INGENIERÍA E INNOVACIÓN

SOLUCIONES TECNOLÓGICAS APLICADAS POR ENSA EN LA SOLDADURA DE LOS SECTORES PS1 Y PS4 DE ITER

DOMINGO LIMA ALMEIDA
ENSA

EL proyecto ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) requiere de la fabricación de grandes y complejos componentes (mecano-soldados). Uno de los principales y más críticos es el VV (*Vacuum Vessel*), clasificado SIC (*safety important class component*), dado que es la primera barrera de confinamiento frente a la radiación, soporte para el confinamiento del plasma y estructura donde se encuentran los sistemas de refrigeración, seguridad , mantenimiento, etc. ENSA, que participa en la fabricación de las secciones PS1 y PS4 (*Port Structures*), ha desarrollado dentro de su programa de I+D novedosos sistemas de fabricación para abordar estos complejos proyectos nunca antes realizados en España, estos sistemas mejoran la productividad y la alta calidad que requiere estos componentes.

INTRODUCCIÓN

El proyecto ITER es un proyecto internacional en el que colaboran 35 países y cuyo principal objetivo es probar la viabilidad comercial de generación de energía por fusión. El punto clave del proyecto es el reactor, un toroide de doble pared de espesor 40/60 mm. fabricado completamente en acero inoxidable 316L grado ITER. Su construcción se ha dividido en nueve partes (sectores), y está repartida entre Italia y Corea del Sur. La altura de estos sectores es de 11,3 metros, con una anchura máxima entre diámetros de 13 metros y un peso de unas 400 Tn. ENSA en este proyecto participa dentro del consorcio italiano realizando las piezas PS1 y PS4.

Para la fabricación de estos dos componentes PS1 y PS4, se han desarrollado diferentes sistemas con el objeto de abordar las configuraciones y retos técnicos que se presentaban en la fabricación de cada uno de los componentes.

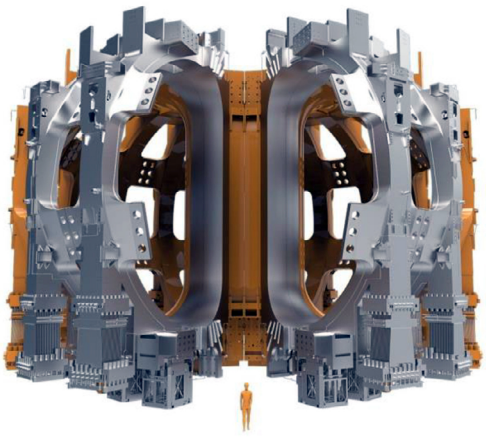

Figura 1. Representación de la cámara de vacío (VV).

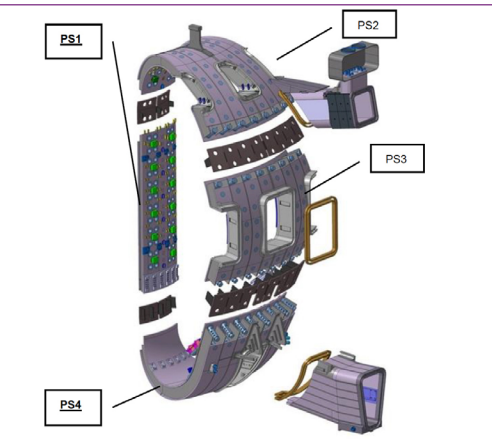

Figura 2. Estructuras en la que se divide cada sector.

FABRICACIÓN DEL PS1 (SOLDADURAS ESPECIALES)

La sección PS1 es el componente central del sector (Figura 2), un tramo recto de 7 m de longitud conformado por un sistema de doble pared altamente rigidizado y por numerosos insertos denominados FH (*Flexible Housing*), que conectan la pared interna y la externa del sector (Figura 4). Estos últimos están soldados en uno de sus extremos por EBW(*Electrón Beam Welding*) (Figura 4) y en el otro de los extremos, tras los mecanizados de precisión y ajuste, se soldará con un proceso de soldadura TIG (*Tungsten Inert Gas*), un espesor de 60 mm, dado que no es factible realizar la soldadura por el proceso EBW.

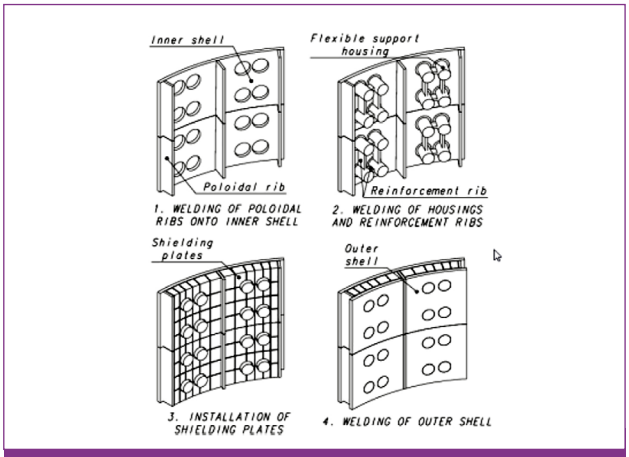

Figura 3. Representación FH en la estructura de un PSx.

Figura 4. FH instalados pro EBW en la cara interior (Inner Shell).

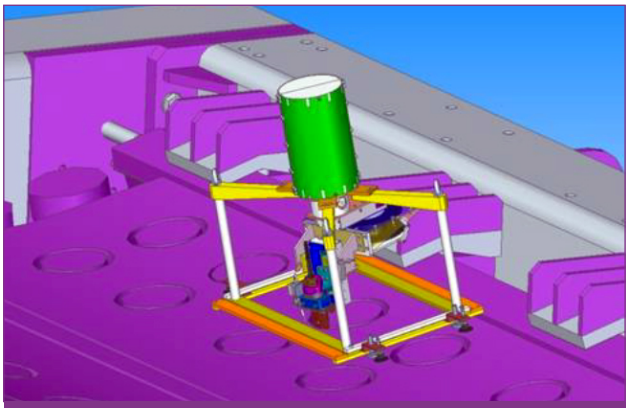

Figura 5. Diseño de equipo de soldeo FH.

Ante este reto, ENSA realizó el diseño y fabricación de un sistema de soldeo específico para poder abordar con seguridad, repetitividad y alta calidad la soldadura de todos lo insertos al *Outer shell* (Figura 3).

Para ello, el equipo formado por el área de Ingeniería de soldadura y el de automática desarrollaron los procedimientos de soldeo y el diseño necesario de las máquinas para utilizarlo en producción con todas las garantías de éxito (Figuras 5 y 6).

Dentro de este mismo componente, se encontró otra oportunidad de mejora; debido a que el componente tiene soldaduras longitudinales de grandes dimensiones (7 m), el reto que se presentaba era diseñar y fabricar un sistema

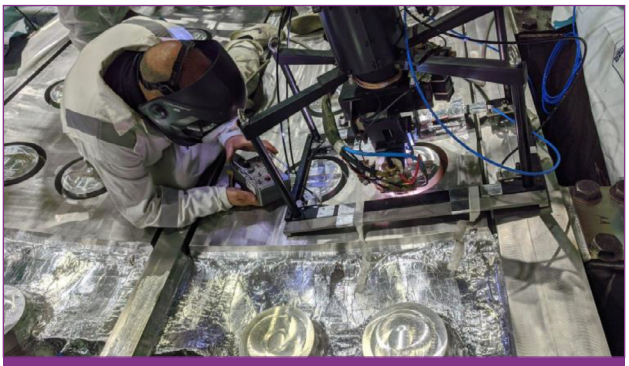

Figura 6. Equipo de soldeo FH operativo.

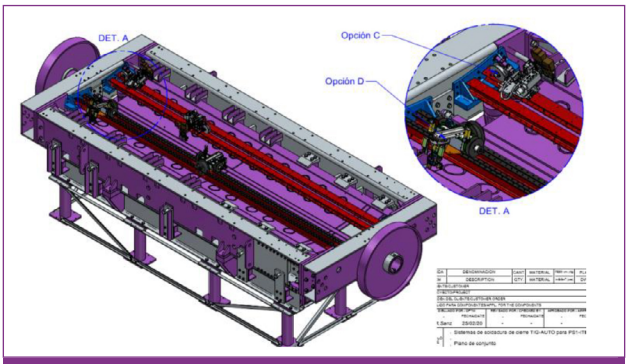

Figura 7. Diseño de equipo de soldeo FH.

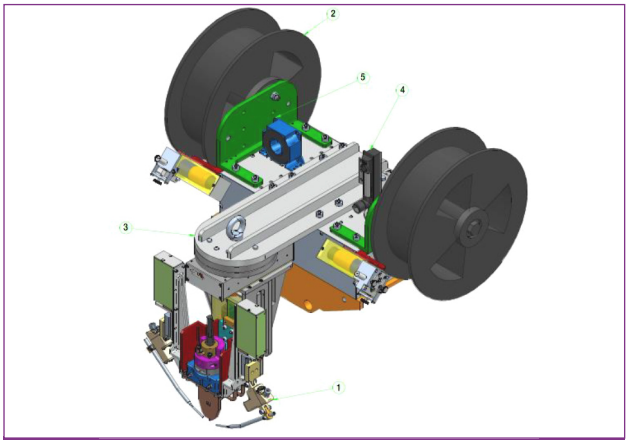

Figura 8. Equipo de soldeo FH.

electromecánico que pudiera realizar estas soldaduras con precisión, calidad y con posibilidad de soldeo bidireccional. Al amparo de un proyecto de I+D se desarrolló este sistema de soldeo (Figuras 7 y 8) y los procedimientos de soldadura correspondientes.

FABRICACIÓN DEL PS4

Este componente PS4 a diferencia del PS1 alberga una variante más que dificulta el proceso de fabricación: el grado de curvatura del componente. Como veíamos en la introducción (Figura 2), el PS4 es una pieza de alta complejidad en mecanizado, montaje, soldadura e inspección, dadas las geometrías y dimensiones del componente, que a medida que se van ensamblando las diferentes partes va alcanzando grandes dimensiones lo que obliga a dotarse de medios y utillajes muy específicos para la ejecución del proyecto (Figura 11).

Para este nuevo reto, los diseños y desarrollos realizados en el PS1 no daban solución al proceso de soldeo de esta

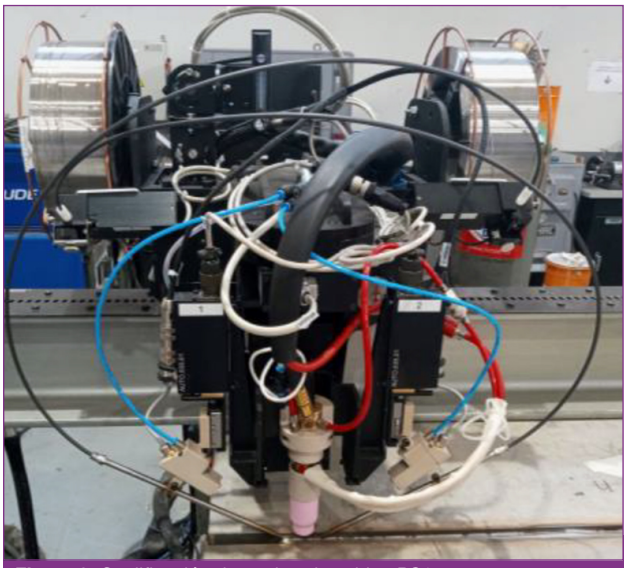

Figura 9. Cualificación de equipo de soldeo PS1.

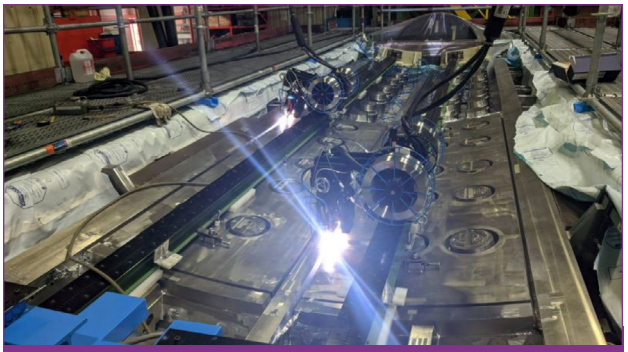

Figura 10. Equipo de soldeo PS1 en operación.

pieza, por lo que ha habido que desarrollar una estrategia mas ambiciosa de desarrollo y aplicar las nuevas tecnologías para llevarlo a cabo.

En este caso mediante la robótica, que como ventaja operativa está la versatilidad que nos da a la hora de abordar este tipo de proyectos de alta complejidad con geometrías complejas. Pero no todo son ventajeas, tiene otros inconvenientes, en especial la complejidad al realizar un proceso de soldeo TIG (*Tungsten Inert Gas*) en su modalidad NG (*Narrow Gap*) multipasada, con trayectorias curvas 3D en el espacio de hasta 6 metros de longitud. Estas condiciones provocan que sea necesario la generación de trayectorias complejas y distintas para cada una de las pasadas de soldadura que realizar el sistema robótico de soldeo.

Este componente PS4 como se ilustra en la Figura 11 a medida que se van ensamblando cada una de las piezas las dimensiones y la complejidad van en aumento, por ello de forma progresiva hemos ido diseñando y mejorando las aplicaciones a medida que estas requerían de nuevas soluciones.

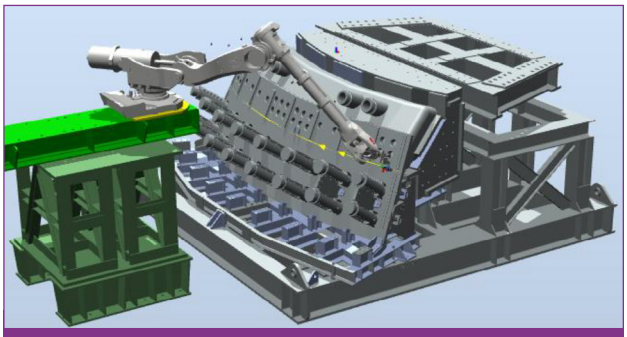

Figura 12. Diseño de aplicación robótica soldeo zonas interiores.

Figura 13. Operación del sistema.

Figura 14. Diseño de aplicación robótica soldeo zonas superiores.

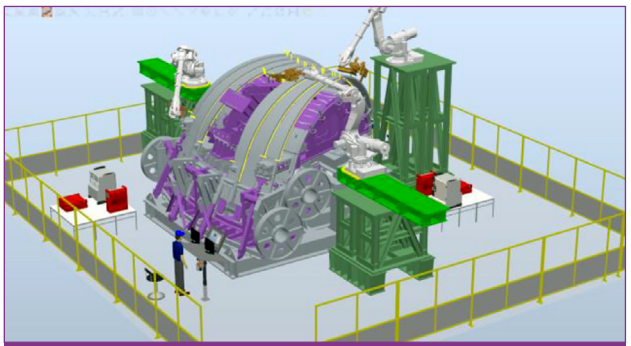

Figura 15. Diseño de aplicación robótica soldeo para las zonas exteriores del PS4.

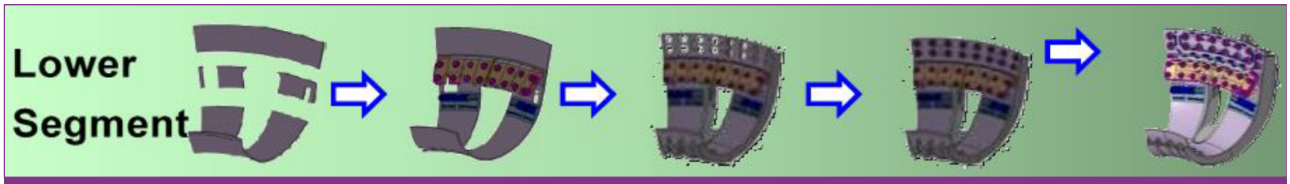

Figura 11. Proceso de ensamblaje del PS4.

Finalmente, dentro de la construcción de esta pieza de gran complejidad se ha planteado y diseñado la soldadura de forma secuencial con tres grandes sistemas robotizados para abordar las soldaduras del ensamblaje final donde hay zonas de soldeo de mas de 4 m con gran dificultad para la realización manual. La disposición final de estos sistemas se puede apreciar en la Figura 15.

CONCLUSIONES

La innovación continua es esencial para la supervivencia de cualquier organización.

Hoy día la robótica se tiene que ver como un elemento diferenciador con altas prestaciones y capacidades en el sector de la fabricación de grandes componentes mecano-soldados, que es esencial para competir en los mercados a nivel global.

Es una evidencia que las principales potencias apuestan por la robotización y esta ha llegado para quedarse incluso en entornos industriales donde hasta no hace muchos años era cuanto menos discutible.

AGRADECIMIENTOS

Cualquier proyecto de innovación no es posible sin las aportaciones de un gran equipo de profesionales y de la experiencia de años de innovación continua.

Por ello resulta obligado mencionar en este apartado a aquellos departamentos de ENSA que han contribuido y contribuyen de forma continua a que los resultados sean los deseados en cada una de las aplicaciones que durante los años se han venido desarrollando.

- Ingenieria, Ingenieria de Soldadura, Calculo, Desarrollo de Negocios, Calidad, Informática, Operaciones, Aprovisionamientos, Laboratorios, Metrología.
- I+D+i

Por último, no me quiero olvidar del personal de Automática que gracias a su experiencia en multitud de ámbitos como la robótica, la programación, el diseño o los montajes electromecánicos han contribuido de manera muy especial a la consecución de los objetivos.

Gracias a todos.

REFERENCIAS

– ITER Organización, Cámara de vacío: http://www.iter.org/mach/vacuumvessel CESOL 1.15 Master Ingeniero de Soldadura.
– IFR (Federación Internacional de Robótica) https://ifr.org.
– ENSA (I+D+i).