

## FABRICACIÓN DE GAJOS PARA TANQUES ESTRUCTURALES DE PRIMERA ETAPA PARA LANZADOR TRONADOR II

D. Maenza<sup>a</sup>, S. Maciel<sup>a</sup>, C. Oliva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> FAdE S.A. Fábrica Argentina de Aviones, División Ingeniería de Fabricación, Córdoba, Argentina.  
Email: maenzad@fadeasa.com.ar

### RESUMEN

*En el año 2015, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Plata se contactó con nuestra empresa solicitándonos la factibilidad de fabricación de gajos de casquete semi elíptico, en nuestras instalaciones con el proceso de Strech Forming, ya que FAdE posee una máquina para tal fin, única de ese tipo en Argentina. Los trabajos fueron concluidos a través de la empresa Veng en el 2022.*

*Estos casquetes serían soldados para construir tanques de combustible, para el proyecto Tronador II. El Strech Forming (conformado por estirado) es un proceso de conformado de chapas de metal que simultáneamente estira y dobla el material sobre una geometría mecanizada, llamada matriz o molde de estirado. Los moldes suelen ser metálicos y terminados por mecanizado, para formar una pieza con uno o varios radios de curvatura diferentes. Este proceso produce piezas perfectamente curvadas con contornos suaves y sin arrugas.*

**Palabras clave: stretch forming, conformado, solubilizado, envejecido en caliente, contorneado.**

### INTRODUCCIÓN

La información enviada por el cliente consistió en planos de las piezas a conformar con sus respectivas dimensiones, aleación y estado del material a proveer, como así también el estado final del material. Para alcanzar resultados óptimos del proceso de Strech Forming (conformado por estirado), es necesario realizarle al material diferentes tratamientos térmicos (recocido, solubilizado, envejecido en caliente), para alcanzar las propiedades mecánicas requeridas en diseño; siempre teniendo en cuenta que para la industria aeronáutica, el material por excelencia son las aleaciones de aluminio.

### METODOLOGÍA

#### REQUISITOS TÉCNICOS

El material y estado solicitado por el cliente para la fabricación de gajos fue el aluminio 2219 en estado T6, con un espesor con espesores de 2,4 mm a 3,2 mm.

En la **figura 1** se presentan los planos de los gajos con sus respectivas dimensiones y tolerancias.

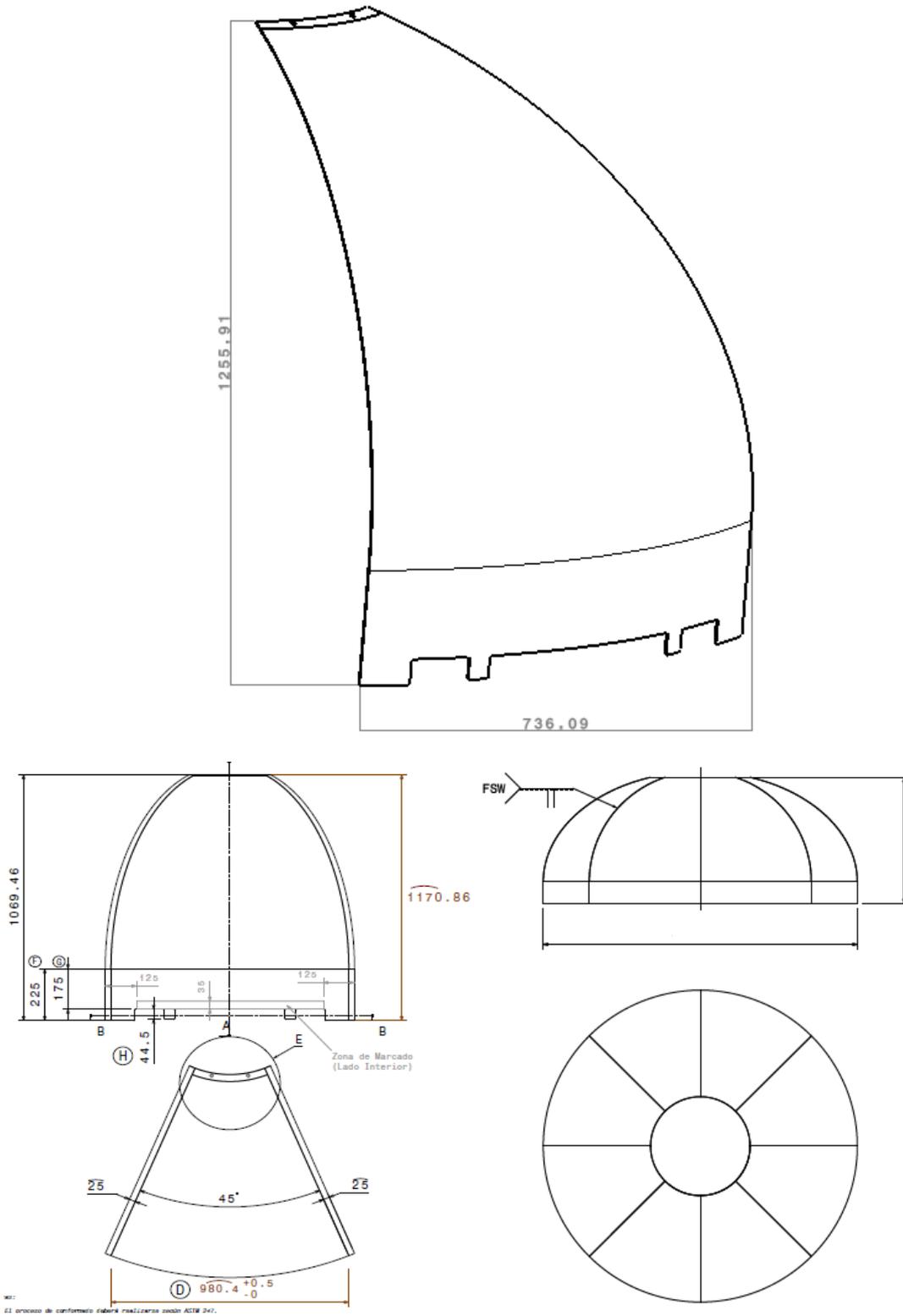
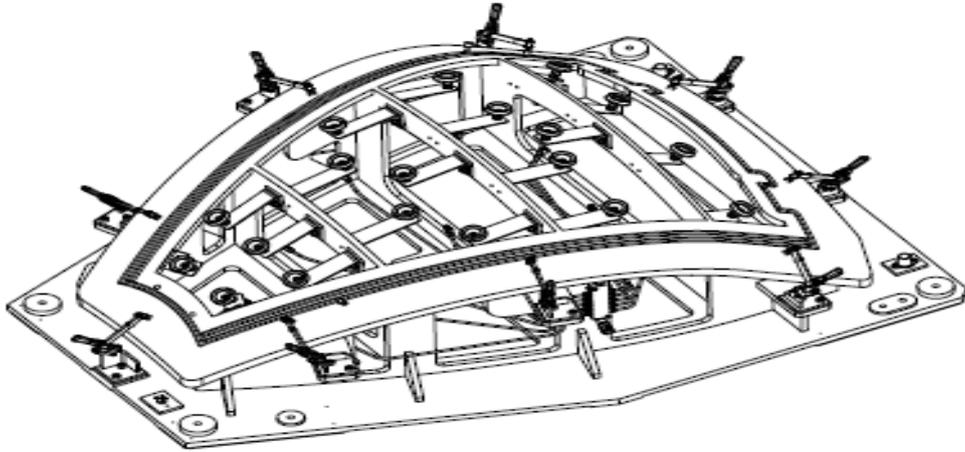


Figura 1. Planos y dimensiones de gajos conformados.

## FABRICACIÓN DE UTILLAJES

Con los datos y requisitos técnicos recibidos se desarrollaron especificaciones técnicas para tercerizar el diseño y fabricación de herramientas necesarios para la producción de los gajos (utillaje de estirado y de contorneado).

El molde de estirado fue fabricado en fundición gris y el de contorneado en fundición de aluminio, ver **figura 2**.



**Figura 2.** Utillaje de contorneado CNC.

### TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO TOTAL

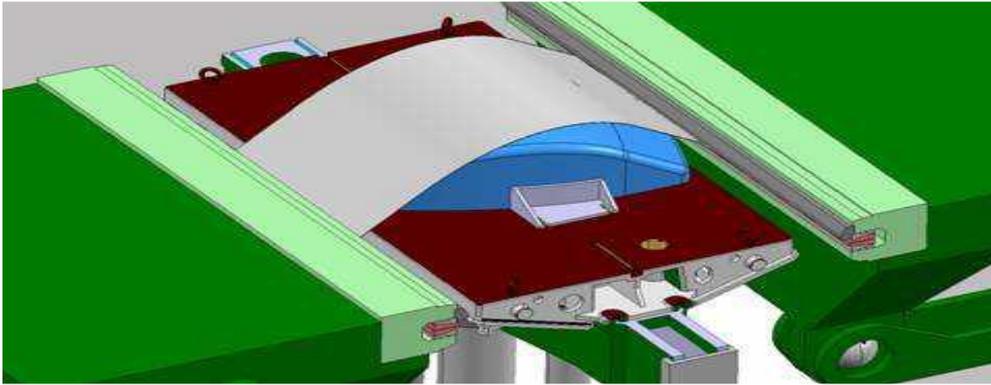
El material suministrado por el cliente fue aluminio 2219 en estado T851, en dicho estado el material no es factible de conformar sin que sufra grietas y fisuras con la consiguiente rotura del material. Para poder ser conformada la pieza se realizó un tratamiento térmico de recocido total para obtener el material en estado “O”, el cual adquiere una mayor ductibilidad y así poder lograr la forma solicitada ya que la misma es compleja al poseer doble curvatura. En la **figura 3** se muestra la disposición de las chapas de aluminio 2219 en estado T851 en el canasto del horno de aire circulante previo al tratamiento térmico de recocido total.



**Figura 3.** Disposición de chapas de aluminio 2219-T851 previo a recocido total.

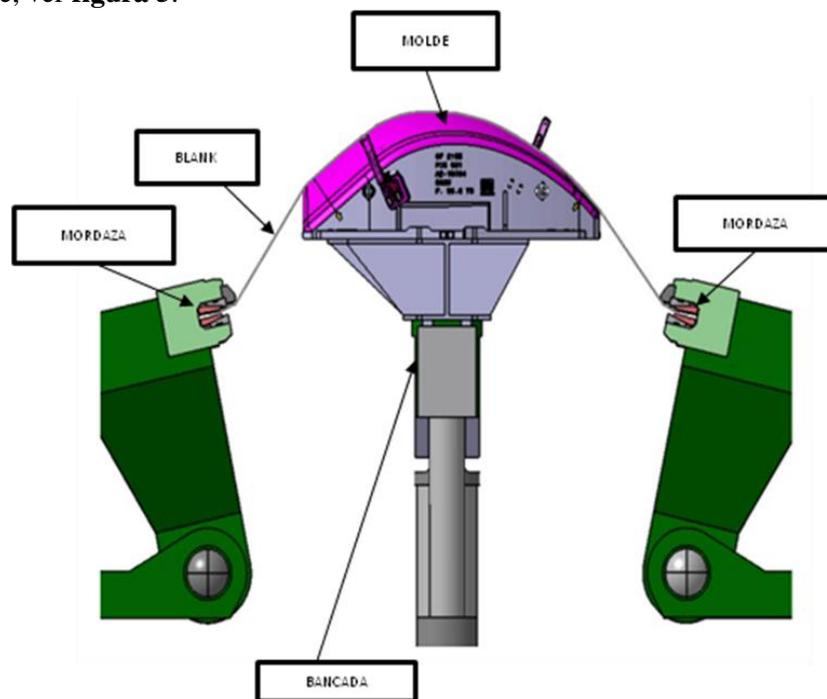
### STRECH FORMING (CONFORMADO POR ESTIRADO) – TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO PARCIAL

Para realizar el proceso de stretch forming (conformado por estirado) primero se coloca el molde sobre la bancada, se limpia y se coloca aceite lubricante sobre la superficie de contacto para lograr un mejor deslizamiento del material en el molde (reducción del coeficiente de rozamiento), luego se coloca sobre el molde el corte de la chapa (blank) y se sujeta con las mordazas laterales, ver **figura 4**.



**Figura 4.** Disposición de corte de material (chapa) sobre molde.

En la siguiente operación se estira el material con dichas mordazas, quienes pivotean sobre su eje ejerciendo una fuerza determinada (fuerza de tracción). A la vez que sucede esto, la bancada que tiene el molde se eleva, generando una presión vertical hacia arriba, hasta que la chapa logre copiar toda la forma del molde, ver **figura 5**.



**Figura 5.** Estiramiento del material (chapa) sobre el molde.

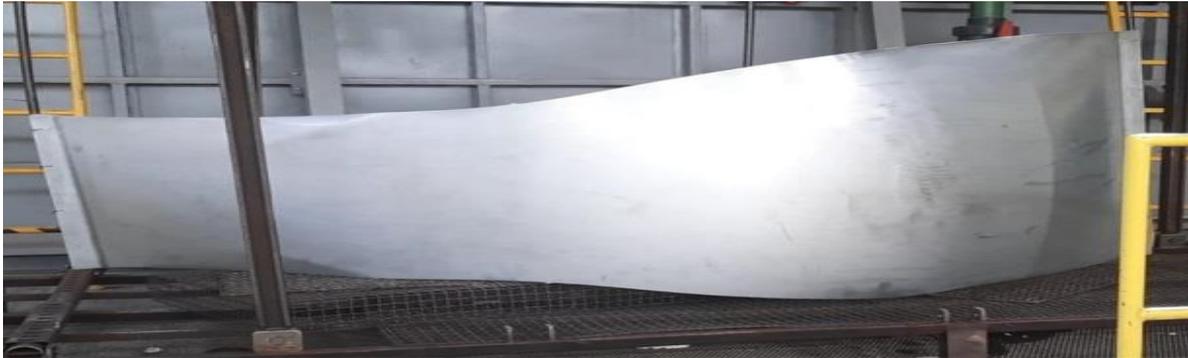
La máquina conformadora posee una presión máxima de 250 Tn, la presión utilizada en el conformado fue de 120 Tn por estirado, con un porcentaje de estiramiento máximo de 3 % por estirado.

El proceso de stretch forming se realiza en varios pasos hasta lograr la forma final de la pieza intercalando en cada paso con el tratamiento térmico de recocido parcial, el cual le confiere al material una ductibilidad parcial que tiene como efecto eliminar el endurecimiento por acritud de la pieza y lograr el conformado sin fisuras ni grietas.

### **STRECH FORMING (CONFORMADO POR ESTIRADO) – TRATAMIENTO TÉRMICO DE SOLUBILIZADO**

Una vez lograda la forma final de la pieza, se debe realizar el tratamiento térmico de solubilizado que consiste en calentar la pieza a elevada temperatura y enfriar bruscamente en agua. En la **figura 6** se

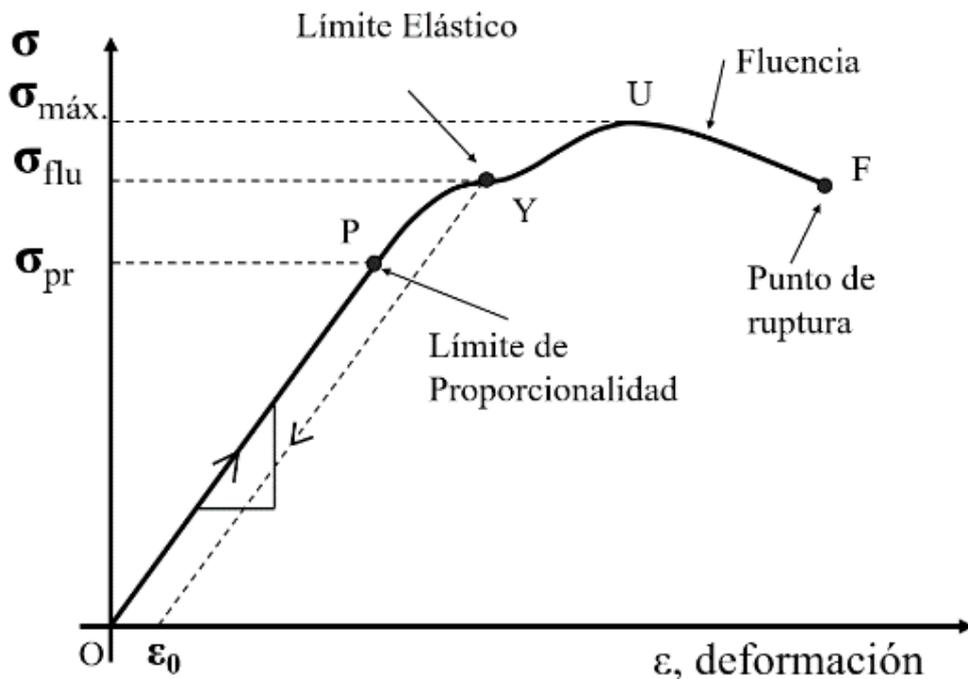
muestra la disposición de una pieza conformada en el canasto del horno de aire circulante previo al tratamiento térmico de solubilizado.



**Figura 6.** Disposición de pieza conformada previo a tratamiento térmico de solubilizado.

Luego del tratamiento térmico de solubilizado la pieza debe ser colocada nuevamente en el molde y ser conformada para calibrar la forma final de la misma, en esta etapa la pieza está en un estado intermedio denominado condición "W".

Se repite el proceso de conformado hasta que la chapa logre nuevamente copiar toda la forma del molde. Este "copiado de la forma" se traduce en haber superado el límite elástico de la curva tensión-deformación, ver **figura 7**.



**Figura 7.** Curva tensión - deformación.

El proceso de conformado por estirado con el material solubilizado (condición W) presenta una gran ventaja respecto de otros procesos de conformado convencionales ya que cuando se realiza adecuadamente y con el rango de deformación plástica adecuado, permite eliminar completamente los efectos del springback (la pieza no presenta recuperación elástica al retirarla del molde a la vez que el nivel de tensiones residuales es muy bajo) y aumentar su resistencia mecánica. Estas condiciones permiten que luego del conformado se realicen procesos de contorneado ó fresados químicos sin alteraciones geométricas.

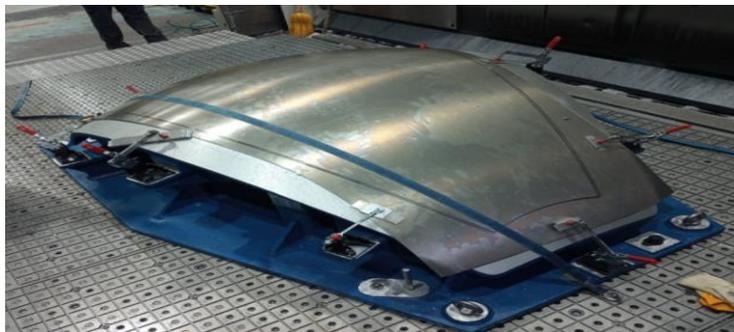
## PROCESO DE CONTORNEADO POR CNC

Para el proceso de contorneado se utilizó una máquina CNC de 5 ejes continuos de 24.000 RPM y un avance máximo en vacío de 30.000 mm/min.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Se coloca el utillaje en la máquina en la ubicación específica.
- Se alinea el dispositivo con los ejes de la máquina y se toma el lugar de referencia (Cero Programa) en una espina sobre el utillaje.
- Se abren los clamps o sujeciones y se coloca la chapa de acuerdo a su forma y localizada con 2 espinas laterales que se generaron al estirar la chapa.
- Se cierran los clamps, se conecta el circuito de vacío y a su vez para garantizar aun más el proceso se zuncha la chapa por los laterales de la misma.
- Para el mecanizado se utilizaran 3 herramientas de metal duro integral para tener un mejor acabado superficial y garantizar las tolerancias del cliente

En la **figura 8** se muestra la disposición de la pieza conformada en el utillaje de contorneado.



**Figura 8.** Disposición de pieza en utillaje de contorneado por CNC.

## TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENVEJECIDO EN CALIENTE

Como se indicó el material suministrado por el cliente fue aluminio 2219 en estado T851, pero el requisito final de la pieza debía ser en estado T6.

Para lo cual primero se realizó el tratamiento térmico de recocido para lograr eliminar el estado T851 y a su vez obtener máxima ductibilidad del material para poder conformarlo en estado "O".

Luego de pasar por tratamiento térmico de solubilizado el material quedó en estado T42, el cual para llegar al estado T6 se sometió al tratamiento térmico de envejecido en caliente para suministrarle a la pieza la resistencia mecánica necesaria. En la **figura 9** se muestra la disposición de piezas.



**Figura 9.** Disposición de piezas conformadas y contorneadas previas a tratamiento térmico de envejecido en caliente.

En **Tabla 1** se indican los parámetros de los tratamientos térmicos utilizados en las diferentes etapas en todo el proceso de conformado.

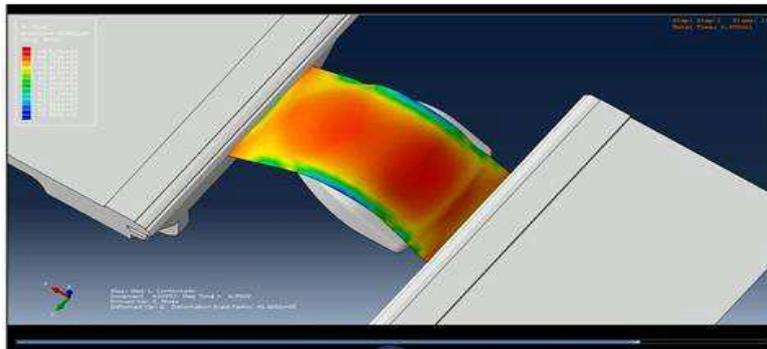
**Tabla 1.** Parámetros de tratamientos térmicos.

Tratamiento térmico	Temperatura [°C] ± 5	Tiempo [horas]	Estado intermedio	Estado final
Recocido total	415	2	-	O
Recocido Parcial	340	1	-	O
Solubilizado	545	0,5	Condición W	T42
Envejecido en caliente	191	36	-	T6

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ETAPA 1 (ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD)

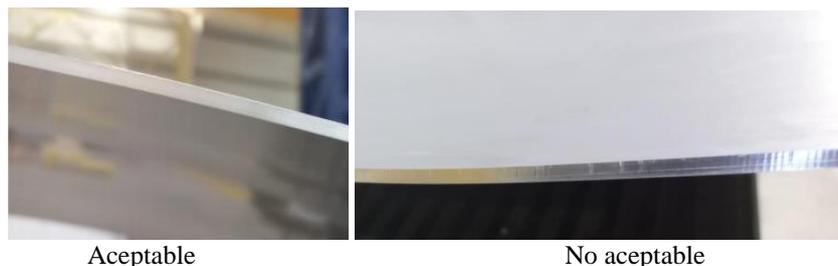
Una vez que se conto con toda la información sobre las necesidades del producto final, se analizó la fabricación a través de stretch forming, en esta etapa se observó adelgazamiento y concentración "regiones de mayor curvatura". De este análisis surge que a pesar de las líneas de formas pronunciadas en varios sentidos y de la disminución de espesor, era factible la fabricación según lo especificado por el cliente. Para el análisis del proceso de conformado por estirado fue empleado el software Abaqus PAM-STAMP, fue ahí a donde se terminó de definir en acuerdo con el cliente la Especificación Técnica del producto, ver **figura 10**. Se iniciaron una serie de pruebas con el material propuesto y con formas lo más cercanas posible a la geometría pretendida y obtenida por el mismo proceso de manufactura. Una vez hallados los resultados esperados y valuada como exitosa esta etapa, se pasó a la siguiente.

**Figura 10.** Imagen de software Abaqus PAM-STAMP.

### ETAPA 2 DESARROLLO DE HERRAMENTAL

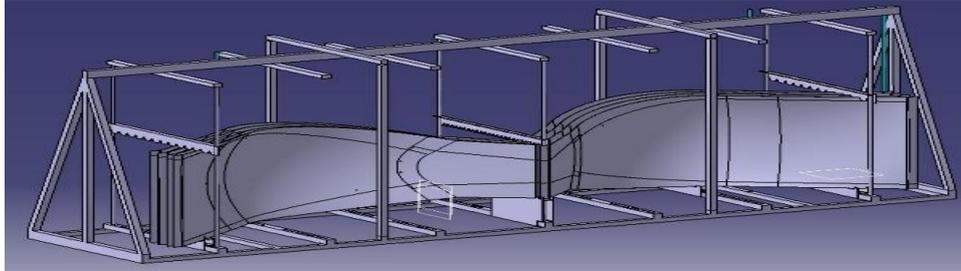
Desarrollo del herramental, se realizaron especificaciones técnicas de cada utillaje (estampado y contorneado), según los requerimientos del producto.

Esta etapa 2 del proyecto se consideró cerrada una vez concluida la producción del primer lote de "try out", que constaba de C/U 10 piezas, que deberían ser sometidas a todos los controles, así como finalmente la prueba en la integración, en instalaciones del cliente. En la **figura 11** se observan las condiciones aceptable y no aceptable en el proceso de contorneado por CNC.

**Figura 11.** Criterios de aceptación de contorneado por CNC.

### ETAPA 3

Producción seriada de 30 gajos, enviados al cliente en lotes de 10 unidades. Debido al volumen y tamaño de las piezas, se decidió diseñar y fabricar facilidades para los traslados internos y modificaciones en el canasto del horno de tratamientos térmicos. Para lograr realizar el proceso de recocido a varias piezas en forma simultánea. Inicialmente cabían de a 2 piezas, pasando luego de la modificación a procesar en lotes de a 10 piezas, reduciendo considerablemente los tiempos en esta operación, ver **figura 12**.



**Figura 12.** Modificación de canasto de horno de tratamientos térmicos.

En la **figura 13** se muestra el plano y disposición final de los c/u 8 gajos soldados por fricción entre sí para formar un casquete para el tanque de combustible.



**Figura 13.** Disposición final de c/u 8 gajos soldados por fricción.

### CONCLUSIONES

El proceso de conformado por estirado, es un proceso de elevado costo, que implica maquinarias poco usuales, herramientas costosas y específicos para cada pieza a procesar, siempre existiendo la posibilidad de encontrar defectos clásicos de este proceso (arrugas, líneas de luders).

A pesar de dichas dificultades se ajustaron los parámetros en cada etapa del proceso de pruebas de conformado logrando fabricar y entregar 40 gajos y poner a punto el proceso para fabricar en serie la cantidad que requiriese el cliente.

### REFERENCIAS

1. Norma ANSI H35.2-2017: American National Standard Dimensional Tolerances for Aluminum Mill Products (2017).