

M. Mora-Mendías^a, P. Tabarés-Fernández^a, Gia. Ingenito^b,
Giu. Ingenito^b, G. Caputo^b

^a FIDAMC, Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos, Avda. Rita Levi Montalcini 29, 28906 Getafe, Madrid, España
^b METITALIA, Manufacturing Engineering, Treatments Industries Italia, via Fontane 17 84012 Angri, Salerno, Italia

Innovador utillaje y proceso de fabricación de mamparos de presión para el Demostrador de Fuselaje REG IADP de Leonardo Aircrafts.

RESUMEN

Historia del artículo:

Recibido 23 de Diciembre 2021

En la versión revisada 23 de Diciembre 2021

Aceptado 23 de Diciembre 2021

Accesible online 21 de Enero 2022

Palabras clave:

CFRP

Preimpregnado

Fibra seca

Infusion

AFP

El trabajo actual se ha realizado en el contexto de FUSINBUL, un proyecto europeo enmarcado dentro del programa de investigación CleanSky2 financiado por el Horizonte 2020 de la Unión Europea (Grant Agreement nº 831946).

El alcance de este proyecto consiste en realizar los ensayos estructurales de fuselaje completo, necesarios para certificar el nuevo concepto de fabricación de fuselajes dentro de Green Regional Aircraft.

Se han desarrollado y validado dos procesos avanzados de fabricación de materiales compuestos (proceso de coencolado con material preimpregnado en autoclave y proceso de infusión LRI de fibra seca fuera de autoclave) para lograr innovadores mamparos de presión que se emplearán en los ensayos de tierra del fuselaje de un avión regional.

El diseño del utillaje ha tenido en cuenta las principales necesidades tanto de ambos procesos de fabricación para la realización de los mamparos como de los requerimientos industriales. Además, se han desarrollado y aplicado tecnologías innovadoras para el utillaje, como la colada de aluminio fundido, un sistema robusto y preciso de sellado para unir grandes piezas que no pueden ser fabricadas de una vez garantizando una unión precisa sin espacios o escalones.

Para ambos procesos de fabricación se han utilizado las técnicas más avanzadas de laminación automática reduciendo los costes recurrentes y aumentando el nivel de industrialización en la producción en serie para conseguir mamparos con un diámetro de 3,5 m que garanticen los estándares exigidos en la industria aeronáutica.

Innovative tooling and manufacturing processes for pressure bulkheads of REG IADP Fuselage Demonstrator of Leonardo Aircrafts.

ABSTRACT

Keywords:

CFRP

Preimpregnated

Dry fiber

Infusion

AFP

The current work has been performed in the context of FUSINBUL, an European project framed within CleanSky2 research programme funded by the EU's Horizon 2020 (Grant Agreement nº 831946).

The scope of this project is to accomplish the full barrel demonstrator tests, needed to certify the new conception of fuselage created and manufactured in the Green Regional Aircraft context.

Two advanced manufacturing processes for composites materials (preg prepreg bonding process in autoclave and LRI infusion process out of autoclave) are developed and validated to achieve full scale innovative pressure bulkheads for Regional Aircraft Fuselage barrel on-ground demonstrators.

The design of the tooling has taken into account the main needs of both manufacturing processes to carry out the bulkheads and the industrial requests. In addition to this, innovative tool technologies have been developed and applied, such as cast aluminium by lost foam casting, precise but robust indexing system split and seal system of tool too large to be fabricated one shot, then precisely assembled with no gap or step.

For both manufacturing processes, the most advanced techniques of lay-up are used to reduce labor costs and increase the level of industrialization in serial production to achieve bulkheads with a diameter of 3.5m and the required standards in aeronautical industry.

1 Introducción

En el campo de la aeronáutica, los avances en automatización e industrialización de los procesos productivos son esenciales para permitir obtener grandes piezas reduciendo el tiempo productivo, los costes recurrentes y garantizando la calidad y requerimientos estructurales dentro de esta industria.

Por tanto, la necesidad de buscar alternativas que permitan producir aviones de manera más productiva y con unos menores costes de producción (en resumidas cuentas que permitan una mayor capacidad competitiva y asegurando por encima de todo un mayor respeto al medio ambiente), se hace fundamental.

En particular la implementación de los materiales compuestos para los componentes estructurales es una ventaja principal ya que el uso de la fibra de carbono permite tener una buena relación rigidez/peso, lo que consigue reducir el peso final de las piezas y en consecuencia, disminuye las emisiones de CO₂ de las aeronaves así como el coste operativo durante la vida de la aeronave.

Como consecuencia, los desarrollos en este campo tendrán un impacto importante en el mercado global y en la sociedad al proporcionar procesos de fabricación optimizados que ayuden a lograr altas tasas de producción en fibra de carbono.

Para lograr estos niveles productivos que exige el mercado, el proyecto FULL Scale INnovative pressure BULKheads (FUSINBUL) enmarcado dentro del programa europeo Clean Sky 2 tiene la ambición de representar un paso adelante en la tecnología de los materiales compuesto de fibra de carbono para mejorar los procesos de fabricación, la calidad de las piezas y reducir el consumo de energía de los componentes estructurales.

El consorcio FUSINBUL está formado por FIDAMC (Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos, Madrid, España), Metitalia (Angri SA, Italia) y Sertec, con Leonardo Aircrafts como líder del proyecto. FIDAMC es el coordinador del proyecto y responsable de la fabricación de las piezas de fibra de carbono. Metitalia es el responsable del diseño detallado y fabricación del utillaje así como de las piezas metálicas requeridas en el demostrador. Sertec es el responsable del diseño preliminar y la liberación de los planos para la fabricación del utillaje.

2 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto consiste en realizar los ensayos estructurales de fuselaje completo, necesarios para certificar el nuevo concepto de fabricación de fuselajes dentro de Green Regional Aircraft de la UE.

En particular, en el proyecto FUSINBUL se han desarrollado y validado dos procesos avanzados de fabricación de material compuesto para lograr innovadores mamparos de presión a escala 1:1 que se emplearán en los ensayos de tierra del Demostrador de Fuselaje REG IADP del líder del proyecto Leonardo Aircrafts.

Las tecnologías de fabricación empleadas durante la obtención de los mamparos de presión han sido las siguientes:

- Tecnología con material preimpregnado de fibra de carbono (pregreg CFRP) usando un proceso de coencolado para el curado de la piel y los rigidizadores en autoclave.
- Tecnología con fibra seca de carbono (dry fiber CFRP) usando un proceso de infusión LRI (Liquid Resin Infusion) de la piel y los rigidizadores por separado, fuera de autoclave. Y posterior proceso de ensamblaje para unir la piel y los rigidizadores mediante remaches.

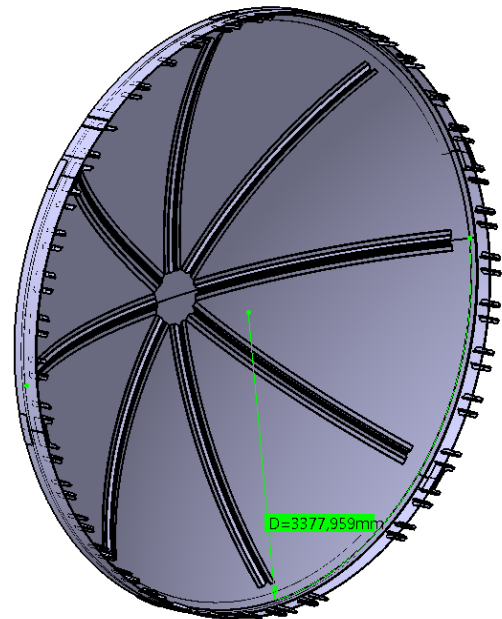


Figura 1. Mamparo de presión del Demostrador de Fuselaje REG IADP.

Para ambos procesos de fabricación se han empleado las técnicas más avanzadas de laminación automática, reduciendo los costes recurrentes y garantizando un alto ratio productivo.

3 Descripción de los trabajos

Para lograr el objetivo de este proyecto, en primer lugar, se han estudiado y analizado los principales requerimientos para desarrollar ambas tecnologías de fabricación anteriormente mencionadas.

Teniendo en cuenta estas necesidades, se ha definido el utillaje y los procesos de fabricación a emplear para obtener los mamparos de presión a escala 1:1 que se integrarán en los ensayos en tierra del Demostrador de Fuselaje REG IADP del líder del proyecto Leonardo Aircrafts.

3.1 Concepto utillaje

Diferentes utillajes han sido necesarios para fabricar los mamparos de presión. El utillaje se ha diseñado pensando en la versatilidad de usarlo para ambos procesos de fabricación



(coencolado de material preimpregnado en autoclave e infusión de resina en fibra seca fuera de autoclave) reduciendo los costes no recurrentes.

Los principales útiles fabricados han sido los siguientes:

- Útil para el curado de los rigidizadores en sección de Ω tanto en material preimpregnado como para la infusión de los rigidizadores de fibra seca.
- Útil de encintado para laminar de forma automática tanto la piel en material preimpregnado como la piel realizada en fibra seca.
- Útil de curado para realizar el proceso de encolado de la piel con los rigidizadores precurados en material preimpregnado en autoclave y la infusión de la piel en fibra seca

3.1.1 Útil curado rigidizadores

El útil se ha diseñado para ser usado en ambas tecnologías y poder fabricar los rigidizadores de ambos mamparos de presión.

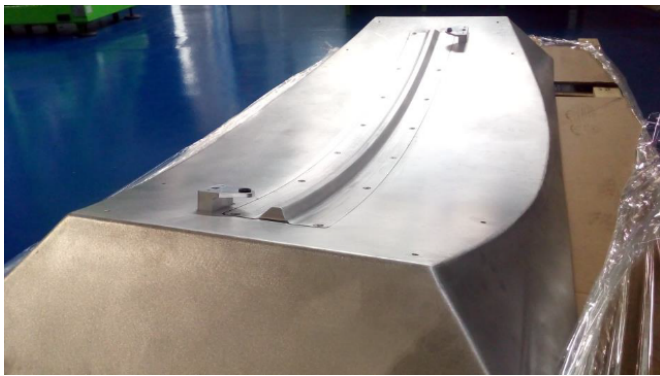


Figura 2. Útil curado rigidizadores.

3.1.2 Útil encintado piel

El útil se ha diseñado para laminar la piel de ambas tecnologías de forma automática mediante una máquina AFP (Automatic Fiber Placement) El diseño está basado en dividir la esfera en dos mitades para poder emplear máquinas de mecanizado de menor tamaño y reducir costes de transporte. Los semicasquetes esféricos se ha realizado mediante una colada de aluminio fundido y la unión del mismo se ha realizado mediante un sistema robusto de sellado.

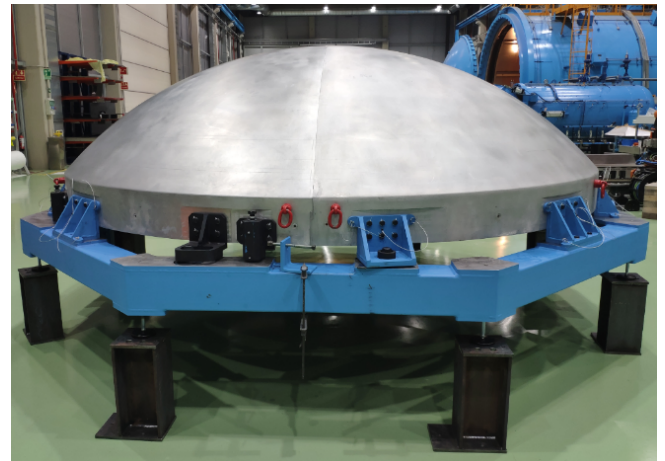
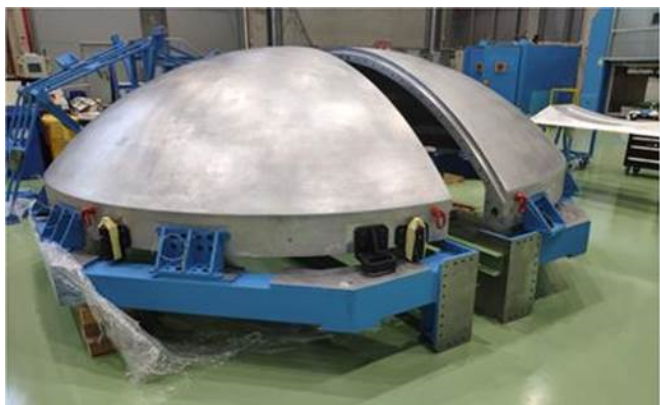


Figura 3. Útil encintado piel.

Además, este útil se ha empleado para fabricar el útil de curado en fibra de carbono.

3.1.3 Útil de curado

El útil se ha fabricado en material compuesto (fibra de carbono) para reducir las dilataciones durante el curado. Para ello, se ha empleado el útil de encintado. Una vez fabricada la cuna en fibra de carbono, se ha posicionado sobre una estructura metálica de soporte.

Este útil se ha empleado también para la fabricación de los mamparos con ambas tecnologías, tanto para el proceso de coencolado de la piel y los rigidizadores precurados en autoclave como para la infusión de la piel en fibra seca



Figura 4. Útil de curado.



3.2 Materiales

Como se ha comentado anteriormente, se han fabricado los mamparos de presión empleando dos tecnologías diferentes.

- Tecnología con material preimpregnado de fibra de carbono (pregreg CFRP) usando un proceso de coencolado en autoclave.
- Tecnología con fibra seca de carbono (dry fiber CFRP) usando un proceso de infusión LRI (Liquid Resin Infusion) fuera de autoclave.

El material preimpregnado usado para este proyecto ha sido fibra de carbono preimpregnada en resina epoxy unidireccional suministrado por el fabricante Solvay. Se han empleado dos tipos de formato de 300mm de ancho para los rigidizadores y 6.4mm de ancho para la laminación de la piel en AFP.

El material usado para la infusión de este proyecto ha sido fibra de carbono seca unidireccional y resina epoxy, ambos suministrados por el fabricante Hexcel. Se han empleado dos tipos de formato de 500mm de ancho para los rigidizadores y 12.7mm de ancho para la laminación de la piel en AFP.

A continuación, se describe el proceso de fabricación para cada tipo de tecnología.

3.3 Proceso de fabricación con material preimpregnado

Para la fabricación de los mamparos de presión en material preimpregnado se ha usado un proceso de encolado en autoclave. En primer lugar, los rigidizadores se curan y entonces, se colocan sobre la piel fresca recién encintada para obtener la pieza final en ese ciclo de coencolado en autoclave.

3.3.1 Fabricación rigidizadores precurados

En primer lugar, el rigidizador con sección de Ω es laminado. Una vez obtenida la preforma, se realiza la bolsa de vacío colocando los materiales auxiliares requeridos sobre el útil de curado de la figura 2 para realizar el ciclo de curado en autoclave. Durante este ciclo se aplica presión, temperatura y vacío para garantizar la correcta extracción de volátiles y evitar defectos en la pieza como porosidades.

Una vez desmoldeada y recantada la pieza final, se realizan la inspecciones para garantizar que se cumplen los requerimientos de calidad. En primer lugar, la inspección por ultrasonidos mediante la técnica de pulso-eco teniendo un umbral y área mínima reportable para determinar las indicaciones a reportar y en segundo lugar un análisis dimensional.



Figura 5. Rigidizador precurado con material preimpregnado

3.3.2 Encintado piel con material preimpregnado

El siguiente paso del proceso de fabricación es el encintado de la piel con fibra de carbono preimpregnada en resina epoxy mediante una máquina de laminación automática de formato de material 6.4mm.

Una vez, terminado el encintado automático, se procede a realizar la transferencia del útil de encintado figura 3 al útil de curado figura 4.

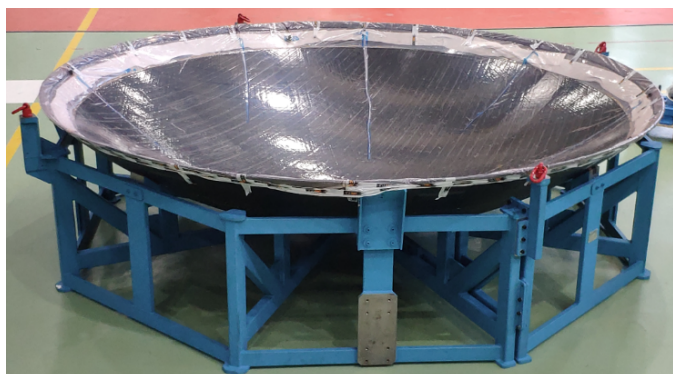
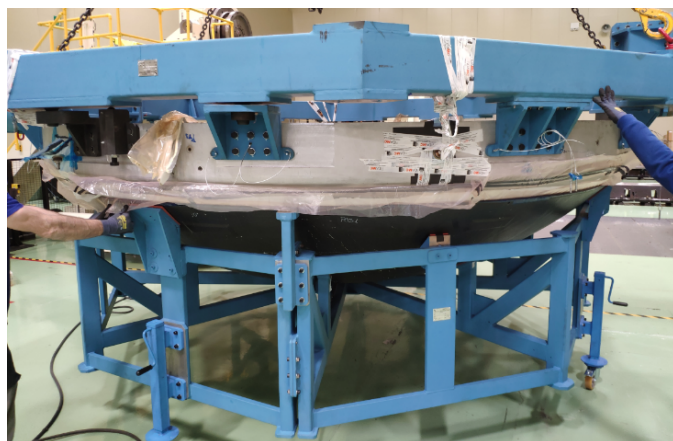


Figura 6. Transferencia de la piel con material preimpregnado.

3.3.3 Coencolado

En paralelo a la transferencia de la piel a la cuna de curado, los rigidizadores precurados son preparados para realizar el proceso de coencolado.

Una vez listos, se colocan sobre la piel fresca en el útil de curado para realizar la bolsa de vacío colocando los materiales auxiliares requeridos.

El ciclo de curado se realiza en el autoclave aplicando presión, temperatura y vacío para garantizar la correcta calidad de la pieza.

A continuación se realiza el desmoldeo así como el recantado y el taladrado. Por último, se realizan las inspecciones dimensionales y por ultrasonidos (pulso eco) para garantizar la calidad de la piel así como la línea de encolado.



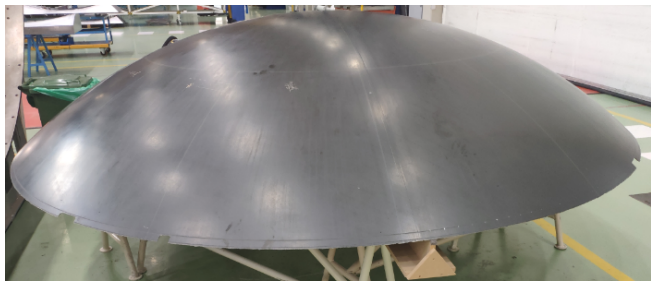
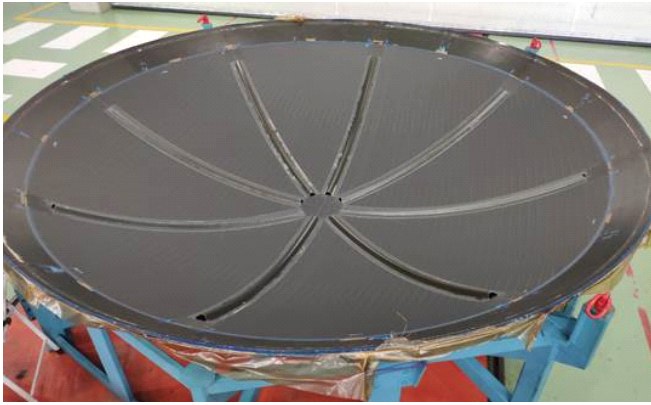


Figura 7. Mamparo de presión con material preimpregnado.

Una vez terminados, los mamparos son enviados para ser integrados en el Demostrador en tierra de Fuselaje REG IADP del líder del proyecto Leonardo Aircrafts.

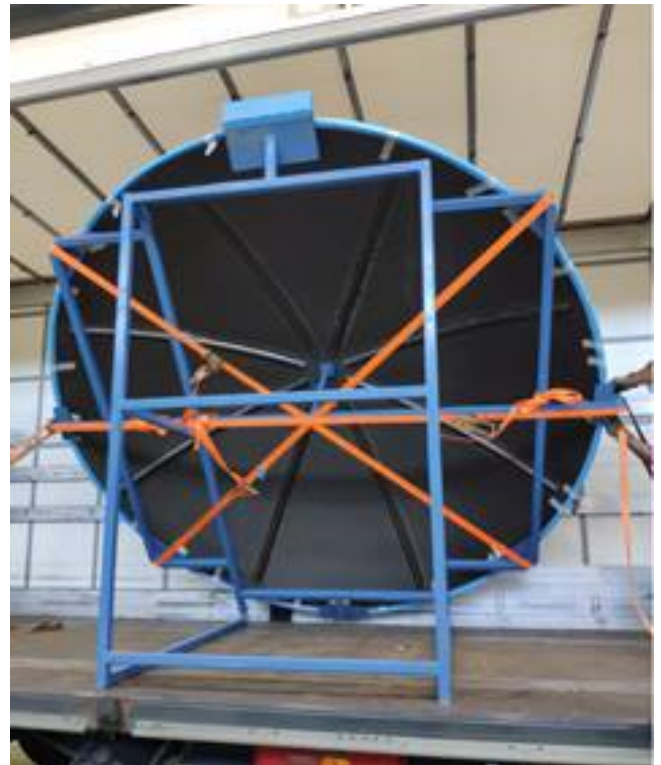


Figura 8. Envío mamparos de presión preimpregnados.

3.4 Proceso de fabricación con fibra seca

Para la fabricación de los mamparos de presión en fibra seca se ha empleado un proceso de infusión fuera de autoclave (LRI). Se realiza el proceso de infusión de cada elemento por separado; rigidizadores y piel. Una vez finalizada la fabricación de cada elemento, se realiza el proceso de ensamblaje para unir la piel y los rigidizadores mediante la instalación húmeda de remaches.



3.4.1 Fabricación rigidizadores por infusión

En primer lugar, el rigidizador con sección de Ω es laminado. Una vez obtenida la preforma, se realiza la bolsa de vacío colocando los materiales auxiliares requeridos sobre el útil de curado de la figura 2 para realizar el ciclo de infusión LRI con resina epoxy en estufa. Durante este ciclo se aplica temperatura y vacío para garantizar la correcta extracción de volátiles y evitar defectos en la pieza como porosidades.

Una vez desmoldeada y recantada la pieza final, se realizan la inspecciones para garantizar que se cumplen los requerimientos de calidad. En primer lugar, la inspección por ultrasonidos mediante la técnica de pulso-eco teniendo un umbral y área mínima reportable para determinar las indicaciones a reportar y en segundo lugar, un análisis dimensional.



Figura 9. Rigidizador fabricado mediante infusión LRI.

3.4.2 Encintado piel con fibra seca

El siguiente paso del proceso de fabricación es el encintado de la piel con fibra de carbono seca mediante una máquina de laminación automática de formato de material 12.7mm.



Figura 10. Encintado automático de fibra seca.

Una vez, terminado el encintado automático, se procede a realizar la transferencia del útil de encintado figura 3 al útil de curado figura 4.

3.4.3 Infusión piel de fibra seca

Una vez realizada la transferencia al útil de curado, se realiza la bolsa de vacío colocando los materiales auxiliares requeridos para el proceso de infusión.

El ciclo de infusión se realiza en la estufa aplicando temperatura y vacío para garantizar la correcta calidad de la pieza.

A continuación, se realiza el desmoldeo así como el recantado y el taladrado. Por último, se realizan las inspecciones

dimensionales y por ultrasonidos (pulso eco) para garantizar la calidad de la piel.



Figura 11. Piel de fibra seca mediante infusión LRI.

3.4.4 Ensamblaje mamparo de fibra seca

Una vez fabricadas las elementales individuales en fibra de carbono, se procede a realizar la unión de los rigidizadores y la piel mediante la instalación de remaches.

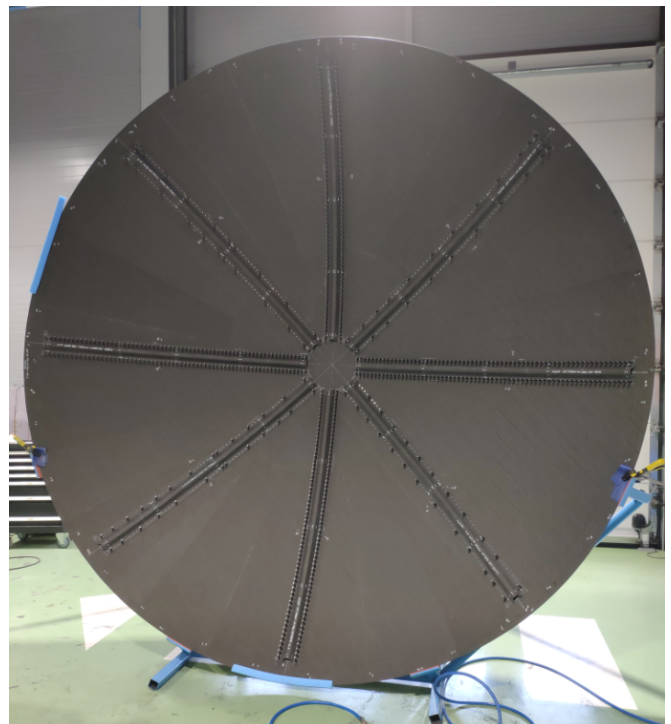


Figura 12. Taladrado mamparo de fibra seca.



En primer lugar, se realiza el pretradrado de las elementales coordinando mediante clekos. Una vez finalizado el taladrado, se procede a preparar la superficie de unión y realizar la instalación húmeda de los remaches.

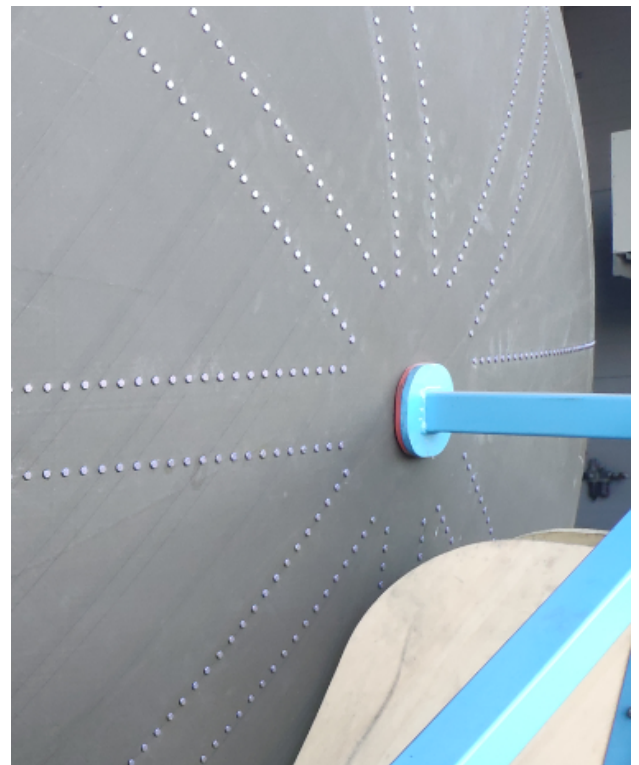
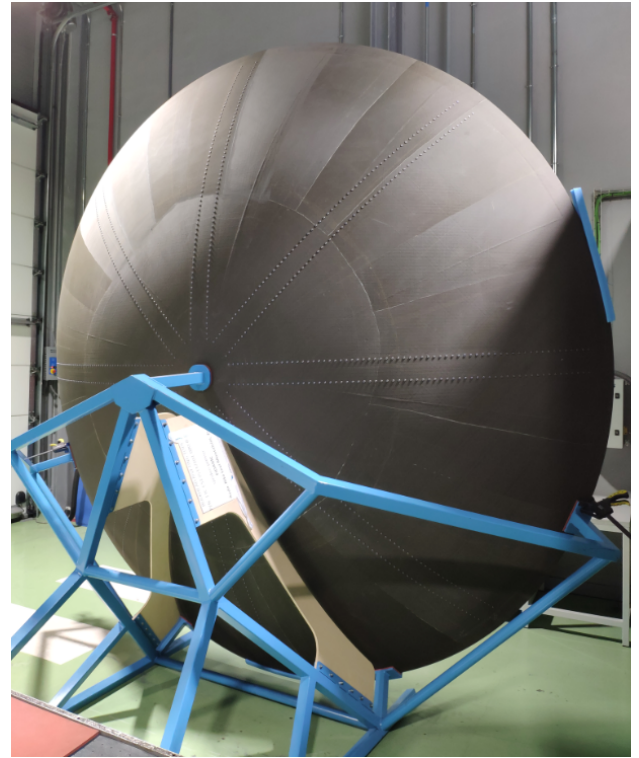
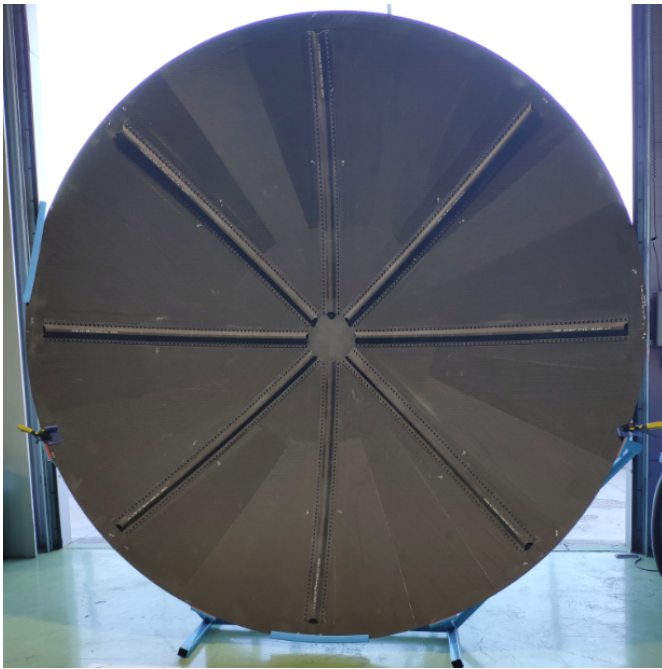


Figura 13. Ensamblaje amparo de fibra seca.

Una vez terminados, los mamparos son enviados para ser integrados en el Demostrador en tierra de Fuselaje REG IADP del líder del proyecto Leonardo Aircrafts.



4 Conclusiones

Los hitos logrados en el proyecto FUSINBUL han permitido desarrollar los innovadores mamparos de presión a escala 1:1 que se emplearán en los ensayos de tierra del Demostrador de Fuselaje REG IADP del líder del proyecto Leonardo Aircrafts, empleando dos tecnologías alternativas de procesos avanzados de fabricación automáticos (para fibra de carbono preimpregnada y para la infusión de fibra de carbono seca)

Por tanto, con estos logros se ha alcanzado el objetivo principal de realizar los ensayos estructurales que validarán el nuevo concepto de fabricación de fuselajes dentro de Green Regional Aircraft del marco europeo.

Por último, estos desarrollos han permitido evolucionar la tecnología de fabricación en materiales compuestos, dando un paso adelante en la aplicación a escala industrial de producción en serie.

Agradecimientos

Agradecer la financiación recibida para poder desarrollar este proyecto a través del programa de investigación e innovación Clean Sky 2 de la Unión Europea Horizon 2020 bajo la subvención Grant Agreement nº 831946.

Agradecer la colaboración y liderazgo de Leonardo Aircrafts que ha permitido el desarrollo del proyecto a través del soporte continuo, la comprensión y el trabajo en equipo para superar los desafíos acontecidos en el avance de un proyecto de estas características.

Igualmente agradecer a todo el equipo del consorcio Fusinbul la implicación y dedicación mostrada en el proyecto durante estos años de trabajo.

