de la desviación típica) es decir, el proceso sería capaz de cumplir especificaciones a un nivel superior que el correspondiente a un nivel Seis Sigma, no esperándose prácticamente ningún tránsito con un tiempo más alto que el USL.

## CONCLUSIONES

El control estadístico de la calidad es esencial para la toma de decisiones en cualquier organización. En el caso del estudio del tráfico marítimo la aplicación del control de calidad es de gran ayuda para la mejora de los tiempos de tránsito, permitiendo medir los procesos, controlarlos y proponer mejoras basadas en la experiencia y en los datos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto MINECO MTM2017-82724-R y por la Xunta de Galicia (Grupos de Referencia Competitiva ED431C-2016-015 y Centro Singular de Investigación de Galicia ED431G/01), todos ellos a través del FEDER. Del mismo modo, también ha sido financiado por el Proyecto 1-FACINA-009 de la UMIP.

## REFERENCIAS

[1] Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Naya, S., Bogle, J., & Sabonge, R. (2017). Effect of inaugurating the third set of locks in the Panama Canal on vessel size,

manoeuvring and lockage time. *The Journal of Navigation*, 70(6), 1205-1223.

[2] Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Castro-Santos, L., Lamas-Galdo, I., & Sabonge, R. (2018). Effects of the expanded panama canal on vessel size and seaborne transport. *Promet-Traffic&Transportation*, 30(2), 241-251.

[3] Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Rodríguez-Díaz, A., Bogle, J., & Naya, S. (2019, March). Modeling of the learning curve corresponding to the transit through the new expanded Panama Canal. In *Pan-American Conference of Naval Engineering*. Springer, Cham. In Press.

[4] Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Álvarez-Feal, J. C., Naya, S., & Sabonge, R. (2019). Modeling and forecasting of Neopanamax vessel transit time for traffic management in the Panama Canal. *Journal of Marine Science and Technology*, 1-18.

[5] Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Crespo-Pereira, D., Fernández-Campoamor, M., & Sabonge, R. (2018). Competitive position of the expanded Panama Canal in the shipment of liquefied natural gas. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 1475090218812242.

[6] Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Sáenz, A., Bogle, J., Alemán, G. and Naya, S. (2021). Modelling operative and routine learning curves in manoeuvres in locks and in transit in the expanded Panama Canal. *Journal of Navigation*, 1–23.

[7] Flores, M. Naya, S., Fernández-Casal, R and Tarrío-Saavedra, J. (2021). qcr: Quality Control Review. R package version 1.2. <https://CRAN.Rproject.org/package=qcr>

[8] Lefcovich M (2003). Kaizen—La mejora continua y el cuadro de mando integral. Disponible en <http://studylib.es/doc/493795/t>

[9] Sabonge, R. 2014. La ampliación del Canal de Panamá. Impulsor de cambios en el comercio internacional. Naciones Unidas- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

## INTERCAMBIADORES DE CALOR. TIPOS Y APLICACIONES.

ÁLVARO BAALIÑA // Profesor doctor de la ETS de Náutica y Máquinas de la UDC

Asesor I+D+i Gefico // info@gefico.com



Gefico

### 1-INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las instalaciones en las que las diversas formas de energía entran en juego, los procesos de transferencia de calor entre fluidos, suelen representar un papel fundamental en su operativa, tanto desde el punto de vista de su proceso productivo, como a la hora de gestionar variables como la eficiencia energética o la huella de carbono.

Los procesos de transferencia de calor, entre los que se incluyen el enfriamiento, el calentamiento, la vaporización y la condensación, se producen en lo que generalmente se conoce como intercambiadores de calor, mediante la concurrencia de mecanismos de transferencia de calor por convección y conducción y, en ciertos casos, por radiación también.

A la hora de seleccionar y dimensionar un intercambiador de calor sin cambio de fase, con cambio de fase o una combinación de ambas, es necesario tener en cuenta que entran en juego una gran cantidad de variables entre las que destacan las propiedades físico-químicas de los fluidos, las condiciones de flujo, la existencia de reacciones químicas, las propiedades de la superficie de intercambio en caso de existir, etc. En cualquier caso, se tratará de buscar una solución que permita la máxima transferencia de calor, con la mínima superficie de intercambio. Es por ello que resulta difícil fijar un único criterio a la hora de establecer una tipología lo más amplia posible de los distintos intercambiadores de calor que se encuentran en las distintas aplicaciones industriales y navales. A continuación, se trata de enumerar una serie de características que hagan posible mencionar la mayor parte de dichas tipologías.

### 2-CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN.

#### 2.1- Modo de transferencia de calor.

Cuando se trata de transferir energía desde gases a alta temperatura hacia otro fluido, **según el modo de transferencia de calor** predominante desde el gas, se pueden disponer intercambiadores de convección, de radiación y mixtos. Los primeros se caracterizan porque las temperaturas de las corrientes no son excesivas y las superficies son bañadas directamente por los fluidos. En las calderas de recuperación de gases que se disponen en los buques con propulsión basada en motores de combustión interna, la energía de los gases de escape se aprovecha para la generación de vapor en superficies en las que predomina la convección. De igual modo, en las centrales de ciclo combinado, la generación de vapor a partir de los gases procedentes de la turbina de gas, tiene lugar en intercambiadores de tipo convectivo.

**Los intercambiadores de radiación** son aquellos que se sitúan en presencia de una combustión, como ocurre con las paredes de agua en el hogar de una caldera, o en sobrecalentadores tipo pared que “ven” directamente la llama. Se caracterizan por elevados flujos de calor por metro cuadrado, por ello, para proteger la superficie de intercambio de las altas temperaturas se dispone internamente un fluido en cambio de fase o circulando a alta velocidad, para incrementar el coeficiente de convección interior.

En **los intercambiadores mixtos**, coexisten los dos modos de transferencia de calor con una disposición de la superficie en presencia de la llama y permi-

tiendo, al mismo tiempo, la circulación exterior de los gases “bañando” la superficie. Como ejemplo, se pueden mencionar los sobrecalentadores colgantes (platen superheaters) que se pueden disponer en el cielo del hogar de una caldera o sobrecalentadores en U invertida como ocurre en las calderas duales marinas Mitsubishi.

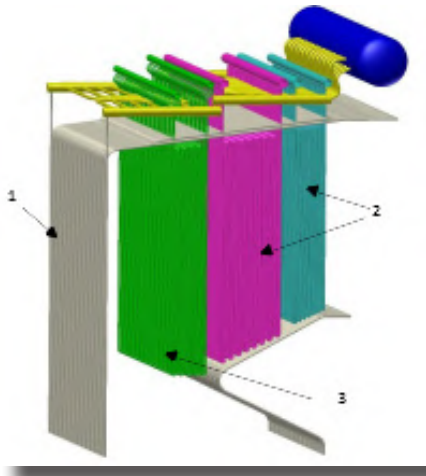


Figura 1.- Intercambiadores de calor en un generador de vapor con predominio de transferencia por radiación (1), convección (2), convección-radiación (3) [1]

## 2.2.- Disposición de los flujos.

Atendiendo a la circulación de los fluidos, se distingue entre intercambiadores de **flujo paralelo, contraflujo, mixto y cruzado**. En los de flujo paralelo, las corrientes circulan en la misma dirección, dando lugar a un gradiente de temperatura decreciente en dicha dirección y a una temperatura media de la superficie de intercambio prácticamente constante en toda la extensión del intercambiador. En los de contraflujo, las corrientes circulan en sentidos opuestos, manteniendo una diferencia de temperaturas entre corrientes más estable y una temperatura de la superficie más alta en el lado caliente del intercambiador. Así mismo, permite disminuir la temperatura del fluido caliente, por debajo de la de salida del fluido frío. En flujo mixto, se combinan las dos configuraciones anteriores, generalmente buscando una menor temperatura de la superficie en el lado caliente, mediante una configuración en paralelo para, posteriormente, disponer una sección en contraflujo para incrementar la diferencia de temperaturas entre las corrientes.

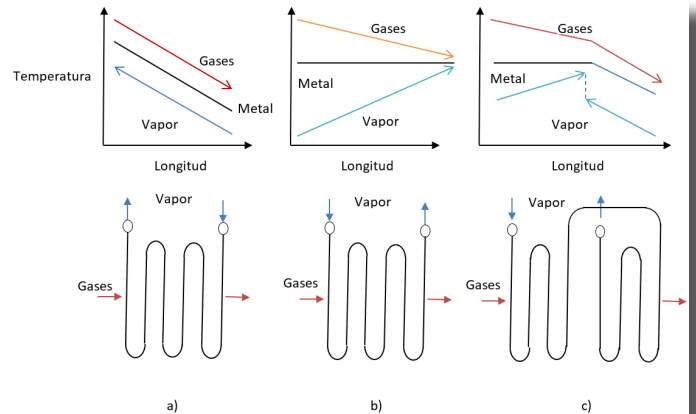


Figura 2. Variación de temperatura de las corrientes y de la superficie de intercambio según la configuración de flujo contrario o contraflujo (a), paralelo (b) y mixto (c).

En los intercambiadores de flujo cruzado, las corrientes circulan formando un ángulo recto.

En ciertas aplicaciones, una de las corrientes en estado líquido se aporta en forma de película descendente (falling film) vertical u horizontal u manteniendo la superficie de intercambio sumergida permanentemente, en aplicaciones en las que se produce ebullición/condensación.

## 2.3.- Existencia de superficie de intercambio

Si se atiende a la disponibilidad o no de una superficie intermedia que separe los fluidos que intercambian calor, podemos hablar de intercambiadores **cerrados o de superficie y abiertos o de mezcla**. Los primeros presentan la ventaja de permitir el intercambio calorífico entre fluidos de distinta naturaleza sin que se produzca una mezcla entre ellos. Son los más extendidos y presentan numerosas configuraciones que serán comentadas a través de otros criterios.

**En cuanto a los abiertos o de mezcla**, el intercambio de calor se asocia a la mezcla directa de los fluidos a distintas temperaturas dentro del propio intercambiador, sin existir una superficie que los separe. Como ejemplo, se pueden citar los denominados desgasificadores o desaireadores que se suelen disponer en los ciclos de potencia de vapor de agua, en donde el flujo procedente del condensador incrementa su temperatura y sufre un proceso de

desorción térmica del aire presente en la fase líquida, mediante el aporte de un flujo de vapor extraído de la turbina de media-baja presión. De este modo, se incrementa el rendimiento de la instalación y se limita en gran medida la corrosión.

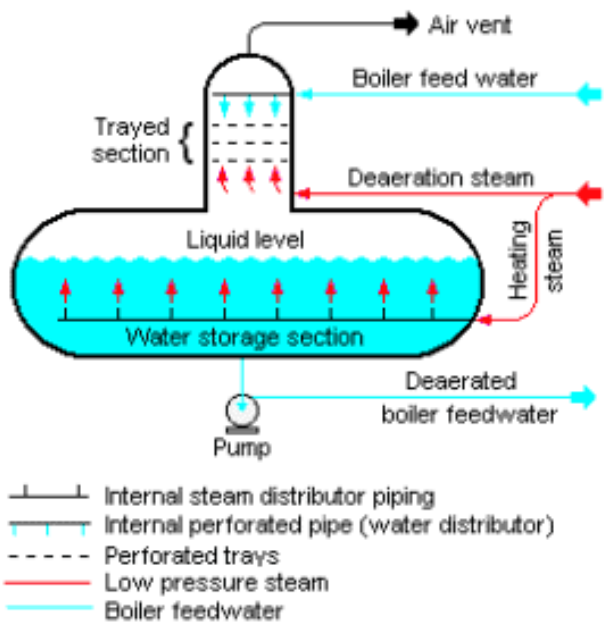


Figura 3.- Intercambiador de mezcla o abierto. Aplicación como desgasificador de bandeja [2].

## 2.4.- Disposición de la superficie de intercambio

Cuando se toma en consideración la **disposición de la superficie intermedia** en los intercambiadores cerrados, surgen infinitud de variantes.

**Los intercambiadores recuperativos**, son aquellos en los que la superficie de intercambio permanece estática, siendo los más extendidos en la práctica. Presentan la ventaja de no permitir la mezcla entre las corrientes fluidas implicadas.

**En los intercambiadores regenerativos**, la superficie de intercambio pasa alternativamente por las corrientes de los dos fluidos en fase gas, gracias a la rotación de la superficie o a la rotación de los conductos de flujo. Son de aplicación en sistemas de acondicionamiento de aire, generalmente para la recuperación de energía de la corriente de re-

torno y en centrales térmicas, donde destacan los modelos Ljungstrom, con rotación de la superficie, y Rothemühle, en el que la superficie es fija y rotan los conductos. En este caso se aprovecha la energía de los gases que salen de caldera para el precalentamiento del aire de combustión, incrementando el rendimiento térmico. Presentan la ventaja, respecto a los recuperativos, de reducción del peso y volumen del equipo, pero con el inconveniente de las inevitables fugas entre corrientes.

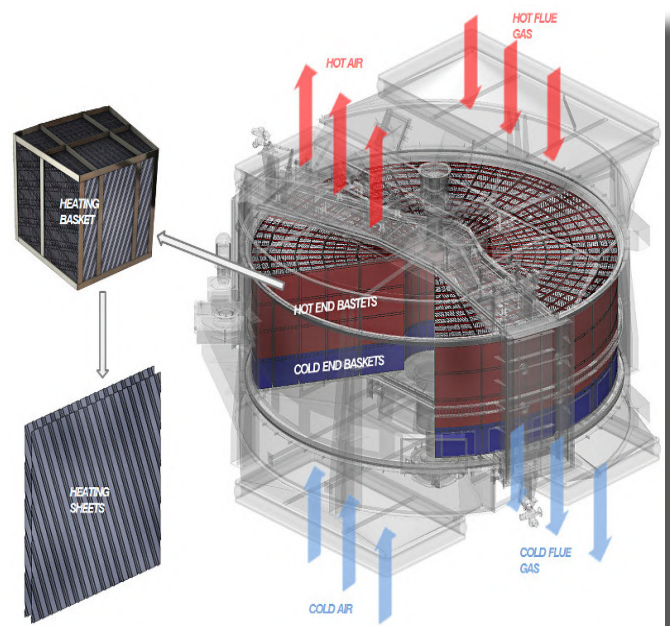


Figura 4.- Intercambiador regenerativo con rotación de la superficie de intercambio [3].

Considerando la **forma de la superficie** de intercambio, podemos distinguir mayoritariamente entre **superficie plana y cilíndrica**, pudiendo disponer adicionalmente aletas de muy diversas formas que, cuando alcanzan altas densidades, dan lugar a los **intercambiadores compactos**. Estos últimos son de aplicación mayoritaria en aquellos casos en los que una de las corrientes tiene un reducido coeficiente de convección, como es el caso de las corrientes en fase gas. Estos intercambiadores compactos de superficies planas con aletas onduladas, en tiras, con desfase, etc., permiten la disposición de más de dos corrientes fluidas, como es el caso del intercambiador "cold box" propio de los sistemas de relicuación en buques GNL o en instalaciones de tierra.

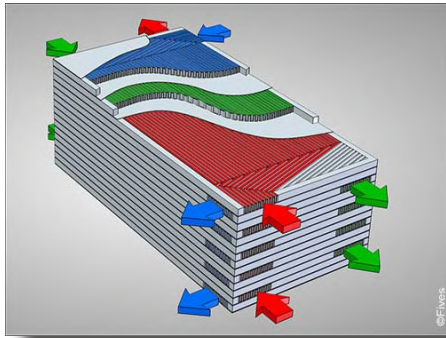


Figura 5.- Intercambiador de placas corrugado, compacto, recuperativo, con intercambio entre tres corrientes [4]

Mención especial merecen los **intercambiadores de placas**, en sus variantes de placas con juntas o soldadas, que se caracterizan generalmente por los elevados coeficientes de transferencia de calor, dada la elevada turbulencia inducida por la geometría corrugada, a costa de mayores pérdidas de carga.

Dentro de los intercambiadores con **superficie tubular** destacan los **de carcasa y tubos**, de **tubos concéntricos**, los **tubos termosifón o caloductos y los tubos en espiral** (spiral wound tube)

**Los intercambiadores de carcasa y tubos**, disponen de haces tubulares en disposición triangular a 60 o 30°, cuadrada y a 45°, en haz recto o en U, y de uno o varios pasos. Existe una gran variedad de tipologías que vienen recogidas en un estándar de referencia elaborado por la Asociación de Fabricantes de Intercambiadores Tubulares (TEMA® STANDARDS), tomando como base el tipo de cabezal y de carcasa.

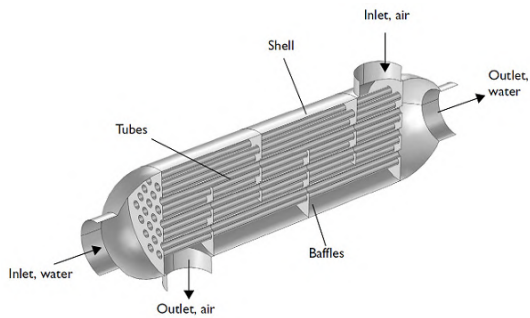


Figura 6.- Intercambiador de carcasa y tubo de un solo paso por ambos [5]

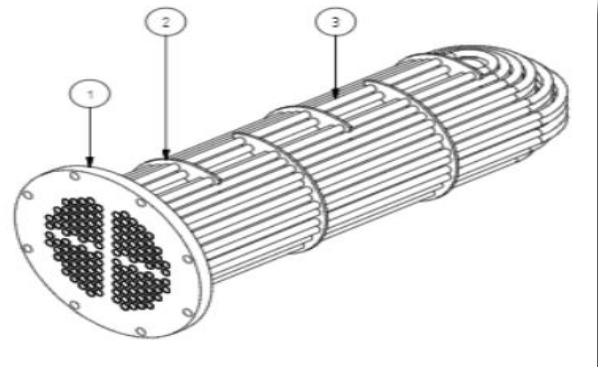


Figura 7.- Haz tubular en U con disposición triangular mostrando 1-placa; 2-deflector o baffle; 3-haz tubular.

Los de tubos concéntricos o de doble tubo, son de aplicación para superficies reducidas, sin cambio de fase y cuando los fluidos están a presiones elevadas.

Los tubos termosifón o caloductos (heat pipes) están sellados en ambos extremos disponiendo en su interior un fluido de intercambio (agua, metanol, freones, etc.) que sufren un proceso cíclico de vaporización en el lado caliente del tubo, desplazándose hacia el lado frío donde se condensa, retornando nuevamente al lado caliente. Suelen disponerse en forma de haz tubular horizontal, con o sin aletas, con una placa divisora exterior para separar las corrientes caliente y fría. El tramo hacia el que circula el fluido vaporizado para condensarse puede disponer una cierta inclinación de 5 o 6 grados para favorecer el retorno del condensado por gravedad hacia el lado caliente. Presentan aplicaciones en refrigeración de equipos electrónicos, acondicionamiento de aire, precalentadores de aire en generadores de calor, etc.

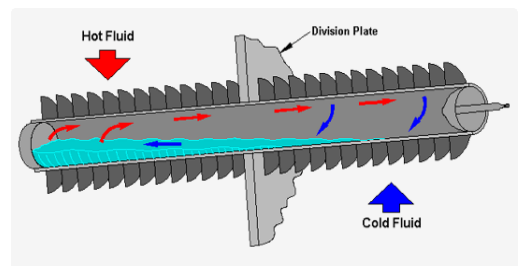


Figura 8. Tubo termosifón en donde se representa la circulación del vapor generado en el lado caliente, hacia el lado frío. Una vez condensado retorna por gravedad hacia el lado caliente [6].

Finalmente, **los intercambiadores de tubos en espiral** presentan numerosas aplicaciones, entre las que destacan la criogenización y la cristalización. Al igual que los intercambiadores compactos, permiten la transferencia de calor entre más de dos corrientes fluidas, lográndose grandes superficies de intercambio cuando se emplean tubos de muy pequeño diámetro.

Como ya se había anticipado, la tarea de establecer una clasificación lo más completa posible implica tener en cuenta criterios muy diversos. No obstante, existen aplicaciones que precisan diseños ad-hoc y que su inclusión en alguna de las categorías indicadas resulta especialmente compleja.

### 3.- BIBLIOGRAFÍA.

[1] JOHN THOMPSON. Superheater performance in dual fired industrial watertube boilers with a comparison of two attemperator technologies. Proc S

Afr Sug Technol Ass (2012) 85: 454 – 473.

[2] <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-deaerator-principio-de-funcionamiento-definicion/>.

[3] <https://www.rotor.lublin.pl/en/research-and-development/rotary-air-preheater-elements/heating-baskets>.

[4] <https://cryogenics-energy.fivesgroup.com/equipment/brazed-heat-exchangers/bahx.html>.

[5] <https://www.comsol.com/blogs/how-model-shell-and-tube-heat-exchanger/>

[6] [http://www.korenergy.co.kr/En\\_template2/heat\\_pipe.html](http://www.korenergy.co.kr/En_template2/heat_pipe.html)

[7] Wilfried Bach et al. Spiral wound heat exchangers for LNG baseload plants. Linde AG, Process Engineering and Contracting Division (Linde)

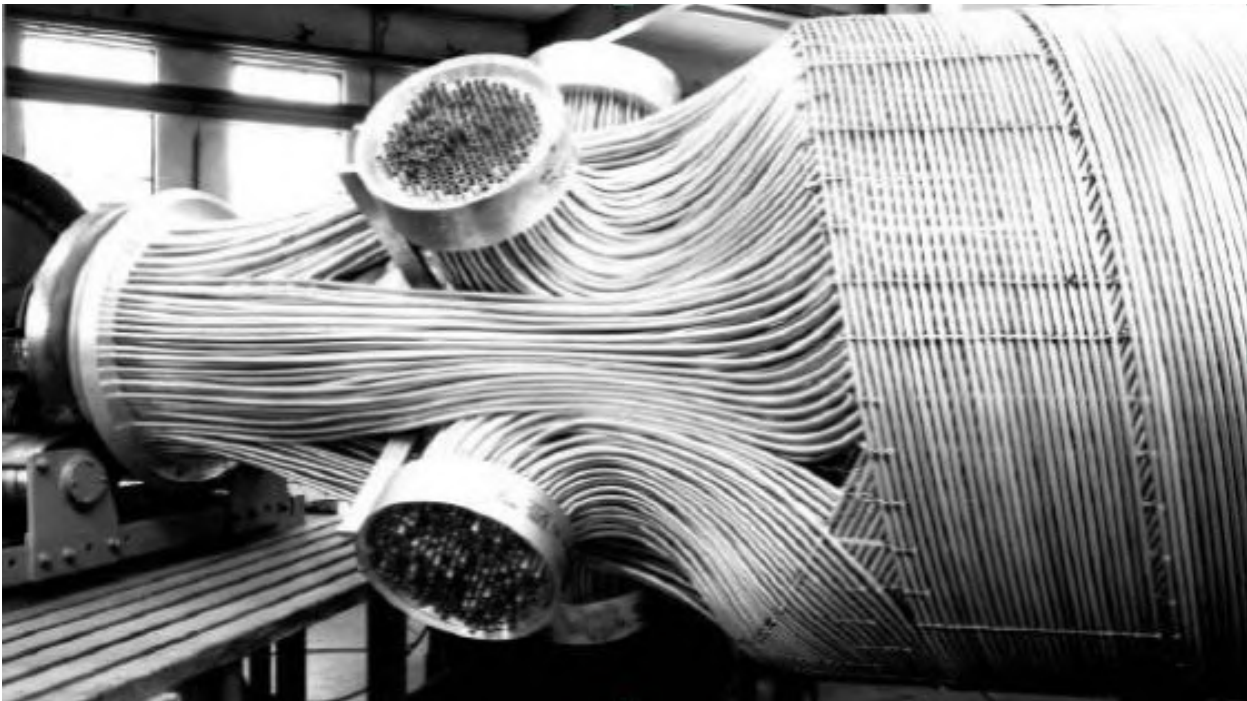


Figura 9. Intercambiador de tubos en espiral Linde para relicuación de GNL [7].



REPARACIONES NÁUTICAS AMURA S.L.



P: **Amura reparaciones náuticas** se crea en 2003, para dar servicio principalmente al sector náutico. En producción utiliza los más novedosos avances tecnológicos y ofrece productos innovadores y vanguardistas para la elaboración de piezas en cualquier tipo de composite (PRFV, Epoxi, Vinilester, etc...) como infusionado, vacío, RTM, etc...

Empieza su actividad como carpintería náutica y, en poco tiempo y ante la satisfacción de los clientes por el trabajo realizado, comienza a dar otro tipo de servicios, llegando el día de hoy realizar piezas y embarcaciones en composite, desde la elaboración del molde y hasta la pieza final, tanto de diseño propio como suministrado por el cliente.

Cándido Da Silva (Director Gral. Reparaciones Náuticas Amura) responde hoy a nuestras preguntas:

• P: ¿Cómo fueron sus inicios?

Comencé como autónomo en el sector naval, tuve una inquietud enorme con el tema de la Náutica desde el principio y decidí formarme. Luego di el salto y es cuando creo la empresa, empezando con trabajos de carpintería, pero siempre con la idea de

dar cobertura y servicio integral a mis clientes, abarcando más trabajos y líneas de actividad. Comenzamos a trabajar con composites, creando moldes y haciendo estructuras, algo que tiene que ver mucho con el oficio de carpintero, también con trabajos de pintura; y poco a poco empecé a contratar y poder ofrecer más servicios como empresa además de la carpintería especializada.

• P: ¿Cuál era el eje de su actividad en aquel momento?

En aquellos momentos centrada en la carpintería y ebanistería. Cambiando tecas, por ejemplo, y con todo tipo de reformas interiores, mantenimientos...

• P: En la actualidad, ¿continúan con la misma actividad o la empresa ha diversificado sus líneas de negocio?

Cubrimos integralmente todos los trabajos que tienen que ver con estructuras en composites, también continuamos con la carpintería para refits, y tenemos un equipo de pintores de total referencia. Hemos pasado de ser carpinteros a ser pintores de yates y megayates, este sería nuestro eje de activi-

dad principal. Nos dimos cuenta del vacío de este tipo de especialistas, decidimos apostar también por esta actividad porque creemos que dadas las características del sector de nuestro entorno habrá oportunidades, que es hacia ahí hacia donde está evolucionando el mercado. Cada día nos solicitan más este tipo de trabajos, muy especializados.

Nos pusimos a formar a nuestro propio personal y dirigirnos hacia esta actividad. Desde comienzos de año hemos comenzado a gestionar un varadero de yates en Vigo (en las instalaciones de Marina Davilasport) con travel hasta 70 Tn, las instalaciones también disponen de una de las pocas cabinas para pintado de yates y/o anexos, tiene 29 mts. De largo x 8 de ancho x 7 de alto, con calefacción programable y extracción.

• P: ¿Cuál ha sido la receta para mantenerse en el mercado siendo viables y competitivos?

Claramente hay una regla básica: lo primero es dar calidad y servicio, no hay otra receta. Por ejemplo, con el servicio, que suele tener mala fama en cuanto a plazos de entrega, cumpliendo estos plazos, siendo muy rigurosos con estas cuestiones...

• P: ¿Cuál es la tipología de clientes de la empresa y de su mercado?, P: ¿Y su mercado?

Nuestros clientes son sobre todo particulares, son el grueso de nuestra clientela. Personas que tienen la náutica como su afición, ya sea deportiva o recreativa. Aunque, también trabajamos para importantes empresas como: SeaDrone, Freire Shipyard...

En cuanto a nuestro mercado: la náutica de recreo y también la náutica profesional.

• P: En un contexto económico donde impera la globalización, ¿sus principales competidores se encuentran en el ámbito local o son foráneos?

En nuestro caso, a nivel reparación, la competencia es local. En cambio, a nivel construcción, es internacional. Por ejemplo, con la construcción de la nueva embarcación UX-R para Titan Yachts, como astillero, la competencia sería a nivel internacional, que es únicamente donde se fabricaban este tipo de barcos. Este tipo de embarcaciones solo se están haciendo en países del norte de Europa, Italia, ... se trata de algo muy particular, enfocada al ocio o como embarcación de apoyo a megayates, totalmente fabricada y personalizada por Amura. Es una embarcación de 9 metros de eslora con dos moto-

res fueraborda de 200 CV un hard top en fibra de carbono, en proa hay un asiento corrido a ambas bandas para 3 personas en cada uno con una mesa y convertible en solárium y un solárium completo en popa, un baño con altura de 190 cm, y en el módulo de Hard top, una nevera adaptada para esta unidad, un grill. Elementos como el pasamanos y la puntera de proa se han hecho específicos con proveedores de nuestra zona. Es un barco hecho íntegramente por nuestra empresa, desde moldes hasta piezas finales, pasando por la colocación de la teca y montajes de elementos. Y contando con empresas de nuestra zona para realización de inox, maderas y montajes eléctricos y electrónicos.

• P: ¿En qué se diferencia Amura de su competencia?

En la especialización, de manera muy clara en cada uno de nuestros departamentos. Tratamos de diferenciarnos con especialización y calidad. Una cosa lleva a la otra de algún modo, al estar tan especializados también estás ofreciendo calidad, tiempos de entrega, calidad de materiales, etc.

• P: ¿Cómo ve el futuro de la construcción y reparación náutica, en lo que respecta a su área de actividad?

Creemos que en nuestra área de especialización en concreto muy bien, con perspectivas de crecimiento. En la construcción la competencia está fuera, franceses e italianos copan el 60% del negocio. Somos optimistas, no hay muchos sitios que puedan sacar la producción que llegó a tener Galicia en embarcaciones de fibra. Aquí funcionó, hay capacidad para ponerse a esos niveles. Por tanto, Galicia tiene futuro porque tenemos capacidad de producir y absorber mercado extranjero; quizás no tenemos tanta capacidad de comercializar, pero sí de producir.

En reparación hay futuro porque vemos que el parque crece, además, creemos que las esloras medias están creciendo. Aquí existe un tremendo desconocimiento de nuestro entorno, de las Rías, no valoramos lo que tenemos, el placer de navegar en una ría... en otros lugares estarían navegando todo el año. Cada vez hay más clientes extranjeros que navegan aquí, hay gente del norte de Europa que prefiere nuestra climatología a la del Mediterráneo, la comida, etc. La promoción turística de Galicia como lugar de navegación es muy poca, no le estamos sacando todo el partido hasta el momento y no existe cultura de la náutica deportiva tan desarrollada como en otros lugares de la Península. Con la posibilidad del alquiler, esto puede cambiar, en otros luga-

res ha funcionado, con precios accesibles se pueden disfrutar de cosas inalcanzables de otro modo.

• P: ¿Ha cambiado mucho su sector desde que iniciaron la actividad? Y en caso afirmativo ¿en qué ha cambiado?

Cuando nosotros empezamos estábamos en pleno boom, época de bonanza económica. De la locura pasamos a la sensatez en 2008, se frenó y vimos como se comenzaron a vender barcos que no se podían mantener. Se vio de forma clara quién podía mantenerse, la Crisis de 2008 seleccionó de alguna manera a la competencia. Fue cuando cerraron varios astilleros, nosotros pudimos organizarnos y conseguir una situación estabilizada. Pasamos del boom que comentaba a una situación más normalizada desde entonces, igual que el parque náutico.

La competencia también es algo muy a tener en cuenta, su evolución, se tiraron los precios, y esto perjudicó a todos, al sector y a sus niveles de calidad, nosotros nos consolidamos gracias a esto, compitiendo por precio, pero sobre todo con calidad.

• P: La utilización de nuevos materiales como los composites ¿en qué medida ha influido en su sector?

Los composites, el poliéster, no son algo nuevo, llevan haciéndose embarcaciones desde los años 70. En la actualidad hay evoluciones en este tipo de materiales y resinas. Ahora, por ejemplo, con las bioreinas, que son el futuro. Queremos ser punta de lanza en estos materiales, estas resinas ecológicas son muy interesantes para los nuevos horizontes. Somos los únicos que trabajamos en Galicia con este tipo de nuevos materiales. En cuestión de moldes somos un referente, en esto no hemos cambiado, aprovechamos toda nuestra experiencia en carpintería para realizar cualquier tipo de molde. Cambia porque ahora hacemos embarcaciones completas, somos astillero. De la reparación pasamos a grandes reformas y ahora a la construcción y personalización integral.

• P: La situación creada por el COVID-19, con la paralización y ralentización de la actividad económica ¿cómo les ha afectado?

A nivel empresa no es algo que nos haya afectado, no lo hemos sufrido demasiado, hemos continuado con una actividad parecida. Al no poderse viajar fallaron clientes extranjeros, pero los nacionales sí que han usado mucho sus barcos. Es una forma muy buena para crear una burbuja propia y poder disfrutar igualmente en unas condiciones inmejorables.

Además, nos han comentado desde empresas del sector que la venta y el alquiler han funcionado muy bien, se ha vendido más que nunca. Sobre todo, el tipo de embarcación más asequible y la posibilidad de charrear.

Además, decidimos comenzar con este nuevo proyecto, como astillero. Para además de diversificar ser capaces de mantener nuestra estructura todo el año. Nuestra plantilla es como una familia, y queríamos poder cubrir los meses de menos carga de trabajo en reparaciones con este tipo de actividad de construcción, para asegurar trabajo todos los meses del año y mantener a nuestros trabajadores. Además de ser un desafío y una motivación para la empresa.

• P: Ahora que según indican las autoridades sanitarias estamos en la senda para recuperar la normalidad ¿qué perspectivas tienen a corto plazo?

A corto plazo estamos centrándonos en generar trabajo para la etapa postcovid. Los clientes han hecho reformas en sus barcos durante toda la época de pandemia, mantenimientos, etc. nuestra preocupación principal era la de ocupar los 6 meses posteriores, llegar a final de año con carga de trabajo, ya que hacia diciembre comienza para nosotros la época de más actividad en reformas, reparaciones, personalizaciones, mantenimientos...

• P: ¿Y a medio y largo plazo?

A nivel internacional, además de lo que comento como astillero, uno de nuestros potenciales es la pintura de barcos. Empastadores y pintores para yates y megayates. Este es nuestro punto más fuerte y hacia donde nos vamos a orientar. Es lo que hace falta, no solo en Galicia, creemos que es hacia donde se dirige el sector, por ejemplo, en Vigo, uno de los motores en este sentido. Apostamos por crear una estructura sólida como empresa para este modelo.

Queremos dar servicio a una demanda que consideramos va a haber, quizás ahora no de manera tan evidente, pero por nuestra parte estamos empujando y apostando para que la haya y se potencie cada vez más, que el contrato se quede en Galicia. Tenemos colaboraciones y acuerdos de trabajo con empresas referente.

Como te comentaba, nuestro trabajo es estacional. Por eso con esta nueva embarcación que hemos creado, diferente, muy orientada a la exportación, vamos a conseguir que nuestro equipo de gente tenga la estabilidad deseada desde agosto a febrero.

## EN ESTE NÚMERO HAN COLABORADO:

---

*Puerto de Ferrol-San Cibrao*



*Detegasa (Grupo Argos)*



*BBVA*



*Sener Ingeniería*



*Carbuos Metálicos*



*The Welding Institute*



*Universidade da Coruña*



*"vadebarcos.net"*



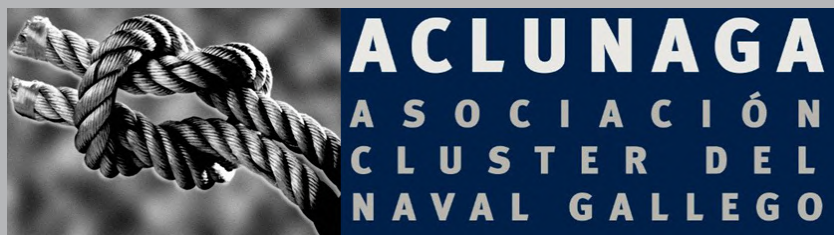
*Amura Reparaciones Náuticas*



*Gefico Enterprise*

**Gefico**





DÓNDE  
ENCONTRARNOS

Página web de ACLUNAGA: [www.aclunaga.es](http://www.aclunaga.es)

Twitter: @aclunaga



Youtube:



LinkedIn:



**SEDE VIGO:** Plaza de Compostela nº19 3ªizquierda 36201 Vigo, Pontevedra

**SEDE FERROL:** Edificio CIS Tecnoloxía e Deseño, A Cabana s/n,  
Desp.1.1-15590 Ferrol, A Coruña

Teléfono: 981 57 83 06

Fax: 986 90 52 83

[aclunaga@aclunaga.es](mailto:aclunaga@aclunaga.es)