

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

RTM

Resin Transfer Molding process

AUTOR/ES: Schiele, Marcos Geraldo (Leg. N° 50131)

Laborda, Martin Javier (Leg. N° 52254)

DOCENTE/S TITULAR/ES O TUTOR/ES: Chiacchiarelli, Leonel M.



Instituto Tecnológico
de Buenos Aires

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

*RESIN TRANSFER MOLDING PROCESS
– RTM –*

AUTORES:

LABORDA, MARTIN JAVIER - 52254 -

SCHIELE, MARCOS GERALDO - 50131 -

TUTOR:

CHIACCHIARELLI, LEONEL M.

1. INDICE

1. INDICE.....	1
2. RESUMEN.....	2
3. INTRODUCCION.....	3
3.1. RTM de pistones alternativos:.....	9
3.2. RTM de tanque a presión:	13
3.3. Diseño del molde:	15
3.4. Estructura de soporte:	19
4. FABRICACION DEL EQUIPO	20
5. PUESTA A PUNTO DE EQUIPO	24
6. CONCLUSIONES	27
7. REFERENCIAS	28
8. LISTADO DE MATERIALES	29
9. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	30
9.1. Molde.....	30
9.2. Sistema de Inyección.....	31
9.3. Estructura Soporte.....	31
10. ANEXOS	32
10.1. Calculo de presión de tanque a 5 bar.....	32
10.2. Calculo resistencia bulón de tanque.....	34
10.3. Calculo resistencia varillas roscadas de bastidor	38
10.4. Calculo espesor de Brida	39
10.5. Selecion de O’Ring en Tapa de Tanque	41
10.6. Calculo de resistencia del molde (FEA)	42
10.7. Condiciones de fresado	47
10.8. Códigos G - Fresado	49
10.9. Esquema de procesos constructivos	55
10.10. Planos constructivos	57

2. RESUMEN

El presente informe abarca el diseño y fabricación de un equipo de moldeo por transferencia de resina (RTM) para la fabricación de placas de material compuesto. El objetivo primordial fue conocer las variantes de diseño y proponer un equipo capaz de obtener paneles de pequeño tamaño de una manera práctica, sencilla y especialmente económica con repetitividad, alta velocidad y un abanico grande de ajustes, permitiendo así al usuario conceptualizar el material que requiere o estudiar la variación de los resultados en base a las distintas variables.

Para ello se estudia el marco teórico apropiado, las distintas consideraciones tenidas en cuenta a la hora de fabricar la máquina y se hace una aproximación a las condiciones de funcionamiento de cada pieza. El hecho de contar con un vidrio en la cara superior de la matriz conlleva a una disminución en las presiones máximas admisibles por el equipo durante la inyección, pero fue pensado para permitir medir y registrar el progreso del frente de avance.

Luego de finalizar la etapa de diseño, se verifica el conjunto mediante un análisis de elementos finitos, con el objetivo de corroborar la fiabilidad del conjunto y las tolerancias definidas para el espesor de la placa de material compuesto. Es crítico que la estructura no experimente un desplazamiento excesivo para obtener una pieza con dimensiones planas.

El diseño del conjunto está pensado con el objetivo de estudiar la influencia de los múltiples parámetros intervinientes, permitiendo al usuario variar temperatura, presión de inyección, espesor y tipo de inyección (lineal o radial), entre otros parámetros.

Con todos los criterios de diseño definidos y una vez corroborados los modelos computacionales, se pudo comenzar con la etapa de fabricación. La misma se dividió en tres (3) áreas principales:

- Molde
- Tanque de Resina
- Estructura Soporte

En primer lugar, se elaboró un presupuesto y una lista de necesidad de materiales para la fabricación de los componentes. Se programó el código G tanto para el fresado de las placas de aluminio como de acero, se definieron los procesos de fabricación para las distintas piezas y se fabricaron en el CIDIM (ITBA).

Una vez montados los componentes del equipo, se realizó la puesta a punto de este en vacío, haciendo dos ensayos de inyección en distintas condiciones cuyos resultados son comentados al final del presente informe.

3. INTRODUCCION

Las propiedades finales de un material compuesto dependen no solo de la selección de la matriz y las fibras, sino también del proceso de manufactura por el cual se fabrican.

Como se puede ver en la *figura A*, existe una gran variedad de tecnologías de fabricación de materiales compuestos, los cuales pueden realizarse en forma manual o automática. Cada uno de estos procesos tienen un rendimiento distinto dependiendo del volumen de producción, ocasionando así un rango de actuación o producción recomendado.

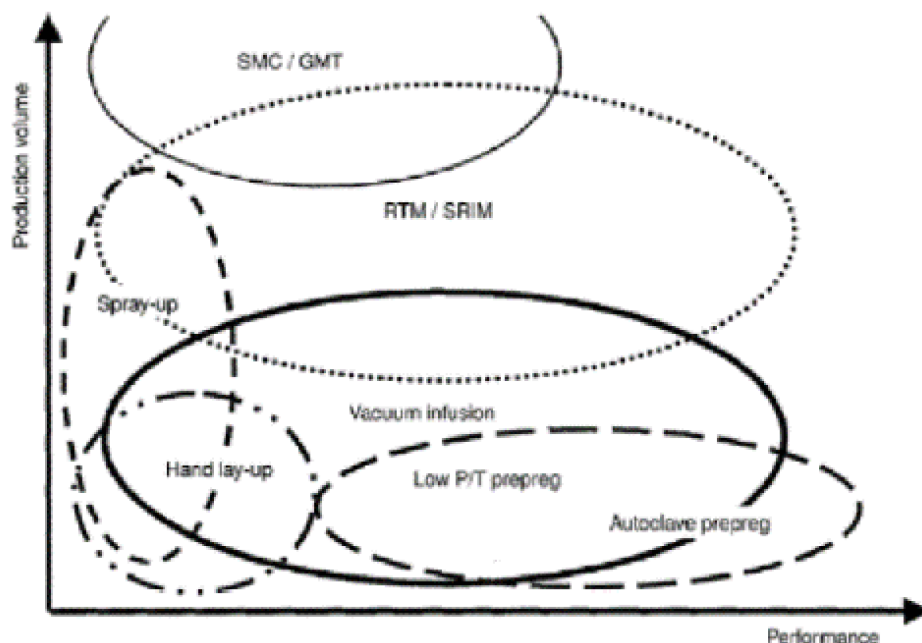


Figura A: Diagrama comparativo de procesos de elaboración (Mallick)

El proceso de disposición manual o “*Hand Lay-up*”¹ (*figura C*), requiere un bajo costo de inversión inicial, pero se vuelve más caro (costo por producto) en comparación con las otras técnicas, debido a los costos asociados con la mano de obra utilizada (tiempos) y el desperdicio de material. Este punto es por causa de que la etapa de colocación manual de las láminas consume en torno a la mitad del tiempo total del proceso.

El proceso de Infusión por vacío o “*Vacuum infusion*” (*figura B*) consiste en la impregnación de una preforma de fibra seca con una resina termoestable de baja viscosidad mediante una diferencia de presiones entre la cavidad de la preforma y el depósito de la resina, sellada con tejido pelable, una bolsa de vacío y masilla de cierre. Este proceso de fabricación esta ya extendido para fabricar piezas de grandes

¹ Ilustración obtenida en: <http://www.carbonfiberglass.com/Composites-Manufacturing/Composites-Manufacturing-Processes.html>

dimensiones con altos volúmenes de fibra. La aparición de nuevos tipos de resina está permitiendo la mejora de las propiedades de los materiales conseguidos mediante infusión por vacío, acercándolos progresivamente a los resultados obtenidos mediante autoclaves, sin que sea necesario el curado de ésta a altas presiones, y reduciendo consecuentemente el precio de fabricación de éste.

El procesado en autoclave ("*autoclave prepeg*"), es utilizado para consolidar y curar componentes realizados con materiales compuestos poliméricos, mediante el uso de temperatura y presión. Estas variables son los principales incidentes en el proceso y vienen definidas por el tipo de material a procesar (materiales termoestables, termoplásticos). Este proceso posee una gran flexibilidad para procesar distintas familias de materiales.

Hand Layup

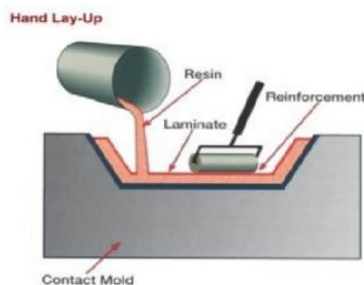


Figura C: Proceso de fabricación "Hand Layup"

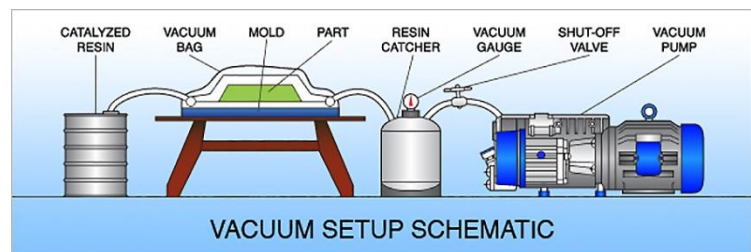


Figura B: Proceso de fabricación "Vacuum infusion"

El "*spray up*" (*figura D*), es un proceso de fabricación de compuestos de molde abierto, donde se impregna la resina sobre los refuerzos en un molde reutilizable. La resina y el refuerzo pueden ser aplicados por separado o simultáneamente, por un flujo combinado desde una pistola dosificadora de resina y cortadora de aquella. Posteriormente, el laminado de refuerzo y resina formado sobre el molde puede ser compactado manualmente con rodillos. Se pueden añadir núcleos de madera, espuma u otro material y se aplica una segunda capa por aspersión, quedando el núcleo entre los dos laminados. La pieza es entonces curada a temperatura ambiente o mediante calefacción, se enfría y se retira del molde. Es un método muy económico en bajas producciones, utiliza herramental de bajo costo y es adecuado para las piezas de pequeño y mediano volumen.

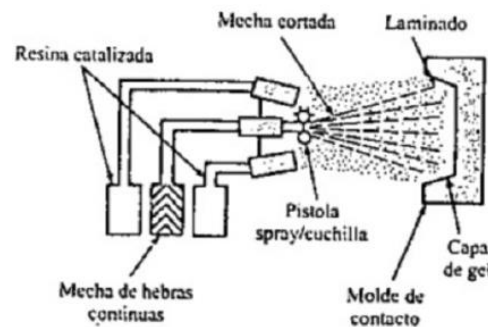


Figura D: Proceso de fabricación "Spray up"

El proceso de lámina compuesta moldeada o "*Sheet moulding compounds*" – SMC (*figura E*), consiste en el moldeo de una resina termoestable reforzada sólo con fibra de vidrio en forma de hilos cortados continuos, obteniendo la pieza final a través de polimerización de la resina por aplicación de presión y

Resin Transfer Molding Process – RTM –

Laborda, Martín Javier – Schiele, Marcos Geraldo

temperatura. Este método de fabricación posee una etapa preliminar en la que se crea el pre-impregnado que después se utilizará para realizar la pieza final deseada. Este pre-peg pasa a través de un sistema de compactación que asegura la completa impregnación y finalmente la lámina se dispone en rollos. Posteriormente, ocurre una etapa de consolidación, en donde los rollos son almacenados para permitir que el grosor y la viscosidad sean los adecuados. Finalmente, los rollos de material compuesto se llevan a una prensa, donde se cortan con la configuración adecuada para la pieza a obtener y se colocan en un ajustado molde metálico calentado. Posteriormente la prensa hidráulica se cierra (utilizando proceso CM – “*Compression Molding*”) y el SMC fluye uniformemente bajo presión por todo el molde formando el producto final. Este proceso posee buena estabilidad dimensional, excelente acabado superficial (ambas caras), buenas propiedades mecánicas, posibilidad de obtener formas complejas, alta capacidad de automatización.

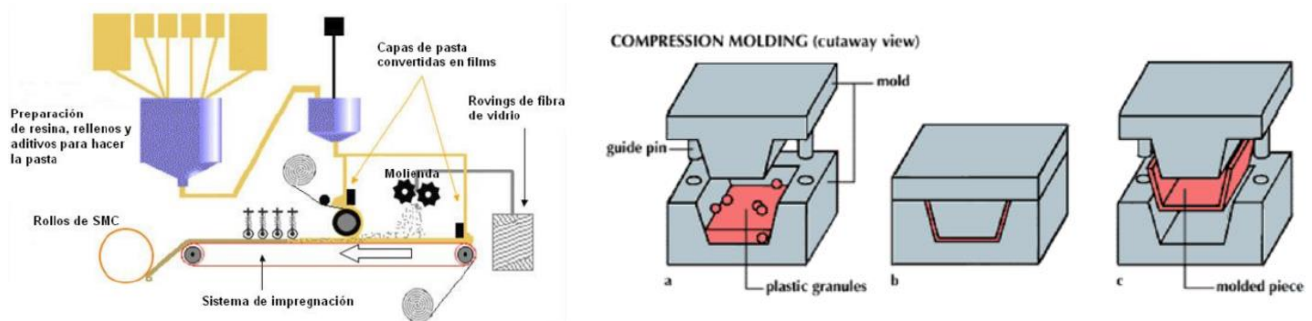


Figura E: Proceso de fabricación de “Sheet moulding compound” – SMC. A la izquierda fabricación de SMC y derecha proceso de moldeo (Compression Molding)

El proceso de “*Resin transfer molding*” (RTM) es una de las tecnologías más prometedoras disponibles hoy en día, capaz de fabricar diseños complejos con altas propiedades mecánicas, buenas tolerancias dimensionales, buen acabado superficial y un elevado control en la orientación de las fibras. Este último punto, es debido a la posibilidad de moldear las fibras en seco antes de la inyección de la resina, teniendo como consecuencia el aumento de las propiedades mecánicas del material.

Un buen diseño realizado por RTM, puede conducir a la fabricación de piezas tridimensionales con buenas tolerancias ofreciendo una buena relación costo/eficiencia en producciones de mediano volumen con herramientas de bajo o mediano costo.

El RTM es un proceso de fabricación en molde cerrado. La *figura F*, resume las etapas para un caso simple.



Figura F: Proceso de fabricación a molde cerrado

La primera etapa (*Preform*), representa el armado de las fibras, luego se posa sobre la mitad de un molde (*Preform Lay-Up*), se cierra el molde (*Closing Mold*). Esta etapa de cierre de molde está caracterizada por la compactación de las fibras, de forma tal de alcanzar el espesor deseado y la proporción de fibra y resina que estará presente finalmente en la pieza.

Se prosigue el proceso con la etapa de inyección (*Injection Phase*), donde la resina es inyectada utilizando un gradiente de presión positivo (inicialmente a baja presión) a través de los orificios maquinados en la estructura reemplazando el aire atrapado dentro de la cavidad. Generalmente se aplica vacío en las salidas u orificios especialmente diseñados para tal fin, con el objetivo de aumentar el gradiente de presión interno.

En el momento en que la resina alcanza estos orificios o ventilaciones de escape, se continúa la inyección de resina a mayor presión para mejorar el llenado de la cavidad e impregnar mejor la preforma. Es en este momento, que se puede dar por comenzada la etapa de curado (*Curing Phase*). Luego de un plazo previamente estimado, en función de la resina utilizada y propiedades requeridas el molde se abre y la pieza fabricada es retirada.

Dependiendo de la aplicación posterior y forma de la pieza, puede ser necesario un tiempo de curado adicional (post-cure) sin la utilización de un molde, para eliminar cualquier indicio de tensiones residuales.

Los posibles defectos que pueden presentar las piezas fabricadas mediante este método son:

- arrugas en la superficie
- burbujas de aire atrapadas
- poros y picaduras
- cuarteado y grietas
- mala adherencia al molde y áreas pegajosas.

Teniendo en cuenta, en la fase de inyección de resina deberá garantizarse una buena impregnación de la fibra. En caso contrario, resultará en áreas secas con mala adhesión entre capas, generando que la superficie sea irregular. Los defectos mencionados pueden acarrear grandes disminuciones de las propiedades mecánicas.

A razón del constante desarrollo de las tecnologías de los materiales compuestos, este sistema cuenta cada vez con una mayor incidencia en la industria. Esto es debido a que comparativamente con otros métodos de fabricación de paneles de fibra de vidrio o fibra de carbono, el RTM es más limpio, con uso de

precursores en cantidades exactas y repetitivas, un excelente acabado superficial en ambas caras requiere personal menos especializado y posee una mayor posibilidad de automatización. La elevada rapidez del proceso es por:

- 1) la estandarización de los pasos a seguir
- 2) la velocidad de curado (variable en función de la resina utilizada)
- 3) la utilización de nuevas tecnologías de fibras auto conformables, desmoldeantes semipermanentes y la posible incorporación de calefacción en los moldes, catalizadores, etc.

Este sistema posee un menor costo de materias primas a causa de una disminución de desperdicio de éstas, siendo ocasionado por la mejor compactación (disminución de espesor), menores pérdidas de producto y ahorro de materiales auxiliares (disolventes y desmoldeantes). Otras características destacables del RTM es que posee una mayor exactitud de la pieza por tener definida una línea de corte y una cavidad exacta a rellenar por la resina y la fibra. Además, debido a la buena calidad superficial del molde, al curado apoyado por la temperatura y a la posibilidad de curado bajo presión el RTM posee mejores acabados y mayor estabilidad dimensional.

Es posible incrementar el volumen de fibra en proporciones de hasta un 65% en volumen (a diferencia de una laminación manual donde se puede raramente lograr aproximadamente un 20 o 30%).

Al ser un proceso sencillo existe una menor dependencia de personal especializado y menores costes de personal por rebajar considerablemente el número de operarios debido a la estandarización.

Se debe hacer notar que en todos los procesos de inyección se encuentran incluidos como mínimo tres componentes básicos:

- el reservorio de resina
- un sistema de alimentación de resina
- mangueras/medio necesario para distribución de resina.

Sumado a esto, muchos sistemas, precisan de una etapa de precalentamiento de resina a modo de disminuir la viscosidad, debido a que las mismas son esenciales para mojar (“wet-out”) la preforma en un menor tiempo (parámetro en función de la temperatura a utilizar en el proceso).

A la hora de seleccionar un tipo de sistema de RTM, es importante tener en cuenta las temperaturas necesarias de la resina a utilizar y las limitaciones de servicio del sistema de inyección a seleccionar. Es menester, que el sistema de inyección provea un amplio suministro de resina capaz de llenar e inundar

la cavidad del molde. La interrupción del llenado del molde para completar nuevamente la carga en el reservorio de resina no es una opción viable, razón por la cual se suele trabajar con un volumen sobrante de 20% aproximadamente.

Como se comentó anteriormente, el proceso de RTM consiste en transferir resina para impregnar a presión controlada un elemento de refuerzo tipo fibra de vidrio o similar, confinado en la cavidad de un molde cerrado, de dos caras, calefaccionadas o no, generalmente autoportantes, que encajando perfectamente dan forma al producto final diseñado. Sin embargo, se pueden encontrar variantes dentro del mismo proceso.

Una variante del RTM, denominada “Light RTM” (*figura G*), utiliza un molde económico, normalmente de una cara rígida (Lado A) y la otra fina semiflexible (Lado B), sin estructura metálica de acople, cerrado por pestaña de vacío con asistencia de vacío para su relleno. Requiere personal especializado y el nivel de inversión es menor en comparación con los otros procesos mencionados.

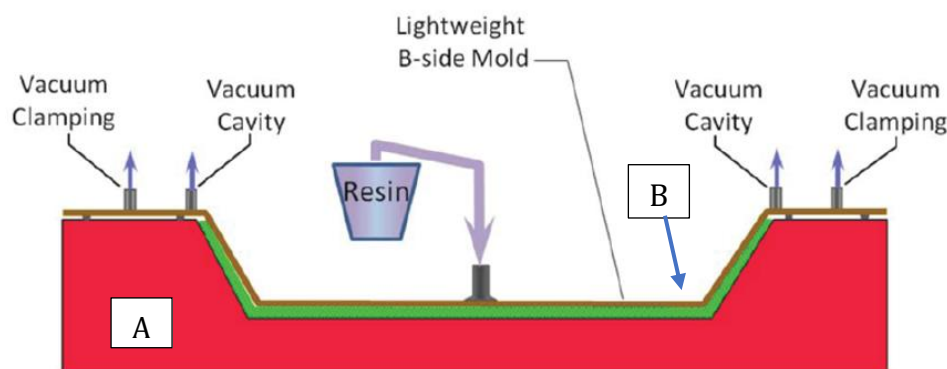


Figura G: Proceso de fabricación "Light RTM"

Una vez que el lado “A” del molde se encuentra curado, el lado “B” es removido y la estructura o parte diseñada se desmolda del lado “A”. El RTM Light es un proceso de manufactura muy versátil que tiene las siguientes características:

- Baja-mediana productividad.
- Buenos acabados superficiales.
- Un mejor control del proceso.
- Uso consistente de material.
- Vida útil elevada.

El lado del semirrígido “B”, se encuentra fabricado de resina de vinilo, posee una elevada flexibilidad ocasionada generando un encaje perfecto con el molde “A”, lo que precisamente genera que se alcancen las presiones de vacío necesarias para la obtención de un buen acabado.

La producción del RTM Light es más eficiente que la mayoría de los otros procesos. Se puede utilizar un único molde “B” en conjunto con múltiples moldes “A”, para alcanzar rangos de producción elevados. Por ejemplo, se pueden utilizar tres moldes “A”, lo que para este caso será necesario que esa cantidad sea movida a la vez desde la etapa de preparación al ciclo de producción, mientras que el molde “B” permanece en posición.

La otra variante, que denominaremos “RTM convencional”, posee un molde de dos caras rígidas con una estructura autoportante más pesada. Tiene cierres mecánicos, es muy exacto en dimensiones interiores, tiene elevada calidad superficial y soporta grandes contenidos de fibra. Puede llegar a ser automatizado en un grado muy elevado y no requiere personal de manipulación altamente preparado. El nivel de inversión es medio.

El RTM convencional puede a su vez ser implementado mediante dos sistemas de inyección de resina diferentes, por lo que, a pesar de ser semejantes en el diseño del molde, se distancian en la implementación. Los mismos se detallan a continuación:

3.1. RTM de pistones alternativos:

En esta variante de inyección, se pueden encontrar múltiples reservorios, mezclando de manera automática los componentes que conforman la resina (en una proporción determinada por el usuario). Existen variaciones de estos conjuntos, dependiendo de la aplicación, resina, viscosidad, presiones necesarias y caudales a utilizar. Sin embargo, la gran mayoría posee un arreglo de dos tanques de reservorios, como se puede visualizar en la *figura I*.

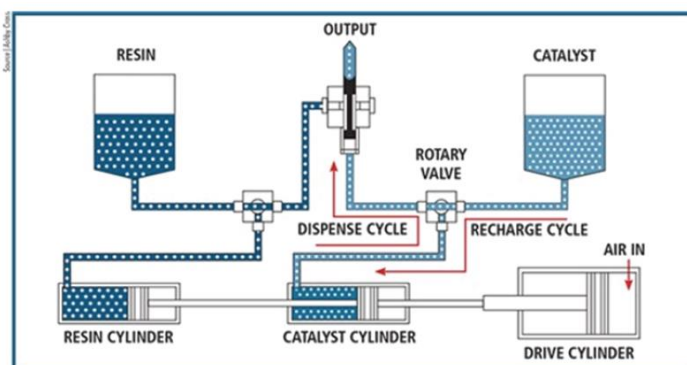


Figura I: Proceso de RTM con pistones alternativos

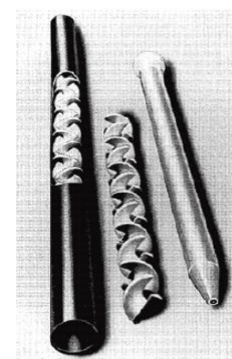


Figura H: Mezcladores estáticos

La principal característica de este tipo de inyección de resina es que logra que la mezcla de catalizadores con la resina sea previa a la entrada de la cavidad del molde, reduciendo de esta manera la limpieza de accesorios y componentes intervinientes en el proceso. En estos equipos se encuentra que el recorrido realizado por el “pistón B” (en caso de disponer de dos

tanques de reservorios) se encuentra seteado a una fracción del recorrido del “pistón A”, por lo tanto, al bombear un volumen determinado de resina (una carrera completa del pistón principal), una fracción del catalizador es simultáneamente bombeada al molde. La mezcla de componentes es realizada a través de un mezclador estático (*figura H*), por lo cual no son necesarias piezas en movimiento. La mezcla se da en la cantidad justa y necesaria de resina, razón por la que el desperdicio es fuertemente reducido (en comparación con RTM con Tanques de presión – inciso 3.2).

Estos sistemas de inyección son recomendables cuando se utilizan resinas compuestas por una gran variedad de componentes o en producciones elevadas con poca variación en las resinas utilizadas. Es importante controlar la presión durante la circulación de resina/catalizador a la salida del pistón correspondiente, la temperatura alcanzada, el nivel en los reservorios, los caudales de trabajo y el volumen total inyectado.

Al utilizar sistemas con caudal constante de resina, la presión del fluido varía como una función de la permeabilidad de la preforma. Por ende, las propiedades que determinan la presión del fluido a la entrada (visualizada en la bomba/pistón) son:

- la permeabilidad
- la viscosidad de la resina
- la distancia recorrida por la resina
- la velocidad del flujo

Si la permeabilidad es constante la presión a la entrada aumentará a medida que aumenta la distancia recorrida de la resina. Esta relación puede visualizarse matemáticamente y descripta por la Ley de Darcy del flujo a través de una superficie semipermeable:

$$v = -\frac{1}{\mu\epsilon}\kappa\Delta P$$

Donde

v = velocidad del fluido

κ = permeabilidad de la preforma

ΔP = variación de presión del fluido

μ = viscosidad de resina

ϵ = porosidad de preforma

La explicación para un caso unidimensional con gradiente de presión constante se detalla a continuación:

En este caso se puede reescribir la formula como:

$$v = u_x \epsilon = \frac{k_{xx}}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}$$

Muchas veces se designa este valor como velocidad de Darcy y representa un promedio volumétrico de la velocidad (lo que es equivalente a: caudal volumétrico por unidad de área).

$$v = \frac{1}{V} \iiint u_x dV = u_x \epsilon$$

Para resolver la ecuación se utiliza la ecuación de la continuidad, y al tratarse de un fluido incompresible:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0$$

$$P(x) = Ax + B$$

Conociendo las condiciones de borde:

$$P(0) = P_{in}$$

$$P(L) = P_{out}$$

Donde L representa la sección “mojada” de la preforma.

$$\frac{\partial P}{\partial x} = A = \frac{\Delta P}{L}$$

Que puede reescribirse como:

$$L dx = \frac{-K}{\epsilon \mu} \Delta P dt$$

Integrando se obtiene:

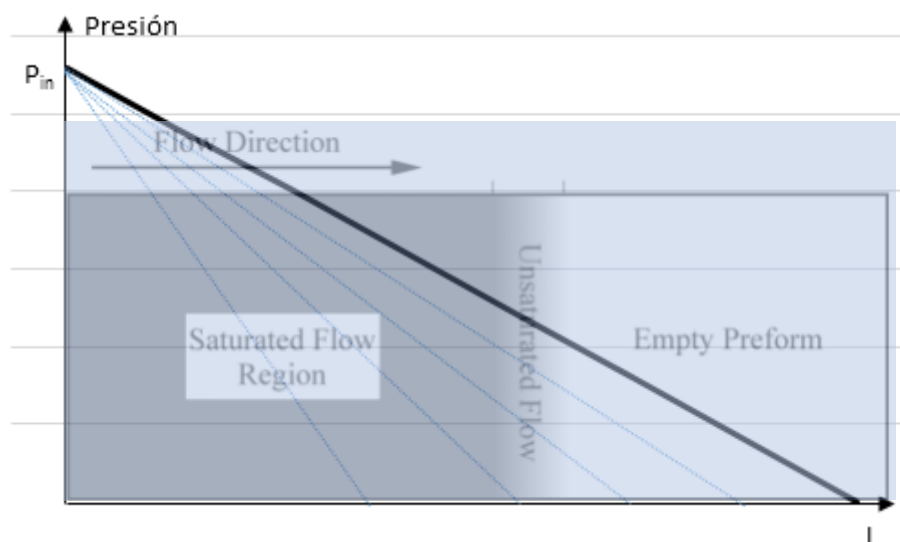
$$L^2 = \frac{-K}{\epsilon \mu} \Delta P t_{inyección}$$

Lo que da un tiempo de inyección de:

$$t_{inyección} = L^2 \frac{\epsilon \mu}{K \Delta P}$$

La importancia de este valor es que establece un limitante al tiempo de gelificación (gel-time) de la resina que según se observa es función de la distancia y el gradiente de presión.

También se puede concluir de las ecuaciones anteriores que la velocidad de avance de la resina (caracterizado por la velocidad de Darcy) será inversamente proporcional al largo de la sección mojada de la placa. En otras palabras, el frente ira avanzando cada vez más lentamente.



Por lo tanto, estos sistemas de flujo constante permiten al usuario repetitividad en el proceso de manufactura. Sin embargo, como se comentó anteriormente, la presión a la entrada del molde aumenta con el progreso en el llenado de este. De esta manera, si la presión del fluido es muy elevada las fibras de la preforma podrían “lavarse” (“wash-out”) o cambiar su orientación. Además, las fibras deben tener el tiempo adecuado para ser mojado por la resina. Si la resina rellena la preforma, pero no llega a penetrar entre espacios de fibras (acción capilar) y mojar los filamentos individuales, la porosidad resultará evidente. Un flujo moviéndose demasiado rápido, pasará sobre las fibras, lo que traerá aparejado un tiempo insuficiente para la infiltración de la resina en las fibras, y conducir así a la aparición de poros. La sobre presurización también puede ocasionar una deformación del molde e incluso fugas y/o explosión del equipo.

3.2. RTM de tanque a presión:

A diferencia de los sistemas con caudal constante, el RTM convencional con tanque a presión trabaja con una presión del fluido constante. Por lo cual, los caudales durante la etapa de llenado/ impregnación varían al estarse generando una resistencia en la preforma, ocasionando que el caudal de resina disminuya a medida que la misma avanza por la cavidad del molde. En la *figura J*, se muestran los componentes:

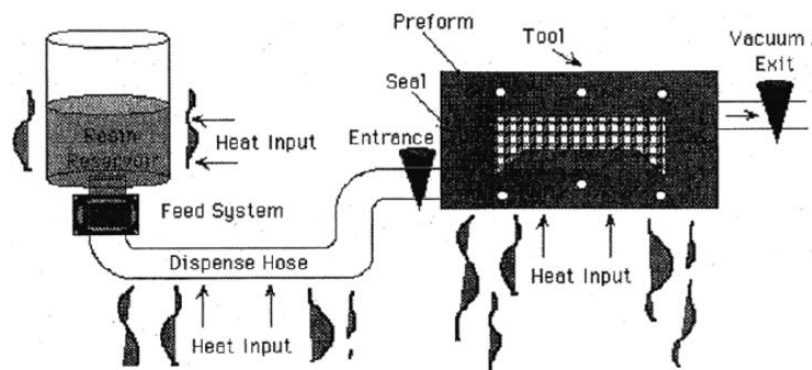


Figura J: Proceso de RTM con tanque a presión

En este proceso el tanque a presión actúa como un reservorio de resina, el cual puede calentarse para disminuir la viscosidad de esta y así facilitar la inyección al molde. El sistema de inyección será a través de una presión positiva (1 bar) que irá inundando la cavidad del molde y una vez que este se encuentre completamente lleno, se proporcionará al sistema una presión mayor (3 bar) para disminuir así la posibilidad de cavidades de aire dentro de la resina, logrando uniformidad en el proceso.

En algunas ocasiones, para grandes producciones, el tanque reservorio posee un agitador para proveer así un calentamiento uniforme de la resina, facilitando a su vez la desgasificación. El aumento de temperatura de la resina suele realizarse mediante la implementación de resistencias eléctricas y para grandes producciones, mediante el uso de termocuplas se puede lograr un control de la temperatura de proceso, obteniendo así uniformidad en el resultado final.

Estos sistemas se diferencian de los otros (de pistones alternativos) al no depender del uso de sistemas de bombeo (los cuales proveen mayores presiones de trabajo) y/o flujo constante que trae aparejado complicaciones con el sellado y sistema de calentamiento.

La ventaja de estos sistemas es que se tiene un control completo sobre la presión de inyección. Como desventajas se incluyen un control limitado sobre la velocidad del flujo durante la inyección, además de poseer una limitación en la presurización a través del aire. Sumado a esto, existirá una limitación en el uso de resinas con alta viscosidad.

La realidad es que será necesario buscar una solución de compromiso entre ambas propuestas, tanto presión como flujo constante. Se podría buscar ajustar el flujo de resina mediante parámetros de presión pre-seteados por el usuario o viceversa. Esto podría realizarse mediante un elevado control, puntos de referencia, sobreprotecciones, contadores de ciclo, etc., lo cual añaden seguridad y confiabilidad al proceso, pero traen aparejados elevados costos en equipamientos y automatización.

Durante el proceso de selección de la alternativa de RTM se requirió una completa comprensión de los requisitos de aplicación, incluidos: tipos y variedad de los materiales disponibles, el tamaño de la pieza, el tamaño de la producción, la velocidad de producción y características necesarias para la adquisición de datos para la calidad.

En base a lo considerado anteriormente, se decide diseñar y fabricar una máquina para el moldeo por RTM utilizando un tanque a presión, debido a que el objetivo final para este proyecto es demostrar de manera didáctica el proceso de RTM y no se utilizará para elevadas producciones, no requiriéndose así un elevado nivel de control y automatización. Se buscará medir las variables de mayor importancia previamente mencionadas para demostrar la influencia de estos durante el proceso.

Otra razón de esta decisión es la reducción de costos en el transcurso de fabricación de un equipo a presión constante versus un RTM con caudal constante, sumado al hecho de menores plazos de fabricación.

Como se explicó anteriormente, el proceso de RTM presenta muchos parámetros que se encuentran fuertemente relacionados entre sí. La combinación de estos afecta el proceso de manufactura y la calidad del producto terminado. Por lo tanto, debieron ser cuidadosamente determinadas.

Los parámetros más importantes, que no se pueden desestimar en el diseño se enumeran a continuación:

- Presión
- Viscosidad
- Temperatura
- Permeabilidad
- Tiempo de llenado
- Fracción de volumen de fibra

Sumado a estos, se encuentran otros parámetros que deberán ser considerados de forma independiente, como es el caso del ángulo de la entrada de resina, la orientación de las fibras y los caminos para el flujo.

La resina tiende a circular más rápido en la dirección de las fibras, por lo que la dinámica de esta depende fuertemente del tipo de fibra utilizada y del número de capas que se utilicen. En el caso del presente diseño, se definió que las placas a fabricar variasen desde un espesor de 3 mm hasta 6 mm, por lo que el espesor no fue un factor crítico y se puede considerar una variable constante para los cálculos de avance de inyección. Sin embargo, esto no quiere decir que durante la etapa de diseño, el espesor requerido no haya influenciado como se verá más adelante.

3.3. Diseño del molde:

La cavidad del molde debe formar el conjunto de fibra, distribuir y determinar la cantidad de carga de resina, restringir los diferenciales de presión y permitir la fácil remoción de la pieza. Cada uno de estos factores puede afectar la fabricación y el rendimiento de las piezas.

A su vez, el molde, debe proporcionar un medio para distribuir el calor uniformemente necesario durante el curado y, en algunos casos se requiere que pueda precalentar la resina durante la etapa de inyección.

En el caso del RTM el proceso de inyección y curado implica presiones positivas, por lo que el molde debe tener suficiente rigidez para llevar estas cargas a los sistemas sujetadores instalados en el molde sin un exceso de deflexión. Además, el molde debe tener las propiedades superficiales para resistir la abrasión de la fibra seca contra el molde durante el número requerido de ciclos, sin un mantenimiento excesivo (no rayar la superficie al punto de requerir sucesivos pulidos). La superficie del molde también debe ser compatible con los productos químicos de la resina y limpiadores.

Por lo tanto, al diseñar el molde fue necesario cumplir con ciertas condiciones:

- Debe tener dos caras que puedan ser unidas con exactitud para obtener la conformación del producto final.
- Debe tener medios de cierre y fijación en ambas caras y por separado.
- Debe ser lo suficientemente rígido para no deformarse durante el proceso de cierre a presión, o sea, durante el esfuerzo con que se actúa tanto en la operación de cierre como en la de apertura y durante la presión de inyección.
- Debe estar confeccionado con materiales capaces de soportar temperaturas superficiales de +85°C de la resina inyectada, en la superficie del molde.

- Su vida útil vendrá determinada por distintos aspectos como son el sistema de resina, los tiempos de ciclo, el mantenimiento apropiado del molde y el proceso de desmolde.
- Debe ser estanco para prevenir pérdidas de resina o entradas de aire en caso de inyecciones a vacío.

El material con que se construyen los moldes siempre ha debido cumplir unas exigencias muy estrictas e incompatibles la mayoría de las veces: extremadamente duro y muy resistente al desgaste y a la corrosión, fácilmente mecanizable, estable dimensionalmente y con una buena conductibilidad térmica para evacuar el calor.

El motivo principal del uso de aluminio para el diseño de este molde es que se requiere que se conserven las ventajas básicas del acero (facilidad de mecanizado, ligereza y elevada conductibilidad térmica) aumentando las propiedades térmicas, logrando una temperatura homogénea de curado con la capacidad de agregar resistencias calefactoras y lograr fijar una temperatura para el curado o la inyección.

Al entrar en contacto con el aire, una fina capa de óxido se forma, lo que brinda una excelente protección contra la corrosión aun en ambientes agresivos. Esta capa se puede fortalecer aún más mediante acabados superficiales como el anodizado o el recubrimiento con pintura.

El molde se diseñó de un tamaño tal que pueda producir paneles del tamaño de una hoja A4. A una presión máxima de inyección de 3 bar.

Se fijaron dos canales para colocación de burletes de silicona con el objetivo de lograr una buena estanqueidad y además poder realizar vacío entre los dos burletes para mejorar el sellado (*figura K*).

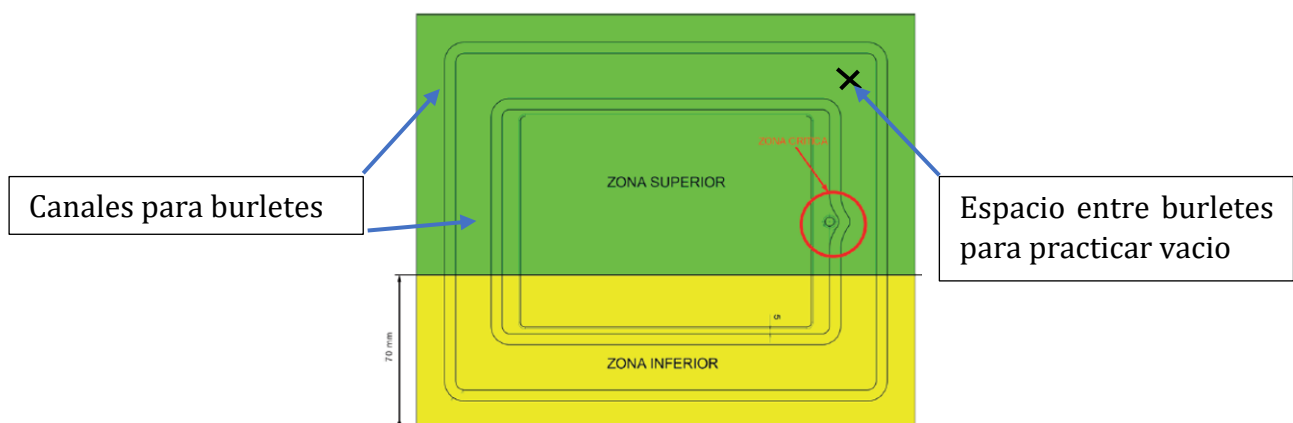


Figura K: Diseño de molde Aluminio (separación para fabricación en CNC)

Para poder realizar dos tipos de inyecciones: lineal y radial, se diagramaron 3 agujeros para el flujo de resina uno en cada extremo de la placa y otro en el centro. De esta forma, si se desea hacer una inyección

radial se puede abrir el orificio central como ventana de entrada (o salida) y dejar los extremos libres como orificio de salida (o entrada).

La partición superior de la cavidad se idealizó transparente para poder observar el proceso y medir el tiempo y velocidad de inyección (ver *figura N*). Se decidió utilizar el vidrio templado ya que este es un vidrio sometido a un proceso térmico que le confiere mayor resistencia y además lo convierte en un vidrio de seguridad al reducir el riesgo de lesiones en circunstancias accidentales porque se fragmenta en pequeños trozos granulares en lugar de astillarse en fragmentos dentados al estallar. Los trozos granulares tienen menos probabilidades de causar lesiones.

Un vidrio templado en relación con el vidrio sin procesar (“crudo”) presenta las siguientes ventajas:

- Posee una resistencia mecánica al impacto de 4 a 5 veces mayor.
- Mayor capacidad para resistir esfuerzos de tracción y flexión.
- Soporta cambios bruscos de temperatura de hasta 300° centígrados.

Una ventaja adicional del vidrio es su excelente terminación superficial. Logrando obtener una superficie lisa y un desmolde sencillo.

Para no exigir al vidrio una deflexión excesiva y poder aumentar las presiones admisibles se le realizó un marco en el cual empotrarlo y de manera tal de poder reforzarlo en la parte superior como se ve en la *figura N*. El vidrio queda fijo entre las dos placas soportes pintadas de negro y se recubrió con una silicona de alta temperatura (color rojo) para proveerle estanqueidad al conjunto. El recinto que aloja al vidrio tiene considerado la expansión térmica de este para los casos en que se trabaje con temperaturas elevadas (80°C) o la reacción exotérmica del proceso. El sistema se pensó desmontable en caso de que se requiera modificar un componente. En la sección de anexos se detalla justificación de la deflexión relativa máxima del vidrio.

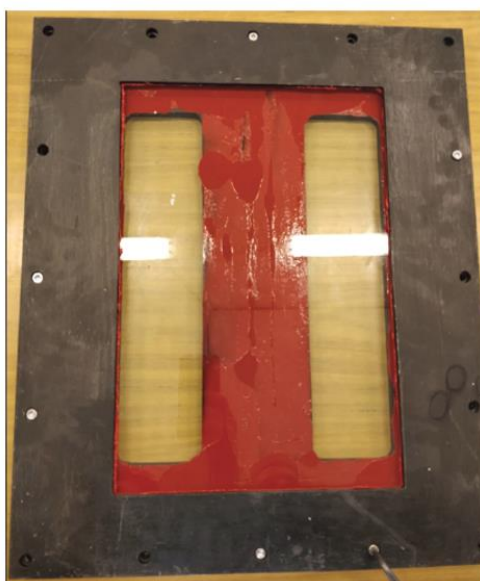


Figura N: Conjunto ensamblado de soporte para vidrio



Figura L: Tanque a presión ensamblado



Figura M: Componentes tanque a presión (previo soldadura y pulido)

Este marco se diseñó de acero al carbono y se le realizaron dos ventanas en sentido longitudinal de manera que se pueda apreciar el avance de la resina. Para determinar deflexiones y tensiones máximas en una primera aproximación se utilizó las teorías de placas planas.

Para el tanque a presión (*figura L*) se decidió utilizar acero inoxidable para poder obtener una alta durabilidad del sistema sin aparición de oxidación o corrosión. La aleación utilizada fue la AISI 304L. El acero inoxidable de grado 304 es considerado el más versátil y ampliamente utilizado de los aceros inoxidables austeníticos. Es un acero resistente a la corrosión, ya que el cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora que evita la corrosión del hierro contenido en la aleación. El 304 proporciona una buena resistencia al ataque ácido moderado, pero se considera inferior si se compara con el tipo de acero 316. Debido a la elevada diferencia de precio entre Acero Inoxidable 304 y 316, y las leves diferencias entre sus propiedades, se decidió utilizar el Acero 304 para la fabricación del Tanque. Disminuyendo así los costes de materia prima.

Para la determinación del volumen máximo requerido de resina se utilizó el volumen de la cavidad del molde. Fijando este como volumen límite inferior de diseño. Se diseñó un recipiente en forma cilíndrica (por sus ventajas estructurales) con tapa inferior semiesférica (con el niple de salida en el punto más bajo, para así evitar la acumulación de resina una vez terminada la inyección). La tapa superior se diseñó plana y bridada, para poder contar con una tapa de inspección y limpieza y poder colocar en ella manómetro y ventana de entrada, así como también una salida para poder realizar vacío y desgasificar la

mezcla (*Ver figura L y M*). El cálculo de presiones del tanque se hizo en base a la norma ASME, cuya memoria de cálculo se puede consultar en el anexo correspondiente.

Las conexiones se realizaron utilizando roscados de $\frac{1}{4}$ " BSP, las mangueras de entrada y salida de resina fueron requeridas en material teflonado (para su facilidad de limpieza) y reforzadas con mallas de acero en su exterior (*figura L*). Como luego de cada inyección se debe dar un tiempo de 24hs de curado, las mangueras y conexiones que queden con contenido de resina serán luego sacrificadas.

Para poder reutilizar la mayor cantidad posible de estos materiales, se decidió colocar una válvula de sacrificio en la entrada y otra en la salida. De esta manera al comenzar la inyección ambas se encuentran abiertas y la resina puede ingresar expulsando todo el aire que hubiese quedado en el interior luego de hacer el vacío. Una vez lleno el molde se cierra la salida y se mantiene abierta la entrada para conseguir la presión máxima en el molde. Cuando se ha uniformada la presión en este, se cierra la válvula de entrada y se retiran las mangueras para su inmediata limpieza con acetona antes de que cure la resina remanente en dichos conductos, posibilitando la reutilización de tanque y mangueras.

3.4. Estructura de soporte:

Para facilitar el conexionado del equipo en la operación se realizó una estructura de soporte (*Figura O*) con la capacidad de rotar sobre un eje longitudinal. De esta manera el operario puede girar el molde, realizar las conexiones necesarias en el equipo y volver a la posición de horizontal para poder realizar la impregnación observando el avance de la resina.

Esta estructura no soporta cargas más allá de peso propio del equipo, por lo que su fabricación se hizo con tubo de hierro cuadrado 35 x 35 mm fácilmente disponible sin mayores cálculos estructurales que las cargas de peso.



Figura O: Estructura soporte Equipo RTM

4. FABRICACION DEL EQUIPO

El desarrollo de la etapa de fabricación se diferenciará entre las 3 áreas del proyecto. Aquí se explicará el proceso de fabricación y los componentes de la pieza o conjunto en cuestión. La idea es dar a conocer al lector la complejidad de la elaboración del proyecto y las decisiones del diseño tomadas. La fabricación del conjunto se remite a los planos ubicados en el Anexo del documento. Los procesos elementales de la fabricación de cada parte del equipo están detallados en el anexo.

Para la elaboración del bastidor del molde, se partió de una tira de 6 m de estructural 100 mm x 60 mm x 2 mm (espesor). A partir de esta tira, se realizaron los cortes según plano y se soldaron. Todas las soldaduras fueron pulidas, para obtener una mejor terminación del conjunto, permitiendo así una superficie más lisa (*figura P*).

De la misma forma, para el armado de las guías/cierre de la estructura, se utilizó una planchuela de acero de 50 mm x 12,7 mm de sección, la cual inicialmente se le realizó un corte, posterior agujerado y finalmente se soldó de acuerdo con planos en formato “U” (*figura Q*). Luego se monto en posición y soldaron las guías en el bastidor del molde (tanto inferior como superior) y se realizó una etapa de pintura para mejor presentación.

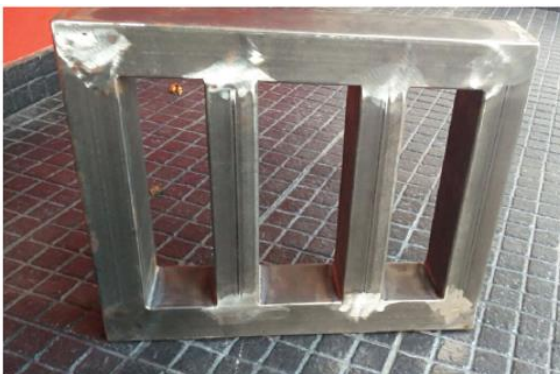


Figura P: Estructura bastidor (Caño 100x60 mm)



Figura Q: Guías de cierre bastidor (formato tipo “U”)

Otros componentes mecanizados durante la elaboración fueron las placas de acero soporte del vidrio (*figura N*). Las mismas son las encargadas de contener al vidrio en su posición y proporcionar una rigidez estructural mayor al conjunto, permitiendo así soportar las presiones a las cuales se encuentran sometidos los componentes del molde. Sumado a esto, el diseño de estas placas permite que, ante un caso de rotura del vidrio, los fragmentos no lastimen al personal que se encuentre utilizando el equipo.

El mecanizado de estas placas fue a través de una fresa CNC (*figura R*). Luego se realizaron los agujeros de sujeción (en ambas placas) y finalmente se recubrieron ambos componentes con un barniz antióxido para realizar un posterior pintado (color negro).

Una vez obtenido el vidrio y las estructuras de acero finalizadas, se realizó el montaje de estas utilizando una resina de alta temperatura que permitirá sellar todo el perímetro del contacto vidrio-metal para que el sellado sea perfecto.

Para la obtención del molde de Aluminio, se utilizó la fresa CNC ubicada en las instalaciones del ITBA (Taller Mecánico en Parque Patricios – CIDIM). Debido a la diferencia de tamaño entre la mesa de trabajo del Equipo CNC y la pieza a mecanizar, se tuvo que consolidar el código G diferenciando el molde en dos grandes mitades (*figura K*).

De esta manera, se decidió realizar una división descentrada, lo cual beneficiaba el mecanizado de la zona crítica del molde y facilitaba el trabajo.

En una primera instancia, se realizó el fresado CNC de la zona superior, teniendo cuidado con el seteo de los puntos iniciales del código (seteo de ceros), ya que, si este punto no se realizaba correctamente, se correría el riesgo de tener un desfasaje entre los fresados. Para el fresado CNC de la Zona Inferior (amarilla), se tuvo que girar la pieza 180°. Nuevamente, teniendo mayor atención en el seteo de ceros y verificando de forma manual que la altura (eje Z) del mecanizado sea la correcta, se pudo de esta manera obtener la pieza final.

Tanto para el fresado de la zona superior como de la inferior, se adicionó a los laterales del macizo de aluminio una pieza de sacrificio para permitir el ajuste de la pieza de aluminio a la mesa de trabajo del equipo CNC.

Se muestra en la *figura S*, la pieza finalizada. Debido a la ductilidad del material con el cual se trabaja, se pueden visualizar las líneas de pasada de la fresa por el material. Sin embargo, esto no genera una rugosidad palpable en la superficie. Los “códigos G” utilizados para la fabricación, se encuentra en el anexo.



Figura R: Fabricación CNC placa soporte vidrio



Figura S: Molde de Aluminio (final)

El vidrio templado fue solicitado a medida según planos de fabricación.

En cuanto a la fabricación del Tanque, se utilizó un caño de 4" de AISI 304L y un casquete hemisférico, los cuales se soldaron, logrando así la envolvente del Tanque. Luego se diseñaron las bridas (una ciega y la otra slip-on) y se mecanizaron los agujeros para realizar el ajuste de la tapa (*figura M*).

Al finalizar el proceso de soldadura entre la brida slip on y la envolvente del tanque, se utilizó un macho de roscar para realizar los roscados en los agujeros centrales de la brida ciega (rosca ½" BSPT) y en los agujeros periféricos de la brida slip-on (rosca M8). De esta manera, mediante unos bulones M8 mantendremos unidas las bridas (bulones pasantes en brida ciega y roscados en brida slip-on).

El tanque a presión se encuentra conformado por los siguientes ítems, los mismos se enumeran a continuación:

1. Evolvente (Caño de 4" Acero inoxidable AISI 304L).
2. Casquete hemisférico de 4" (Acero inoxidable AISI 304L).
3. Brida ciega (Acero inoxidable AISI 304L).
4. Brida slip on (Acero inoxidable AISI 304L).
5. Cupla de ½" (Acero inoxidable AISI 304L).

Mediante la conjunción de estos componentes se puede fabricar el tanque utilizado en el proyecto. Sin embargo, para la operatividad de este, serán necesarios otros componentes, capaces de comunicar la resina contenida en el tanque con el molde. Los mismos se enumeran a continuación:

1. Válvula mini-esférica ¼ BSP.
2. Manguera de teflón con refuerzo metálico.
3. Manómetro.
4. Conectores varios (para el acople con los accesorios)

Para la estructura soporte, se partió de una tira de 6 m de estructural 35 mm x 35 mm x 2 mm (espesor). A partir de la misma, se realizaron los cortes según plano y se soldaron. Todas las soldaduras fueron pulidas, para obtener una mejor terminación del conjunto. En los laterales de la estructura, se realizó un agujereado para generar un alojamiento de los ejes de los rodamientos. La estructura fue recubierta por un barniz antióxido y luego pintada para mejor terminación (color azul). Finalmente se pusieron como detalles tacos de goma para eliminar cantos vivos en la estructura.

Se muestra a continuación una imagen del conjunto completo armado (*figura T*) con sus respectivos componentes para mayor interpretación del diseño armado.



Catchpot

Tanque a
presión

Soporte
vidrio

*Figura T: Componentes equipo RTM
ensamblado final*



Bastidor
Inf. y Sup.

Molde
Aluminio

5. PUESTA A PUNTO DE EQUIPO

De forma tal de poder iniciar con el proceso de elaboración del equipo, se deben realizar los pasos descriptos a continuación y disponer de los siguientes componentes:

- A) Refuerzo (fibra de vidrio)
- B) Balanza
- C) Resina y endurecedor (epoxi y poliamina)

Se limpian bien las superficies con cera para desmolde a modo de facilitar y eliminar la adhesión del producto final con el molde de aluminio. Se le paso al vidrio y al molde de aluminio.

Con el espesor de placa a moldear deseado, se calcula el volumen total de la cavidad a llenar (adicionando un 10% por exceso).

Con el volumen de fibra final deseado se estima la cantidad necesaria de resina y catalizador. Se pesa la resina a utilizar, al igual que la fibra.

Se deposita la fibra en la zona de laminación y se ajusta el molde al espesor calculado (esto se realiza mediante la medición de separación entre placas de acero y molde de aluminio – distancia “e”). Luego sumando una constante, se conoce el espesor de placa a realizar. A continuación, se detalla la demostración de la constante del diseño:

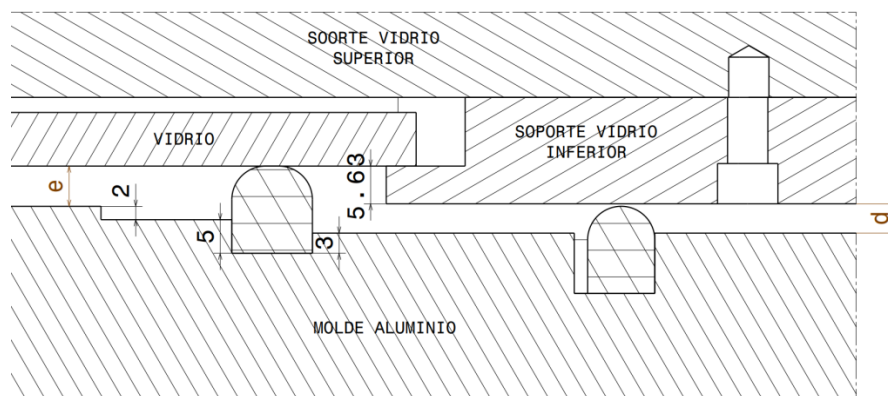


Figura U: Relación distancia molde vs estructura soporte con espesor de placa a imprimir (“e”)

De la imagen superior se puede obtener una relación entre la distancia “d” y “e” (espesor de placa a fabricar).

$$d + 5,3 = (5 - 3) + 2 + e$$

$$d = e - 1,3$$

$$\boxed{e = d + 1,3 \text{ mm}}$$

Con la relación encontrada, midiendo la distancia “d” (separación entre molde de aluminio y placa de acero), se puede conocer el espesor de placa a fabricar.

En la etapa de preparación, se dispone de los siguientes datos propios de los materiales a utilizar y espesor de placa a imprimir buscado. A continuación, se detallan los mismos:

- a) P = Peso de fibra a utilizar (medido mediante balanza)
- b) V_t = Volumen total de la cavidad del molde (en función de “e”)
- c) δ_f = Densidad de la fibra a utilizar (fibra de vidrio clase E = 2,58 g/cm³)
- d) X% de fibra requerido en material compuesto (producto final)
- e) δ_r = Densidad de la resina.

Con esta información, se busca conseguir el volumen de resina requerido para poder lograr el % de fibra diseñado. Por lo tanto, se plantea el siguiente ejemplo:

“Se dispone una fibra de vidrio clase E y se busca obtener un 60% de volumen de fibra. Se busca imprimir una placa de espesor $e = 3 \text{ mm}$ ”.

Conociendo el espesor a imprimir, puedo obtener el volumen total:

$$V_{tot} = A_{tot} \times e = 35,4 \times 24,3 \times 0,3 \text{ cm} = 258,1 \text{ cm}^3$$

Al requerir un 60% de Volumen de fibra, obtengo los gramos de fibra a utilizar.

$$V_{fibra} = \frac{60 \times V_{tot}}{100} = 154,86 \text{ cm}^3$$

Así puedo averiguar los gramos de fibra a utilizar para obtener los resultados buscados.

$$\text{Peso fibra} = \delta_{fibra} \times V_{fibra} = 2,58 \times 154,86 = 400 \text{ gramos}$$

Por diferencia de volumen, se conoce el volumen de fibra a utilizar y con este dato podremos realizar la formulación correspondiente entre resina epoxi y poliamina (catalizador).

Una vez calculado estos puntos, se procede a la configuración mecánica para seguir con el procedimiento.

El espesor de placa se fija mediante los 4 tramos de varilla roscada que se encuentran montados en el conjunto del molde. Para esta etapa de diseño se fija la altura de estos mediante rosca y contra rosca (para fijar la posición de la tapa), se aprietan bien todas las tuercas y se verifica nuevamente la separación entre placas en 4 sectores diferentes del molde. (En un futuro se podrán disponer de

galgas previamente calibradas que permitirán definir de manera más exacta la separación entre placa y molde aluminio para poder imprimir el espesor deseado).

Se verifica el correcto conexionado de las mangueras de envío y salida de resina, y un correcto sellado del “catchpot” (recinto de vacío intermediario entre molde y bomba de vacío para que la misma no se dañe con resina).

Se comienza realizando una prueba de vacío del conjunto para verificar estanqueidad de este y disminuir la presión dentro del molde para facilitar el ingreso de la resina (para esta etapa, deberá cerrarse las válvulas de ingreso de resina y abrirse la de egreso).

Se vierte la resina dentro de la cavidad del tanque y se deja asentar para disminuir las burbujas de aire (se puede calentar el mismo para facilitar este último punto). En ese instante se abre la válvula mini-esférica y se procede a llenar el molde. Este proceso se realiza hasta que la cavidad completa del molde se encuentra llena de resina y previo a que el tanque se quede sin resina (para evitar el ingreso de aire al molde lo cual generaría vacíos en el producto final). Una vez sucedido esto, se cierra la válvula de ingreso y se deja por 20 minutos adicionales aproximadamente el vacío encendido. Durante este lapso, se desengancha la manguera de envío de resina y se limpia Tanque y resina con acetona. Pasado el tiempo estipulado, se apaga la bomba de vacío y se deja el conjunto por al menos dos días curándose. Se retira cuidadosamente la pieza final y se limpia el conjunto.

6. CONCLUSIONES

En base a las consideraciones anteriores, se desarrolla el proyecto cuyo resultado final se puede observar en la *figura Ty* cuyos planos de conjunto y componentes para fabricación se adjuntan en el ANEXO 10.10: Planos.

El proyecto presentado fue llevado a cabo desde mediados de 2016 a la fecha. El mismo tiene dos pilares principales: el diseño y la fabricación. Para la etapa de diseño, hubo que verificar de forma analítica y teórica cada una de las características de las piezas para tomar una decisión sobre los distintos aspectos constructivos. Mientras que, en la construcción, hubo que volver a analizar cada uno de estos aspectos, para asegurar la factibilidad de la etapa, así como adquirir los materiales, planear y programar plazos y luego materializar físicamente las piezas con los procesos descriptos.

Terminadas estas etapas, se hizo una revisión detallada de todos los elementos construidos y sus terminaciones. Finalmente, una vez consolidado el conjunto de piezas y con el Manual del Usuario desarrollado para la correcta implementación del proceso, pudo realizarse una prueba de la máquina diseñada.

Este proyecto ha sido un desafío muy interesante y durante el diseño y la fabricación de los accesorios de moldeo, se pudieron llevar a la práctica conocimientos incorporados en distintos cursos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Se espera que el equipo desarrollado sea útil para la incorporación de un laboratorio RTM en la materia Tecnología de Materiales Compuestos, así como el uso del equipo para cursos extracurriculares. Este equipo consolida también el área de manufactura de materiales compuestos del ITBA.

7. REFERENCIAS

- Laurenzi, S., & Marchetti, M. (2012). Advanced composite materials by resin transfer molding for aerospace applications. In *Composites and their properties*. InTech.
- Kruckenbergh, T., & Paton, R. (Eds.). (2012). *Resin transfer moulding for aerospace structures*. Springer Science & Business Media.
- VIII, A. B. S. D1(2001) Boiler and Pressure Vessel Code. *Section VIII, Pressure Vessels Division, 1*.
- Code, P. V. (1989). Rules for Construction of Pressure vessels. *American Society of Mechanical Engineers, 1992(1995)*, 1998-2001.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Shigley's mechanical engineering design* (Vol. 8). New York: McGraw-Hill.
- Wileman, J., Choudhury, M., & Green, I. (1991). Computation of member stiffness in bolted connections. *Journal of Mechanical Design, 113(4)*, 432-437.

8. LISTADO DE MATERIALES

#	NOMBRE PIEZA	DESCRIPCION/COMENTARIO	PLANO	CANTIDAD
1	Estructura soporte	Caño estructural 35x35x2mm	001-001	6m
2	Vidrio Templado	-	002-001	1
3	Placa acero superior	Pieza mecanizada en Acero 1010	002-002	1
4	Placa acero inferior	Pieza mecanizada en Acero 1010	002-003	1
5	Bastidor Molde	Caño estructural 100x60x2mm	002-004	2
6	Eje molde rodamiento	Pieza mecanizada en AISI 304L	002-005	2
7	Placa sosten molde	Pieza mecanizada en chapa	002-006	2
8	Oreja Molde	Pieza soldada en Hierro	002-007	8
9	Molde de Aluminio	Pieza mecanizada en Ergal 60	002-008	1
10	Brida Slip On 4"	AISI 304L	003-001	1
11	Brida Ciega 4"	AISI 304L	003-002	1
12	Evolvente Tanque	AISI 304L	003-003	1
13	Tuerca fijacion molde	Tuerca M20x1	004-002	16
14	O'Ring Parker 2-034	-	004-003	1
15	Abrazadera Tanque 4"	-	004-003	1
16	Niple 1/4"	Accesorio conector de Tanque	004-003	1
17	Manometro 1.4 NPT	0-40 bar	004-003	1
18	Bulón fijación de tapa Tanque	M8x35	004-003	8
19	Tuerca de fijación de tapa Tanque	M8x1	004-003	8
20	Bulon sujecion abrazadera	M4x15	004-003	4
21	Tuerca sujecion abrazadera	M4x1	004-003	2
22	Tapon plastico estructura	35x35mm	004-004	9
23	Bulon sujecion tapa molde	M6x15	004-005	16
24	Burlete interior molde	Silicona	004-005	2m
25	Burlete exterior molde	Silicona	004-005	2m
26	Varilla roscada M20	M20x1	004-006	1m
27	Rodamiento F204	-	004-006	2
28	Bulon sujecion rodamiento	M10x25	004-006	8
29	Válvula mini-esferica 3/4"	Nota: Tener disponibles repuestos	-	6
30	Manguera Teflon reforzada	-	-	2m
31	Resistencia eléctrica	Nota: Para calentar molde	-	1

9. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

9.1. Molde

N°	DESCRIPCIÓN		PROVEEDOR	CANTIDAD	COSTO
1	Base Molde Inferior/Superior				
	1.1.	Ac. Estructural 100 x 60 x 2 mm	Hierros Torrent	6m	900
	1.2.	Placa 2" x 1/2"	Provecom Industrial	6m	700
	1.3.	Placa Soporte Esp 4 mm	-	2	300
2	Aluminio				
	2.1	Materia Prima Aluminio		1	4716
	2.2.	Mecanizado		1	4500
3	Placas Acero Inferior / Superior				
	3.1.	Materia Prima Acero	Bazan	2	8470
	3.2.	Mecanizado Placas	Bazan	2	
4	Vidrio Templado		Vidrios S.R.L.	1	900
5	Buloneria				
	5.1.	Varilla Roscada M20	Ferro Delivery	1m	147.8
	5.2.	Tuerca Hexagonal M20	Ferro Delivery	16	50
	5.3.	Tornillo C/Allen Inox. M6	Ferro Delivery	16	48
	5.4.	Macho Ac. Rapido M6	Ferro Delivery	1	275
	5.5.	Entrerosca 1/4 BSP	Buloneria JC	1	75
	5.6.	Macho Ac. 1/4 x 19 BSP	Buloneria JC	1	200
	5.7.	Tornillo C/Allen Inox. M10 x 30	Ferro Delivery	8	197.9
	5.8.	Arandela Groover M10	Ferro Delivery	8	
	5.9.	Tuerca Hex. Inox. M10	Ferro Delivery	8	
6	Burlete Silicona		Sologoma	10m	3000
7	Mano de Obra				
	7.1.	Soldadura	Process & Solutions S.A.	-	1000
COSTO TOTAL MOLDE				\$ 25.480,00	

9.2. Sistema de Inyección

N°	DESCRIPCIÓN		PROVEEDOR	CANTIDAD	COSTO
1	Caño 4" (Evolvente)		Process & Solutions S.A.	0.5m	500
2	Casquete Toriesférico		Mercadolibre	1	331
3	Brida Ciega		Dessol	1	596.48
4	Brida Slip On		Dessol	1	539.85
	4.1.	Mecanizado	Dogal Industria	1	200
5	Niple 3/4"		Process & Solutions S.A.	1	140
6	Manguera Teflon reforzado		Trhimet S.R.L	2m	1355
7	Válvula Miniesférica		CER America Latina S.A.	2	154.88
			Mercadolibre	2	154
			Siemens	2	154
8	Bulonería				
	8.1.	EntreRosca 1/4"	SB Argentina	2	79
	8.2.	Rosca c/Tuerca 1/4"	SB Argentina	2	15.88
	8.3.	Tuerca Hex. Inox. M8	Ferro Delivery	8	23.4
	8.4.	Tornillo C/Hex. Inox. M8 x 30	Ferro Delivery	8	57.9
	8.5.	Bulon c/Allen M4 x 15	Ferro Delivery	4	30
	8.6.	Tuerca Hex. M4	Ferro Delivery	2	10
9	Manguera descartable		Burletería	1m	600
10	Mano de Obra		Process & Solutions S.A.	-	700
COSTO TOTAL TANQUE				\$ 5.642,00	

9.3. Estructura Soporte

N°	DESCRIPCIÓN		PROVEEDOR	CANTIDAD	COSTO
1	Estructural 35 x 35 x 2 mm		Hierros torrent	6m	400
2	Porta Rodamientos		Mercadolibre	2	360
3	Macizo $\phi 1/4"$ - AISI 304L		Process & Solutions S.A.	0.5 m	500
4	Accesorio Pata plastico		Ferrogom	9	150
5	Mano de Obra				
	5.1.	Soldadura	Process & Solutions S.A.	1	1000
COSTO TOTAL ESTRUCTURA SOPORTE				\$ 2.410,00	

10. ANEXOS

10.1. Calculo de presión de tanque a 5 bar

Se utilizo la Norma ASME BPVC sección VIII – División 1

En la misma, se analizan las tensiones en un cuerpo cilíndrico sometido a una presión interior. El espesor requerido en función de la presión interior y la presión admisible en función del espesor pueden calcularse a partir del valor del radio interno (R) o externo (R_0).

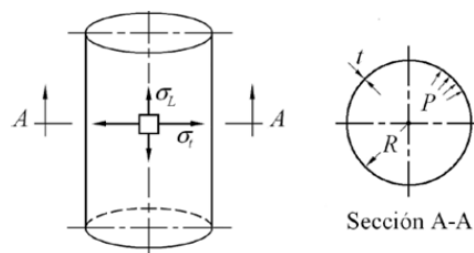


Figura V: Tensiones de cuerpo cilíndrico

$$t_r = \frac{PR}{SE - 0,6P} = \frac{PR_0}{2SE + 0,4P}$$

$$P_a = \frac{SEt}{R + 0,6t} = \frac{SEt}{R_0 - 0,4t}$$

Si $t \leq R / 2$ o $P \leq 0,385 SE$

Donde:

S : Tension maxima admisible [Kg/cm^2]

E : Eficiencia de la junta en las soldaduras

t_r : Espesor minimo requerido para el cuerpo [cm]

R : Radio interior [cm]

R_0 : Radio exterior [cm]

P_a : Presion admisible [bar]

La presión de diseño (P) utilizada para el proyecto fue de $4,6 \text{ kg/cm}^2$, utilizando un espesor nominal (t) de $0,2 \text{ cm}$ y considerando una corrosión (c) de $0,05 \text{ cm}$, se calcularon los distintos espesores minimos requeridos.

Los espesores requeridos por las distintas partes del recipiente se calculan a continuación.

1.a Cuerpo Cilíndrico

Espesor nominal considerando corrosión:

$$t_{corr} = t - c = 0,2 - 0,05 \dots \dots \dots t_{corr} = 0,15 \text{ cm}$$

Espesor mínimo considerando corrosión y tolerancia de fabricación ($\pm 12,5\%$):

$$t_{min} = tT_{fabr} - c = 0,2 \times 0,875 - 0,05 \dots t_{min} = 0,125 \text{ cm}$$

Radio interno: $R = \frac{D_o}{2} - t_{corr} = \frac{10,16}{2} - 0,15 \dots R = 4,93 \text{ cm}$

Esfuerzo Tangencial

La eficiencia de la junta longitudinal corresponde a un caño: $E = 0,6$

Material SAE 304L $S = 1203,246 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

Según la ecuación en Norma ASME el espesor mínimo para el cuerpo se calcula de la siguiente manera:

$$t_r = \frac{PR}{SE - 0,6P} = \frac{4,6 \times 4,93}{1203,24 \times 0,6 - 0,6 \times 4,6} = 0,0313 \text{ cm} \dots t_{min} = 0,125 \text{ cm} > t_r \quad \gg \text{ Verifica}$$

Esfuerzo Longitudinal

La eficiencia de la junta longitudinal corresponde a un caño: $E = 0,6$

Material SAE 304L $S = 1203,246 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

Según la ecuación en Norma ASME el espesor mínimo para el cuerpo se calcula de la siguiente manera:

$$t_r = \frac{P R_o}{2SE + 0,4P} = \frac{4,6 \times 5,08}{2 \times 1203,25 \times 0,6 + 0,4 \times 4,6} = 0,016 \text{ cm} \dots t_{min} = 0,125 \text{ cm} > t_r \quad \gg \text{ Verifica}$$

Presión admisible

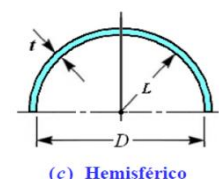
Se calcula la presión admisible del Tanque

$$P_a = \frac{SEt}{R + 0,6t} = \frac{1203,25 \times 0,6 \times 0,2}{4,93 + 0,6 \times 0,2} \dots P_a = 28,59 \text{ cm}$$

$$P_a = \frac{SEt}{R_o - 0,4t} = \frac{1203,25 \times 0,6 \times 0,2}{5,08 - 0,4 \times 0,2} \dots P_a = 28,88 \text{ cm}$$

1.b Cabezal hemisférico

El espesor requerido t_r (o la presión admisible P_a) para este tipo de cabezal es:



$$t_r = \frac{PL}{2SE - 0,2P}$$

$$P_a = 2 \times \frac{SEt}{L + 0,2t}$$

Si $t \leq 0,356 L$ o $P \leq 0,665 SE$

Espesor nominal considerando corrosión:

$$t_{corr} = t - c = 0,2 - 0,05 \dots t_{corr} = 0,15 \text{ cm}$$

Radio conformado del cabezal:

$$L = R = \frac{D_0}{2} - t_{corr} = \frac{10,16}{2} - 0,15 \dots\dots\dots L = 4,93 \text{ cm}$$

La eficiencia de la junta circunferencial del accesorio soldado al cuerpo..... $E = 0,6$

Material SAE 304L $S = 1203,246 \frac{Kg}{cm^2}$

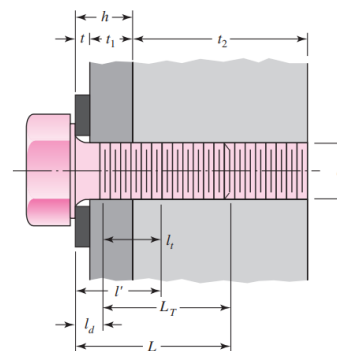
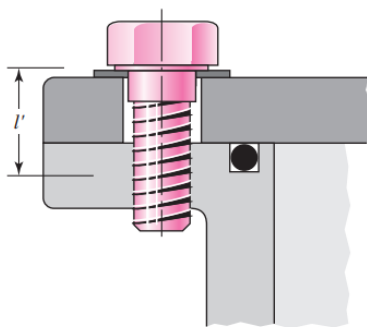
$$t_r = \frac{PL}{2SE - 0,2P} = \frac{4,6 \times 4,93}{2 \times 1203,25 \times 0,6 - 0,2 \times 4,6} \dots\dots\dots t_r = 0,0157 \text{ cm}$$

$$t_{corr} = 0,15 \text{ cm} > t_r \gg \text{Verifica}$$

$$P_a = 2 \times \left(\frac{SEt}{L + 0,2t} \right) = 2 \times \left(\frac{1203,25 \times 0,6 \times 0,2}{4,93 + 0,2 \times 0,2} \right) \dots\dots\dots P_a = 29,05 \text{ Kg/cm}^2$$

10.2. Calculo resistencia bulón de tanque

Se procede a calcular las propiedades y rigidez de los sujetadores. Según la configuración de nuestro sistema.



Con la geometría de nuestro sistema de sujeción y pernos utilizados, tenemos que la longitud de agarre (l) es

$$l = h + \frac{d}{2} = 10 + \frac{8}{2} = 14 \text{ mm}$$

$$L = h + 1,5d = 10 + 1,5 \times 8 = 22 \text{ mm}$$

Para la serie de sujetadores métricos, la longitud roscada (L_T) se define como:

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6mm, & L \leq 125, d \leq 48 \text{ mm} \\ 2d + 12 mm, & 125 < L \leq 200 \text{ mm} \\ 2d + 25mm, & L > 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Por lo tanto, $L_T = 2d + 6 \text{ mm} \dots\dots\dots L_T = 22 \text{ mm}$

El área sin roscar se define como $A_d = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 8^2}{4} \dots\dots\dots A_d = 50,27 \text{ mm}^2$

Los diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino se muestran en la siguiente tabla:

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_u , mm ²	Área del diámetro menor A_v , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_u , mm ²	Área del diámetro menor A_v , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259

De la tabla superior se obtiene el área roscada (A_t) para un sujetador de $d=8\text{mm}$

$$A_t = 36,60 \text{ mm}^2$$

La longitud sin roscar (l_d) se define: $l_d = L - L_T = 14 - 14 = 0 \text{ mm}$

La longitud roscada en el agarre (l_t) se define: $l_t = l - l_d = 14 - 0 = 14 \text{ mm}$

Con las propiedades calculadas y geometría de los sujetadores utilizados, se puede calcular la rigidez efectiva estimada del perno en la zona de sujeción:

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

Donde:

A_d : Area sin roscar [mm^2]

A_t : Area roscada [mm^2]

E : Coeficiente de Elasticidad = 207.000 MPa

l_d : Longitud sin roscar del sujetador [mm]

l_t : Longitud roscada en el agarre [mm]

$$\text{Por lo tanto, } k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} = \frac{50,27 \times 36,6 \times 207000}{50,27 \times 14 + 36,6 \times 0} = 541157,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

B.b Carga externa:

Se debe considerar cuando se aplica una carga externa de tensión P a una unión con pernos. Se debe suponer que la fuerza de sujeción, a la que se llama precarga (F_i), se ha aplicado de manera correcta apretando la tuerca antes de aplicar P . Se empleará la siguiente nomenclatura.

F_i : Precarga [MPa]

P : Carga externa de tension

F_b : $P_b + F_i$: carga resultante en el perno [MPa]

F_m : $P_m - F_i$: carga resultante en los elementos [MPa]

C : constante de rigidez de la union

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Se procede a calcular la rigidez del elemento (k_m), con datos obtenidos de la siguiente tabla y según la siguiente formula obtenido de [1]:

Constants for Joint Stiffness Formula

Material	Poisson's ratio, ν	Modulus of Elasticity, E, GPa	Numerical Constants	
			A_i	B_i
Steel	0.291	206.8	0.78715	0.62873
Aluminum	0.334	71.0	0.79670	0.63816
Copper	0.326	118.6	0.79568	0.63553
Gray cast iron	0.211	100.0	0.77871	0.61616

$$k_m = Ae\left(\frac{Bd}{l}\right)Ed = 0,78715 \times e^{\left(\frac{0,62873 \times 8}{14}\right)} \times 207000 \times 8 = 1867042,44 \text{ MPa}$$

Con los datos obtenidos, se calcula que la constante de rigidez de la unión es:

$$C = \frac{541157,14}{541157,14 + 1867042,44} = 0,22$$

Para obtener la precarga necesaria o recomendada, se utiliza la siguiente directriz:

$$F_i = \begin{cases} 0,75F_p & \text{para conexiones no permanentes, sujetadores reutilizados} \\ 0,90F_p & \text{para conexiones permanentes} \end{cases}$$

Donde F_p es la carga de prueba, que se obtiene mediante la ecuación:

$$F_p = A_t S_p = 36,6 \times 225 = 8235 \text{ MPa}$$

Donde:

S_p : Resistencia de prueba minima (225 MPa) para clase 4.6 M8

La precarga al utilizar sujetadores reutilizados se calcula:

$$F_i = 0,75 \times 8235 = 6176,25 \text{ MPa}$$

Al utilizar un empaque completo en la unión entre metales, la presión del empaque (p) se determina dividiendo la fuerza en los elementos entre el área de la union por perno. Así, con una cantidad de $N = 8$ pernos,

$$p = - \frac{F_m}{A_g/N} \quad (a)$$

Con un factor de carga ($n = 1$), la carga en los elementos (F_m) puede escribirse como:

$$F_m = (1 - C)nP - F_i$$

Sustituyendo esto en la ecuación (a) se obtiene la presión del empaque como:

$$p = [F_i - nP(1 - C)] \frac{N}{A_g} \quad (b)$$

Donde:

A_g : Area de presión [mm^2]

p : presión interna [MPa]

n : factor de carga

F_m : Carga en los elementos [MPa]

F_i : Precarga de los elementos [MPa]

C : Constante de rigidez de la junta

N : número de pernos

Conociendo la geometría de la junta, $D_{junta} = 117,6 \text{ mm}$ se pueden obtener los siguientes valores:

$$A_g = \frac{\pi D_{junta}^2}{4} = \frac{\pi 117,6^2}{4} = 10861,87 \text{ mm}^2$$

En uniones con empaque completo resulta importante la uniformidad de la presión en el empaque. Para mantener la adecuada uniformidad, los pernos adyacentes no se deben colocar con una separación mayor de siete diámetros nominales en el circuito de pernos.

El diámetro de círculos de pernos $D_d = 134 \text{ mm}$ me permite calcular el espaciamiento (s) de nuestra geometría.

$$s = \frac{\pi D_d}{Nd} = \frac{\pi \times 134}{8 \times 8} = 6,58 \quad \gggg \text{ Verifica } (3 \leq s \leq 7)$$

Con una presión interna ($p = 5 \text{ bar} = 0,5 \text{ MPa}$) de diseño, se puede calcular la carga en los elementos (F_m):

$$F_m = \frac{pA_g}{N} = \frac{0,5 \times 10861,87}{8} = 678,87 \text{ N}$$

Despejando la carga en tensión (P) de la ecuación (b) se obtiene:

$$P = \frac{(F_m F_i)}{[(1 - C)n]} = \frac{(678,87 \times 6176,26)}{[(1 - 0,22) \times 1]} = 8842,05 \text{ N}$$

Se verifican los cálculos obtenidos mediante los factores de seguridad de diseño:

Primero se verifica considerando un factor de carga (n), cualquier valor de $n > 1$ asegura que el esfuerzo en el perno es menor que la resistencia de prueba.

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{C \times P/N} = \frac{225 \times 36,6 - 6176,25}{0,22 \times 8842,05/8} = \mathbf{13,50}$$

Con el valor obtenido, se puede asumir que se evita que el esfuerzo en el perno se vuelva igual a la resistencia de prueba.

Para averiguar si ante una fuerza P muy grande, la unión se separara y el perno recibirá toda la carga, se utiliza el factor de separación (n_o). El mismo se calcula de la siguiente manera:

$$n_o = \frac{F_i}{P(1 - C)} = \frac{6176,25}{8842,05 \times (1 - 0,22)} = \mathbf{11,73}$$

Por último, se verifica la posibilidad de fluencia, usando la resistencia de prueba (n_p)

$$n_p = \frac{S_p A_t}{CF_m + F_i} = \frac{225 \times 36,6}{0,22 \times 678,87 + 6176,25} = \mathbf{1,30}$$

Como último se realizó el cálculo del par torsor recomendado para generar la precarga del perno reutilizable.

Se obtuvo el factor de par de torsión para un perno sin recubrimiento a partir de la siguiente tabla:

Condición del perno	K
Sin recubrimiento, acabado negro	0.30
Galvanizado	0.20
Lubricado	0.18
Con recubrimiento de cadmio	0.16
Con Anti-Seize Bowman	0.12
Con tuercas Bowman-Grip	0.09

Por lo tanto $K = 0,30$ y el par recomendado se obtiene de la siguiente manera:

$$T_{\text{recomendado}} = KF_i d = 0,3 \times 6176,25 \times 8 = \mathbf{148,23 \text{ Nm}}$$

10.3. Calculo resistencia varillas roscadas de bastidor

En este inciso, se busca obtener el factor de seguridad para los sujetadores M20 x 2.5 del bastidor con la siguiente geometría:

$$\text{Area resistente de sujetador: } A_t = 245 \text{ mm}^2$$

$$\text{Distancia de separacion: } L = 150 \text{ mm}$$

Resistencia de prueba minima: $S_p = 225 \text{ MPa}$ (Clase 4.6 M20)

El Área de presión (A_p) se calcula como el área donde la presión actuara sobre el molde. Se simplifico la geometría del área para facilitar calcular

$$A_p = L_A \times L_B = 409 \times 294 = 120246 \text{ mm}^2$$

Se realizan los cálculos para una presión de diseño $P_i = 5 \text{ bar} = 0,5 \text{ MPa}$

De esta manera la carga total es:

$$P_{tot} = A_p P_i = 120246 \times 0,5 = \mathbf{60123 \text{ N}}$$

Dividiendo esta carga por la cantidad de sujetadores $N=4$, se obtiene la carga soportada por cada sujetador:

$$P_{sujetador} = \frac{P}{N} = 60123/4 = \mathbf{15030,75 \text{ N}}$$

Por lo tanto, el factor de fluencia para los sujetadores del molde se define como:

$$n_p = \frac{S_p}{P_{sujetador}/A_t} = \frac{225}{15030,75/245} = \mathbf{3,6675} \gggg \text{ Verifica}$$

10.4. Calculo espesor de Brida

Se busca el espesor mínimo a utilizar para la tapa del Tanque de presión. Por lo tanto, basándonos en los cálculos de flexión se tiene:

$$\delta f = \frac{Mf}{Wf}$$

Donde:

$\delta f = \text{Tension de flexion calculada} \leq \delta_{adm}$

$Mf = \text{Momento Flexor}$

$Wf = \text{Modulo resistente}$

El Momento Flexor se expresa de la siguiente manera:

$$Mf = F \times L = \frac{D_{ext}^2 \cdot \pi \cdot P_t}{4} \times \frac{(D_{aguj} - d_{int})}{2}$$

Donde:

$D_{ext} = \text{Diametro exterior brida}$

$D_{int} = \text{Diametro interior brida}$

$D_{aguj} = \text{Diametro centro de agujeros}$

$P_t = \text{Presión de trabajo proyecto}$

De la misma manera, se busca la expresión del Módulo resistente:

$$W_f = \frac{B \cdot E^2}{6}$$

Donde:

$$B = \pi \cdot D_{aguj}$$

$E = \text{Espesor Brida}$

Por lo tanto, el Módulo resistente queda:

$$W_f = \frac{E^2 \cdot \pi \cdot D_{aguj}}{6}$$

Por lo tanto,

$$\delta_f = \frac{M_f}{W_f} \rightarrow \frac{F \cdot L}{\frac{E^2 \cdot \pi \cdot D_{aguj}}{6}} \rightarrow \frac{P_t \cdot \pi \cdot D_{ext}^2 \cdot L \cdot 6}{4 \cdot E^2 \cdot \pi \cdot D_{aguj}} \leq \delta_{adm}$$

$$\rightarrow E = D_{ext} \sqrt{\frac{P_t \cdot L \cdot 3}{2 \cdot \delta_{adm} \cdot D_{aguj}}} = D_{ext} \sqrt{\frac{P_t \cdot \frac{(D_{aguj} - d_{int})}{2} \cdot 3}{2 \cdot \delta_{adm} \cdot D_{aguj}}}$$

Al trabajar con AISI 304L conozco las propiedades del material y los diámetros necesarios para el diseño son datos conocidos.

$$D_{ext} = 127 \text{ mm}$$

$$P_t = 4,5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$D_{aguj} = 134 \text{ mm}$$

$$D_{int} = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_{adm} = 1020 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Aplicando las fórmulas y los datos propuestos, se obtiene la siguiente solución:

$$E = 127 \sqrt{\frac{4,5 \times \left(\frac{134 - 0}{2}\right) \times 3}{2 \times 1020 \times 134}} = 7,305 \text{ mm}$$

Se decide utilizar un $E = 10 \text{ mm}$

10.5. *Selección de O'Ring en Tapa de Tanque*

Para la selección del tamaño de O'Ring, se trabajó con el "Catálogo de O'Ring" de Parker. De la misma manera, cabe destacar que el alojamiento del O'Ring, se diseñó teniendo en cuenta las recomendaciones de este catálogo. Las mismas se detallan a continuación:

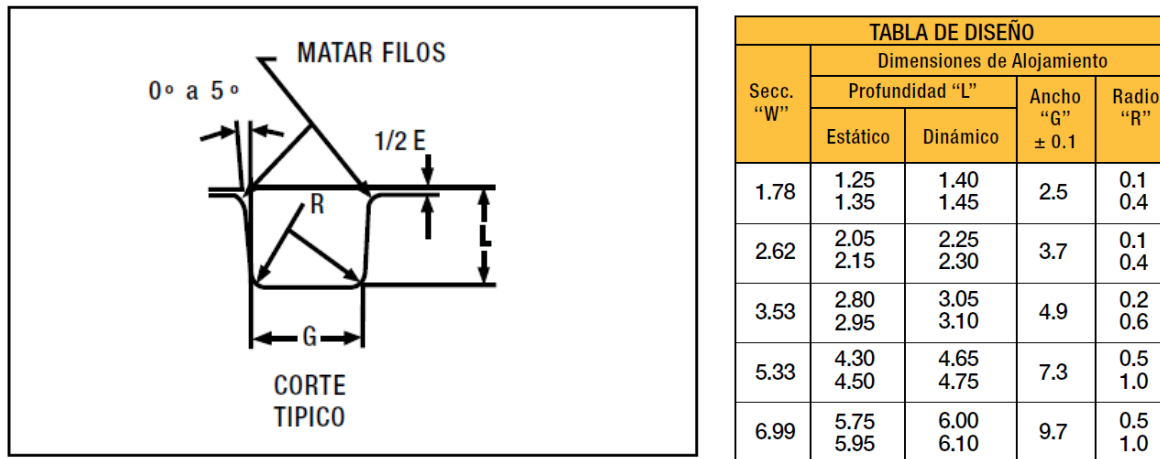


Figura W: Dimensionamiento de alojamiento de O'Ring

Se diseñó el alojamiento del O'Ring para una sección "W" = 1.78. Se utilizaron las tablas de O'Ring Parker para designar el O'Ring más adecuado para esta fabricación. En función del diámetro interno y externo de nuestro sistema se seleccionó el O'Ring Parker N° 2-034 (DI= 53,70 mm y DE=57,26 mm)

Parker N°	DI mm	DE mm
2-031	44.17	47.73
2-032	47.35	50.91
2-033	50.52	54.08
2-034	53.70	57.26
2-035	56.87	60.43
2-036	60.05	63.61
2-037	63.22	66.78
2-038	66.40	69.96
2-039	69.57	73.13
2-040	72.75	76.31

Figura X: O'Ring seleccionado

Para una mayor ampliación del método de selección del O'Ring, referirse al catálogo de selección de O'Ring Parker.

10.6. Cálculo de resistencia del molde (FEA)

Para realizar el estudio de elementos finitos se modelaron las piezas en el programa CAE NX cuyo motor de elementos finitos es Nastran. Luego se utilizó una malla tridimensional tipo CHEXA20 para mallar los sólidos y un mallado de elementos cascaras CQUAD8 para mallar el bastidor. Además, se eliminaron los sujetadores roscados y se remplazaron por elementos unidimensionales obteniendo finalmente las mallas observadas en la *figura Y*.

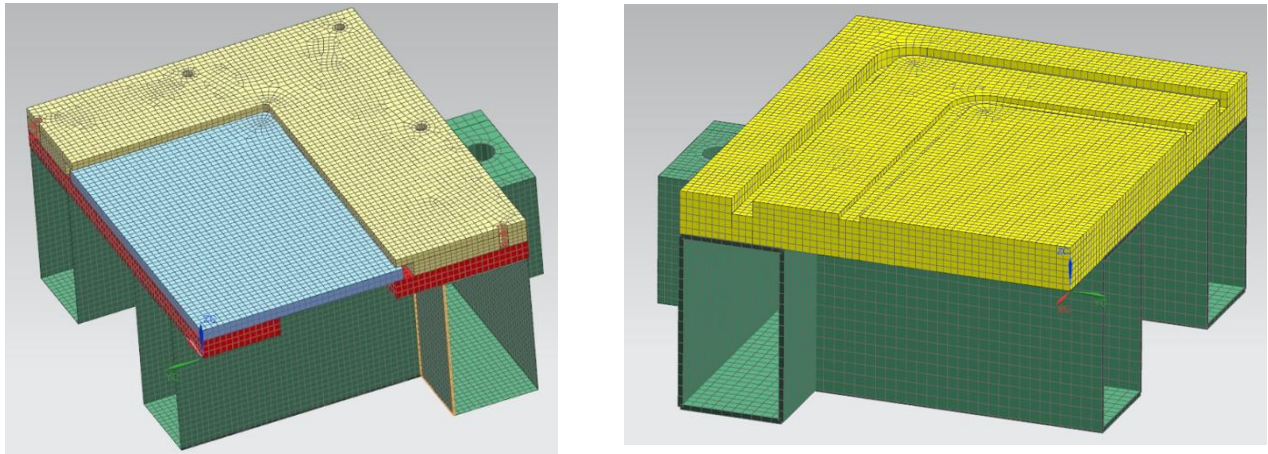


Figura Y: Mallados de CAE NX para bastidor conjunto superior e inferior (imagen izquierda y derecha respectivamente)

Para reducir la cantidad de piezas y tamaño del modelo se separó el problema en la parte superior (compuesta por: bastidor, marco estructural y vidrio) e inferior (compuesta por bastidor y matriz de aluminio).

Para obtener mallas más sencillas y fácil de procesar, se simplificó la geometría de la matriz de aluminio que presenta pequeños canales y agujeros pasantes para el ingreso de la resina. Estos tendrían un impacto mínimo en la configuración de tensiones finales y de esta manera la malla propia de la pieza puede ser más gruesa, obteniendo resultados más rápidos y con buena precisión. Lo mismo se hizo en el bastidor que presentaba pequeños agujeros en zonas de baja tensión para acoplar a la estructura de soporte. Para que el modelo siga siendo válido se verificó en todos los casos que las modificaciones a la geometría sean en lugares de baja tensión y alejados de bordes u otros concentradores de tensión que puedan producir tensiones no admisibles.

En la estructura superior, las uniones realizadas con bulones M6 en todo el marco del vidrio se encontraron en zonas alejadas de la tensión máximas y los agujeros son lo suficientemente pequeños y alejados de los bordes como para poder eliminarlos, de todas maneras, para simular correctamente la unión, se decidió mantener los agujeros y utilizar elementos unidimensionales para así transmitir con mayor fidelidad las tensiones.

En cuanto al bastidor de soporte se transformó de un sólido a una superficie (cascara) con el espesor correspondiente.

Sabiendo que una vez llena la matriz de resina y cerrada la salida, el gradiente de presiones se eliminará y la carga será uniforme, se explota la simetría doble del problema según se observa en las figuras adjuntas. Cortando el modelo por el plano ZY y ZX, obteniendo un cuarto del conjunto según se observa en la *figura Z*. Esto reducirá el procesamiento del problema a un cuarto del original.

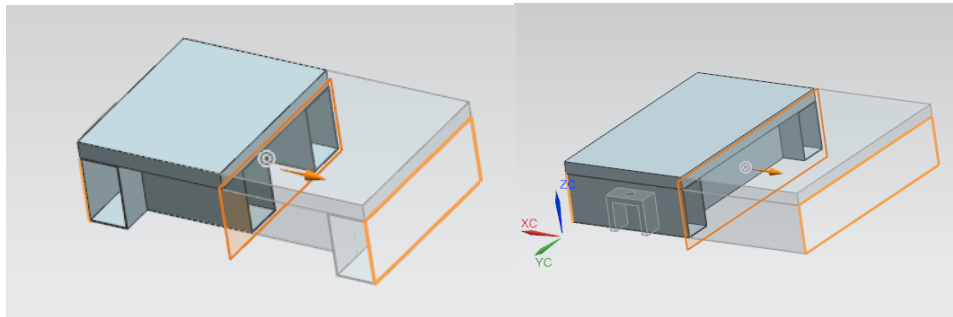


Figura Z: Simetría en planos debido a simetría en diseño

Se realizaron luego sucesivos mallados adaptándolos en función de las tensiones obtenidas. Se debe considerar que ciertos puntos tendrán tensiones altas debido a la geometría del modelo, como ser los ángulos agudos de la estructura donde el mallado puede producir singularidades en las tensiones. En esos puntos particulares lo que ocurrirá a la hora de refinar es que las tensiones tenderán a divergir como se observa en la esquina del bastidor en la *figura AA*.

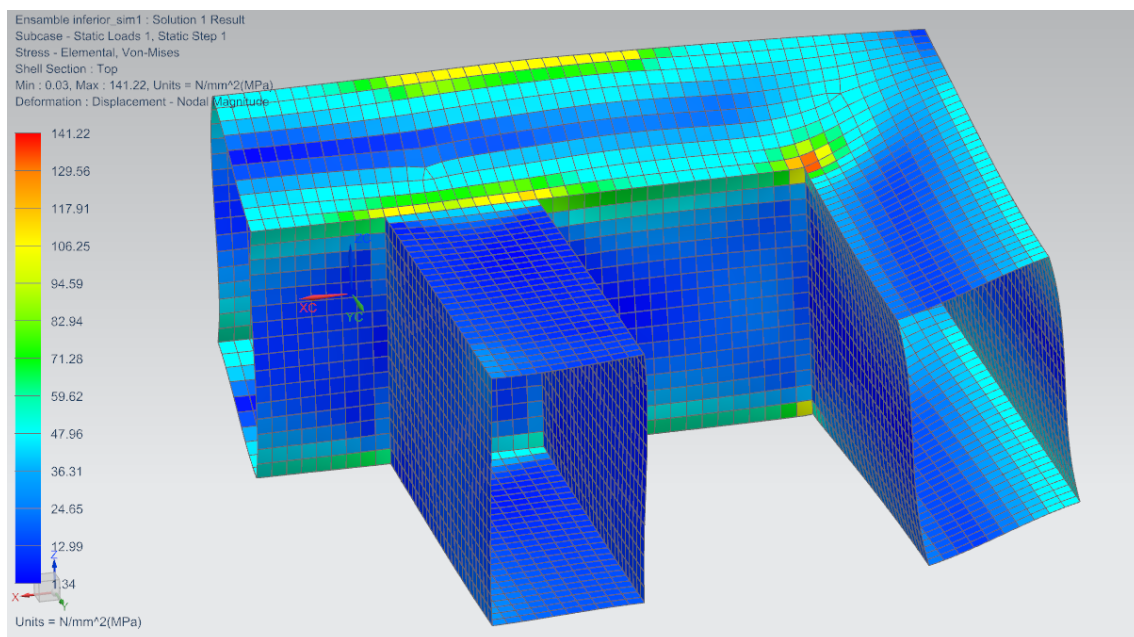


Figura AA: Tensiones de VM en la estructura del bastidor

En la realidad, los materiales no presentan ángulos agudos de encuentro si no que estos serán radios, o filetes de soldadura, por lo que las tensiones en estos puntos no son representativas de la realidad. Y en todo caso lo que ocurrirá es una pequeña plastificación localizada que distribuirá las tensiones.

Para las condiciones de borde se aplicó simetría en las caras anteriormente mencionadas y se fijó el agujero de la oreja del bastidor en el lugar donde ajustaría el pasador M20. Si bien esta no es una representación exacta de lo que ocurrirá en el agujero, se desestimaron los resultados en la cercanía de este.

Además, para que las piezas del modelo interactúen entre sí, se utilizaron dos condiciones de bordes adicionales dependiendo de la interacción:

- La unión de caras fue requerida en los casos en que se simularon soldaduras como la simulación entre el sujetador y el bastidor de soporte.
- la unión de contacto fue utilizada en aquellos puntos donde los materiales tienen contactos ya sea normales o tangenciales sin unión y deban transferir tensiones. *(Para ellos se debieron ingresar los coeficientes de rozamiento entre los materiales obtenidos de la bibliografía de referencia).*

En cuanto a los desplazamientos, se obtuvieron para la parte superior valores máximos del orden del milímetro en la dirección Z en el vidrio. Sin embargo, no son estos valores los de mayor interés. Al requerir que la pieza obtenida por RTM sea dimensionalmente lo más pareja posible se debe hacer un análisis de la distorsión en la cavidad. Al ejercer presión interna, debido la elasticidad de los elementos, se obtiene finalmente una pieza biconvexa como la observada en la *figura BB*.

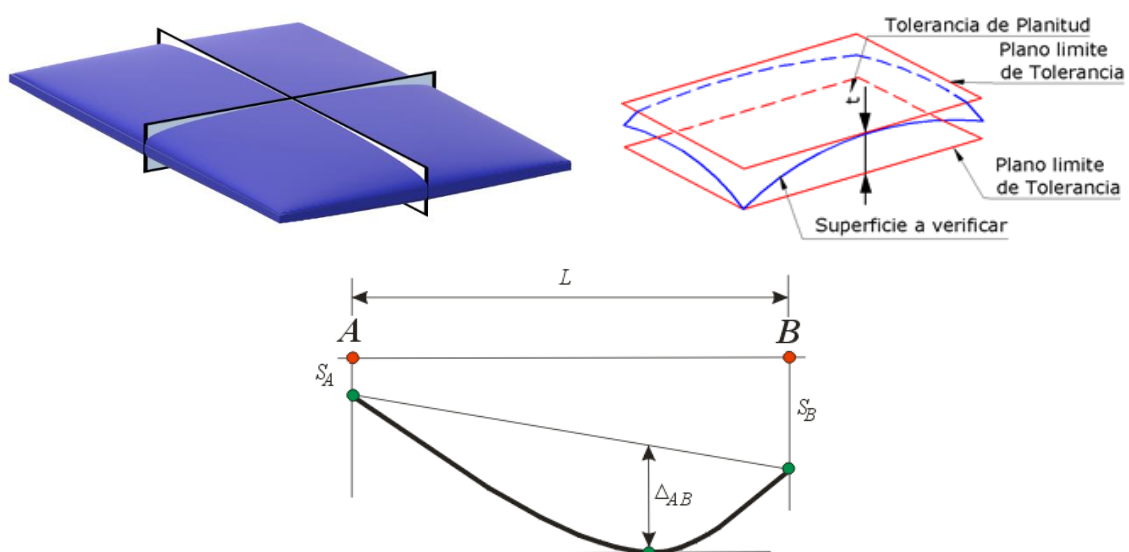


Figura BB: Forma final de la placa de RTM, tolerancia dimensional y deflexión relativa en placa

La diferencia máxima de altura obtenida es de 0,722mm en la tapa superior y 0.1 mm en la matriz de aluminio lo que da una tolerancia de planitud de: $0.722\text{mm} + 0.1\text{mm} = 0.8\text{mm}$. Al considerar que la placa resultante será de 243 x 354 mm y se pueden lograr impresión de placas de entre 3 a 6mm de espesor, podemos decir que el valor es aceptable.

Analizando las tensiones, se observa que la tensión de Von Mises máxima obtenida en el vidrio templado (que es el componente más crítico en materia de seguridad) fue de 35 MPa promedio en la zona en la cual se encuentran los visores, se puede observar que las tensiones son YY mayoritariamente en esta zona y ocurren en el borde inferior por un máximo de 40Mpa (*Figura DD* y *Figura EE*). Según la bibliografía las tensiones admisibles para vidrio templado están en el orden del doble de esta. Al ser el vidrio un material de falla frágil. Es importante que los bordes sean pulidos para poder eliminar cualquier micro fisura que pueda presentarse.

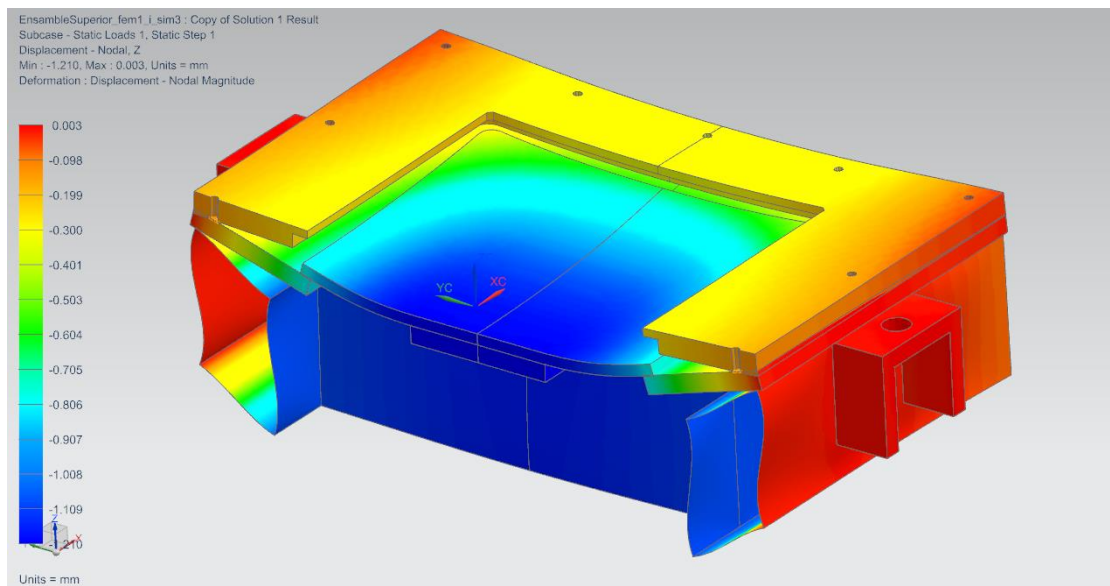


Figura CC: Desplazamientos en la sección superior del modelo.

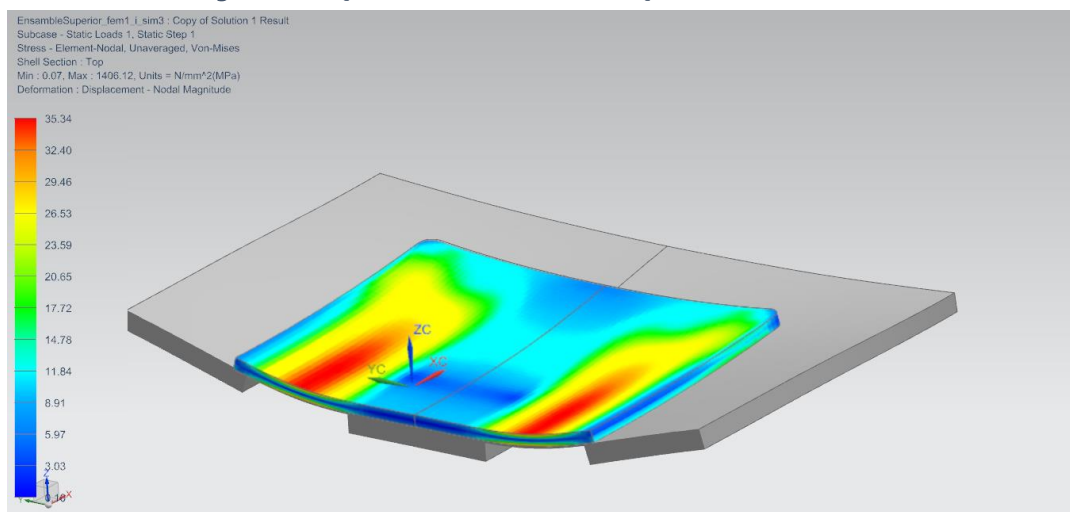


Figura DD: Tensiones de Von Mises en el vidrio templado.

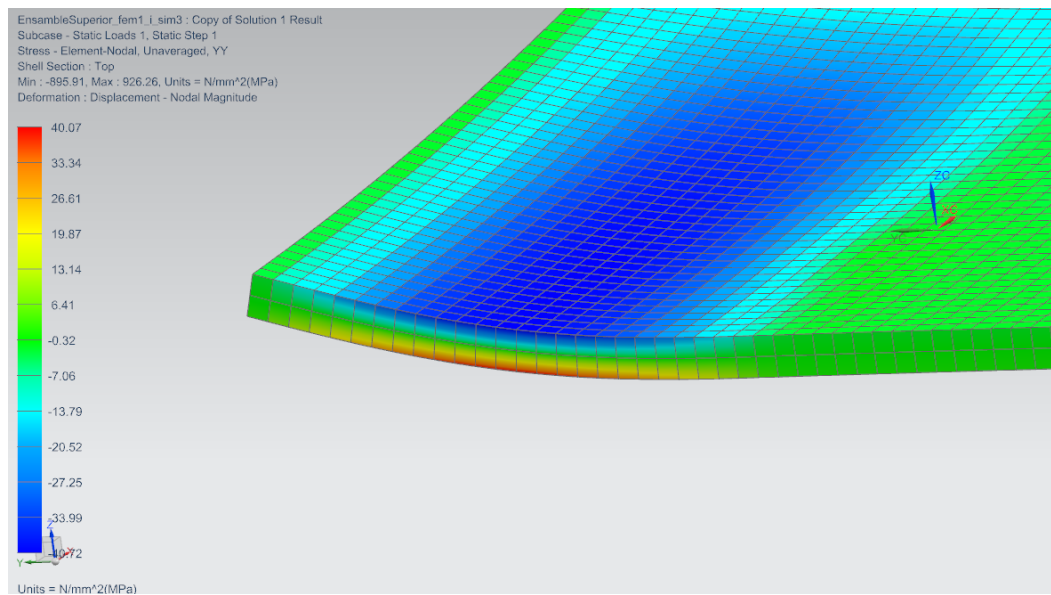


Figura EE: Tensiones normales YY en el vidrio templado.

La deflexión máxima observada es de 0.5mm. Según ensayos en vidrio templado de 10mm de espesor (Liene Sable y Kaspars Kalnins, 2012) la deflexión máxima relativa admisible para este espesor es de $L/250$ a $L/300$. Considerado que la luz (L) en este caso es de 280mm. Obtenemos por lo tanto una deflexión relativa de $L/560$ según se observa en la *figura GG*, que se considera aceptable.

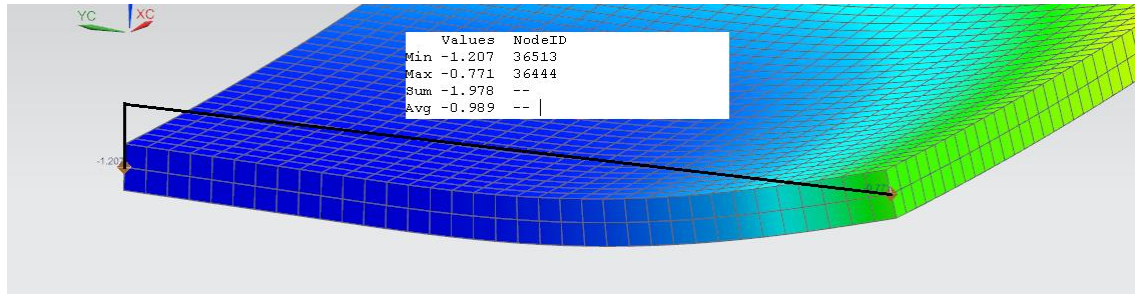


Figura GG: Deflexión relativa máxima en placa de vidrio

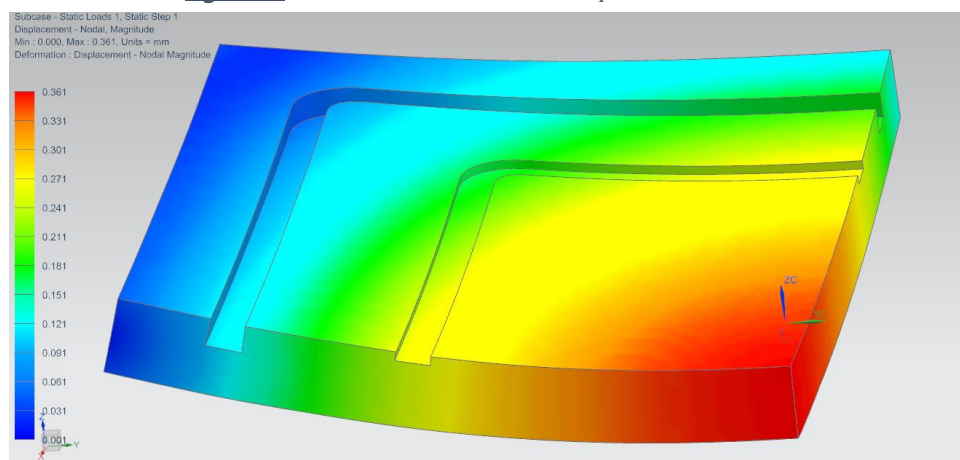


Figura FF: Desplazamientos Z en placa

10.7. Condiciones de fresado

Las piezas pertenecientes al Molde (Placa de Aluminio y Placas de Acero) fueron trabajadas para llegar a sus dimensiones finales con operaciones de fresado.

Los parámetros de fresado son los siguientes:

- Velocidad v de corte durante fresado (Velocidad periférica).

$$v = \pi \times d \times N$$

donde:

d : Diámetro de la fresa

N : Velocidad de rotación

- El avance por diente. El mismo se calcula con la siguiente ecuación:

$$s = \frac{v'}{ZN_D}$$

donde:

v' : velocidad de avance

N_D : cantidad de dientes en la periferia de la fresa

Z : Número de dientes en fresa

- El tiempo de corte t se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(l + l_c)}{v'}$$

donde:

l : longitud de la pieza

l_c : extensión del primer contacto de la fresa con la pieza

- Rapidez de remoción del material:

$$RRM = w \times d \times v$$

donde:

w : el ancho del corte

d : profundidad de corte

v : velocidad de la pieza

- Potencia:

$$P = Par \times w$$

siendo:

$$w = 2\pi N$$

- Par (producto de la fuerza tangencial en la fresa por el radio de esta):

$$Par = F_c * \left(\frac{D}{2}\right)$$

Ejemplo de Cálculo:

Pieza: Placa de Acero

Medidas finales: 540 mm x 450 mm x 12,7 mm

Material: Acero SAE 1020

Al momento de mecanizar, se puede elegir:

- A. Herramienta
- B. Velocidad de rotación (N)
- C. Velocidad de Avance (v')

10.8. Códigos G - Fresado

CODIGO CNC MOLDE / PARTE SUPERIOR		
%	G01 Y0.	G01 Y0.
G0 Z200.	G01 X539.5	G01 X72.
M03 S3215	G01 Y-284.5	G01 Y-284.5
	G01 X548.	G01 X88.
X8. Y0.	G01 Y0.	G01 Y0.
G0 Z5.	G01 Y-284.5	G01 X93.
G01 Z0. F400.	G01 X443.5	G01 Y-284.5
	G01 Y-110.	G01 Y0.
; Comienza	G01 X112.5	G01 X470.
desbaste 27 mm	G01 Y-284.5	G01 Y-16.
G01 X8. F770.	G01 X8.	G01 X93.
G01 Y-284.5	G01 Y0.	G01 Y-32.
G01 X24.		G01 X470.
G01 Y0.	; Comienza	G01 Y-48.
G01 X40.	terminación 27	G01 X93.
G01 Y-284.5	mm	G01 Y-64.
G01 X56.	G01 Z-0.25	G01 X470.
G01 Y0.	F400.	G01 Y-80.
G01 X72.	G01 Y-284.5	G01 X93.
G01 Y-284.5	F770.	G01 Y-96.
G01 X88.	G01 X101.	G01 X470.
G01 Y0.	G01 Y-110.	G01 X93.
G01 X104.	G01 X112.5	G01 Y-119.5
G01 Y-284.5	G01 Y-284.5	
G01 X112.5	G01 Y-110.	G02 X109. Y-
G01 Y-110.	G01 X443.5	103.5 R16.
G01 X443.5	G01 Y-284.5	G01 X447.
G01 Y-94.	G01 X455.	G02 X463. Y-
G01 X112.5	G01 Y-110.	119.5 R16.
G01 Y-78.	G01 X463.	G01 Y-203.
G01 X443.5	G01 Y-284.5	G03 X469.4 Y-
G01 Y-62.	G01 X443.5	222.2 R32.
G01 X112.5	G01 Y-110.	G02 X469.4 Y-
G01 Y-46.	G01 X112.5	243.8 R18.
G01 X443.5	G01 Y-284.5	G03 X463. Y-
G01 Y-30.	G01 X93.	263. R32.
G01 X112.5		G01 Y-284.5
G01 Y-14.	G01 Z200. F400.	G01 X473.5
G01 X443.5	G01 X0. Y0.	G01 Y0.
G01 Y0.		G01 X489.5
G01 Y-284.5	; Comienza	G01 Y-284.5
G01 X459.5	Desbaste 25 mm	G01 X505.5
G01 Y0.	G01 Z-2.	G01 Y0.
G01 X475.5	G01 X8. F770.	G01 X521.5
G01 Y-284.5	G01 Y-284.5	G01 Y-284.5
G01 X491.5	G01 X24.	G01 X537.5
G01 Y0.	G01 Y0.	G01 Y0.
G01 X507.5	G01 X40.	G01 X548.
G01 Y-284.5	G01 Y-284.5	G01 Y-284.5
G01 X523.5	G01 X56.	G01 X463.

Resin Transfer Molding Process – RTM –

Laborda, Martín Javier – Schiele, Marcos Geraldo

G01 Y-263.	G01 X93.	G01 X489.5
G02 X469.4 Y-	G01 Y-284.5	G01 Y-284.5
243.8 R32.	G01 Y0.	G01 X505.5
G03 X469.4 Y-	G01 X470.	G01 Y0.
222.2 R18.	G01 Y-16.	G01 X521.5
G02 X463. Y-	G01 X93.	G01 Y-284.5
203. R32.	G01 Y-32.	G01 X537.5
G01 Y-119.5	G01 X470.	G01 Y0.
G03 X447. Y-	G01 Y-48.	G01 X548.
103.5 R16.	G01 X93.	G01 Y-284.5
G01 X109.	G01 Y-64.	G01 X463.
G03 X93. Y-	G01 X470.	G01 Y-263.
119.5 R16.	G01 Y-80.	G02 X469.4 Y-
G01 Y-284.5	G01 X93.	243.8 R32.
G01 X8.	G01 Y-96.	G03 X469.4 Y-
G01 Y0.	G01 X470.	222.2 R18.
G01 X0.	G01 X93.	G02 X463. Y-
	G01 Y-119.5	203. R32.
; Comienzo		G01 Y-119.5
Terminación 25	G02 X109. Y-	G03 X447. Y-
mm	103.5 R16.	103.5 R16.
G01 Z-2.25	G01 X447.	G01 X109.
G01 X8. F770.	G02 X463. Y-	G03 X93. Y-
G01 Y-284.5	119.5 R16.	119.5 R16.
G01 X24.	G01 Y-203.	G01 Y-284.5
G01 Y0.	G03 X469.4 Y-	G01 X8.
G01 X40.	222.2 R32.	G01 Y0.
G01 Y-284.5	G02 X469.4 Y-	G01 X0.
G01 X56.	243.8 R18.	
G01 Y0.	G03 X463. Y-	G91
G01 X72.	263. R32.	G0 G90 Z200.
G01 Y-284.5	G01 Y-284.5	
G01 X88.	G01 X473.5	M30
G01 Y0.	G01 Y0.	%

	CODIGO CNC MOLDE / PARTE INFERIOR	
%	G01 X455.5	G01 X88.5
G0 Z200.	G01 Y-181.5	G00 Z200.
M03 S3215	G01 X467.5	G00 X0. Y0.
X8. Y0.	G01 Y0.	
G0 Z5.	G01 X479.5	; Comienza
G01 Z0. F400.	G01 Y-181.5	Desbaste 25 mm
	G01 X491.5	G01 Z-2.
; Comienza	G01 Y0.	G01 X8. F770.
desbaste 27 mm	G01 X503.5	G01 Y-181.5
G01 X8. F770.	G01 Y-181.5	G01 X20.
G01 Y-181.5	G01 X515.5	G01 Y0.
G01 X20.	G01 Y0.	G01 X32.
G01 Y0.	G01 X527.5	G01 Y-181.5
G01 X32.	G01 Y-181.5	G01 X44.
G01 Y-181.5	G01 X539.5	G01 Y0.
G01 X44.	G01 Y0.	G01 X56.
G01 Y0.	G01 X548.	G01 Y-181.5
G01 X56.	G01 Y-181.5	G01 X68.
G01 Y-181.5	G01 X443.5	G01 Y0.
G01 X68.	G01 Y-110.	G01 X80.
G01 Y0.	G01 X112.5	G01 Y-181.5
G01 X80.	G01 Y-181.5	G01 X92.
G01 Y-181.5	G01 X8.	G01 Y0.
G01 X92.	G01 Y0.	G01 X93.
G01 Y0.	G01 X0.	G01 Y-181.5
G01 X104.		G01 Y-119.5
G01 Y-181.5	; Comienza	G02 X109. Y-
G01 X112.5	terminación 27	103.5 R16.
G01 Y0.	mm	G01 X447.
G01 X470.	G01 Z-0.25	G02 X463. Y-
G01 Y-12.	F400.	119.5 R16.
G01 X112.5	G01 Y-181.5	G01 Y-181.5
G01 Y-24.	F770.	G01 Y-91.5
G01 X470.	G01 X88.5	G01 X93.
G01 Y-36.	G01 Y-115.	G01 Y-79.5
G01 X112.5	G01 X100.5	G01 X463.
G01 Y-48.	G01 Y-181.5	G01 Y-67.5
G01 X470.	G01 X112.5	G01 X93.
G01 Y-60.	G01 Y-103.5	G01 Y-55.5
G01 X112.5	G01 X463.	G01 X463.
G01 Y-72.	G01 Y-110.	G01 Y-43.5
G01 X470.	G01 X112.5	G01 X93.
G01 Y-84.	G01 X443.5	G01 Y-31.5
G01 X112.5	G01 Y-181.5	G01 X463.
G01 Y-96.	G01 X455.5	G01 Y-19.5
G01 X470.	G01 Y-103.5	G01 X93.
G01 Y-108.	G01 X463.	G01 Y-7.5
G01 X112.5	G01 Y-181.5	G01 X463.
G01 Y-110.	G01 X443.5	G01 Y0.
G01 X443.5	G01 Y-110.	G01 X93.
G01 Y-181.5	G01 X112.5	G01 X463.
G01 Y0.	G01 Y-181.5	G01 Y-181.5

Valores
Tecnología
Innovación

CODIGO CNC MOLDE / CANALETAS PARTE SUPERIOR

%	G02 X58. Y-42.	G02 X459. Y-
G0 Z200.	R16.	117.5 R14.
M03 S3215	G01 X494.	G01 Y-201.
X0. Y0.	G02 X510. Y-58.	G03 X465.8 Y-
	R16.	221.4 R34.
; Comienza	G01 Y-282.5	G02 X465.8 Y-
canaleta ext.	G01 Z-9.	240.6 R16.
; -9 mm	G01 Y-58.	G03 X459. Y-
G01 X42. y-	G03 X494. Y-42.	261. R34.
282.5	R16.	G01 Y-282.5
G00 Z5.	G01 X58.	G01 Z-3.
G01 Z-3. F440.	G03 X42. Y-58.	G01 Y-261.
G01 Y-58. F770.	R16.	G02 X465.8 Y-
G02 X58. Y-42.	G01 Y-282.5	240.6 R34.
R16.	G91	G03 X465.8 Y-
G01 X494.	G0 G90 Z200.	221.4 R16.
G02 X510. Y-58.		G02 X459. Y-
R16.	; Comienza	201. R34.
G01 Y-282.5	canaleta	G01 Y-117.5
G01 Z-6.	interna	G03 X445. Y-
G01 Y-58.	;3 mm	103.5 R14.
G03 X494. Y-42.	G01 X93. Y-	G01 X107.
R16.	282.5	G03 X93. Y-
G01 X58.	G00 Z5. F440.	117.5 R14.
G03 X42. Y-58.	G01 Z-2.75	G01 Y-282.5
R16.	G01 Y-117.5	G91
G01 Y-282.5	F770.	G0 G90 Z200.
G01 Z-8.75	G02 X107. Y-	G00 X0. Y0.
G01 Y-58.	103.5 R14.	M30
	G01 X445.	%

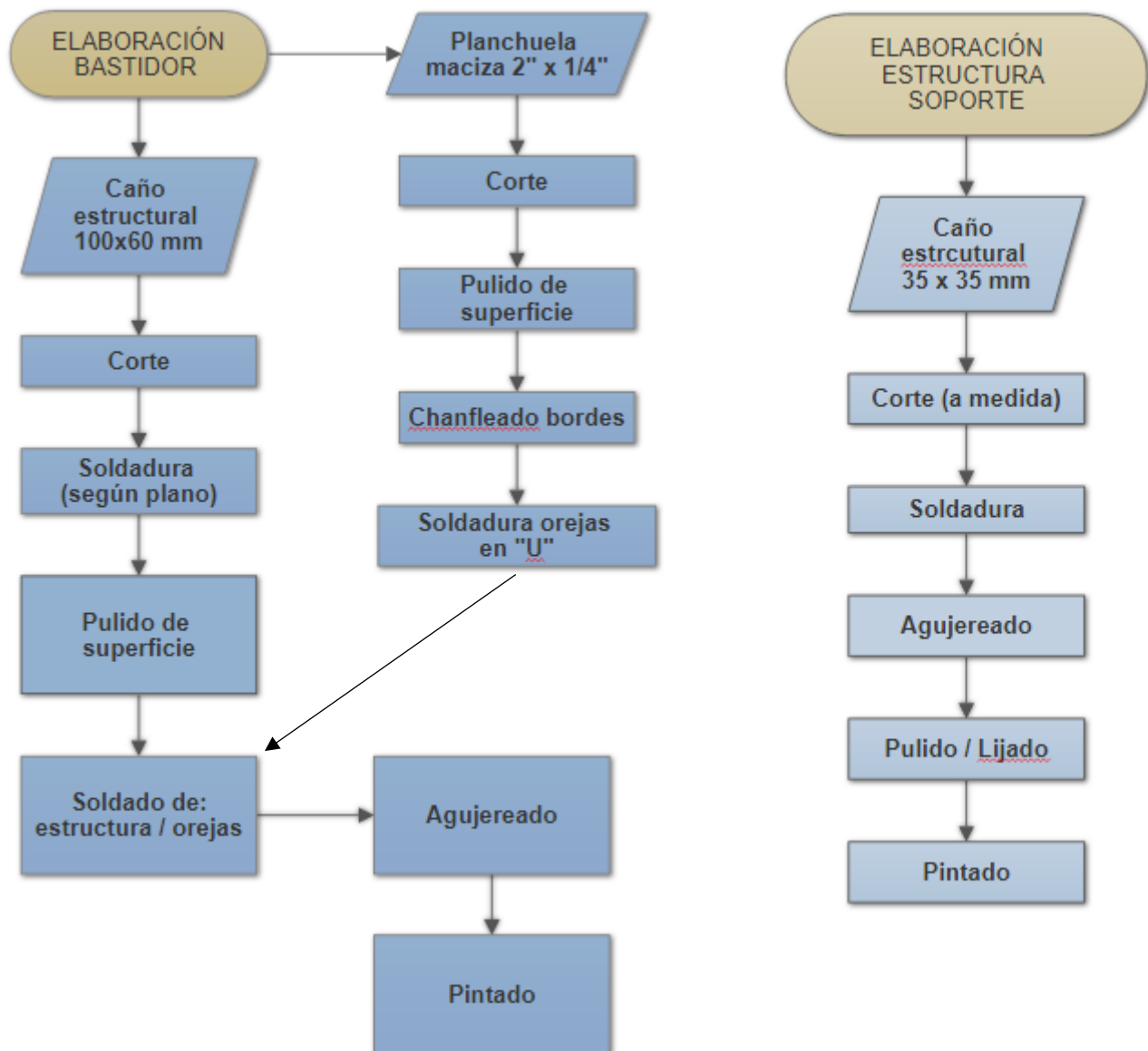
CODIGO CNC MOLDE / CANALETAS PARTE INFERIOR

%	G01 Y-179.5	G01 Z-2.75
G0 Z200.	G01 Z-8.75	G01 Y-117.5
M03 S3215	G01 Y-58.	F770.
G00 X0. Y0.	G02 X58. Y-42.	G02 X107. Y-
G01 X42. y-	R16.	103.5 R14.
179.5 F515.	G01 X494.	G01 X445.
G00 Z5.	G02 X510. Y-58.	G02 X459. Y-
G01 Z-3. F440.	R16.	117.5 R14.
G01 Y-58. F515.	G01 Y-179.5	G01 Y-179.5
G02 X58. Y-42.	G01 Z-9.	G01 Z-3.
R16.	G01 Y-58.	G01 Y-117.5
G01 X494.	G03 X494. Y-42.	G03 X445. Y-
G02 X510. Y-58.	R16.	103.5 R14.
R16.	G01 X58.	G01 X107.
G01 Y-179.5	G03 X42. Y-58.	G03 X93. Y-
G01 Z-6.	R16.	117.5 R14.
G01 Y-58.	G01 Y-179.5	G01 Y-179.5
G03 X494. Y-42.	G91	G91
R16.	G0 G90 Z200.	G0 G90 Z200.
G01 X58.	G01 X93. Y-	G00 X0. Y0.
G03 X42. Y-58.	179.5	M30
R16.	G00 Z5. F440.	%

Resin Transfer Molding Process – RTM –

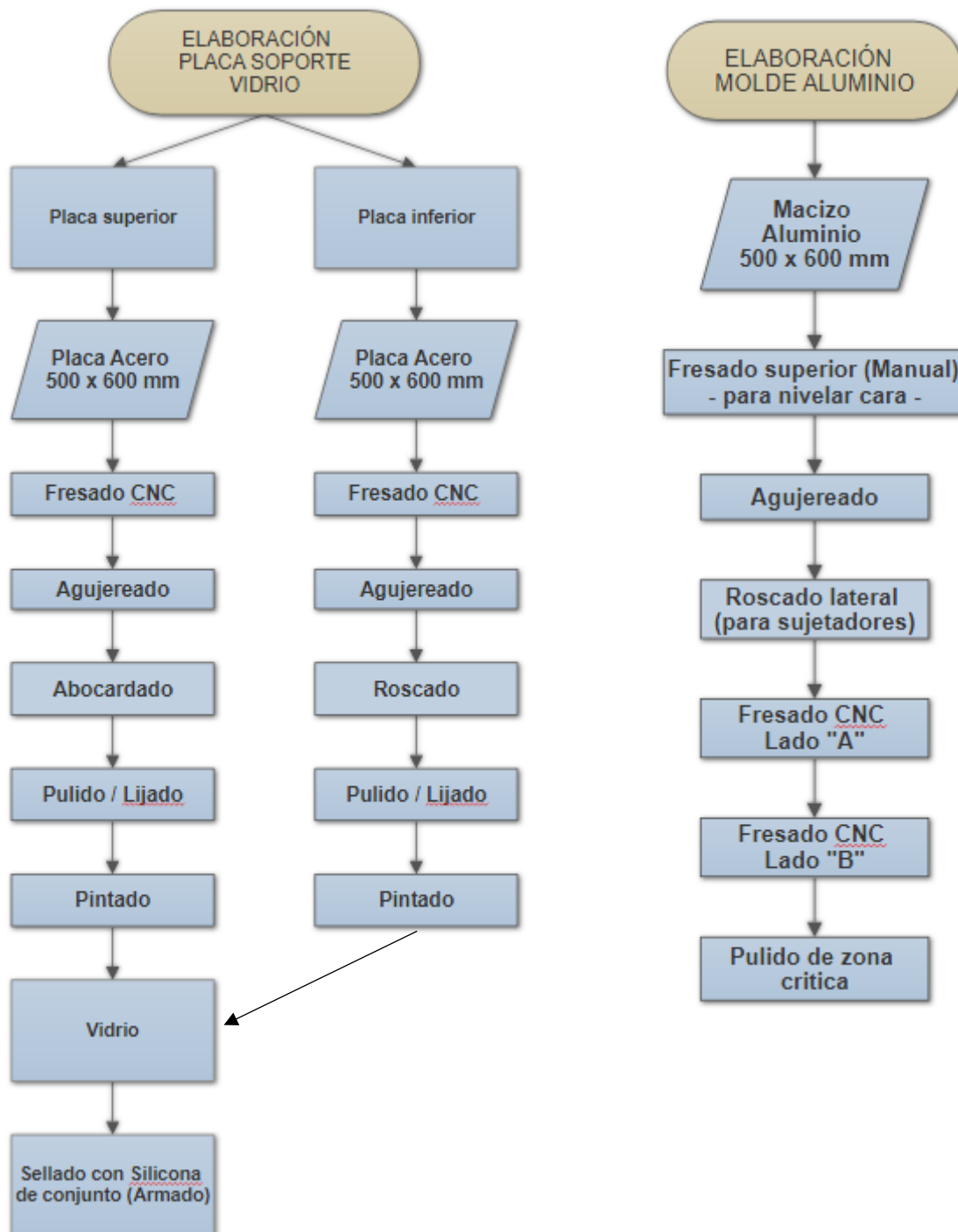
Laborda, Martín Javier – Schiele, Marcos Geraldo

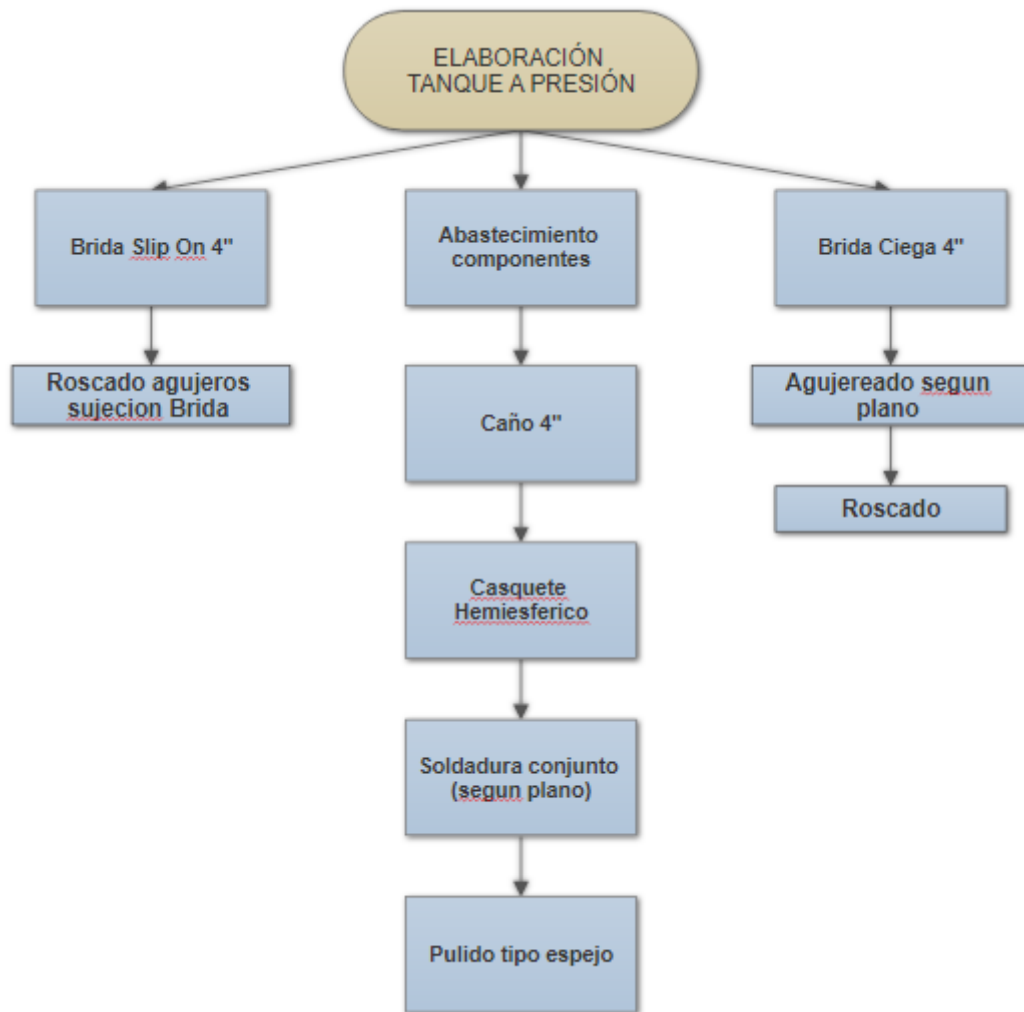
10.9. *Esquema de procesos constructivos*



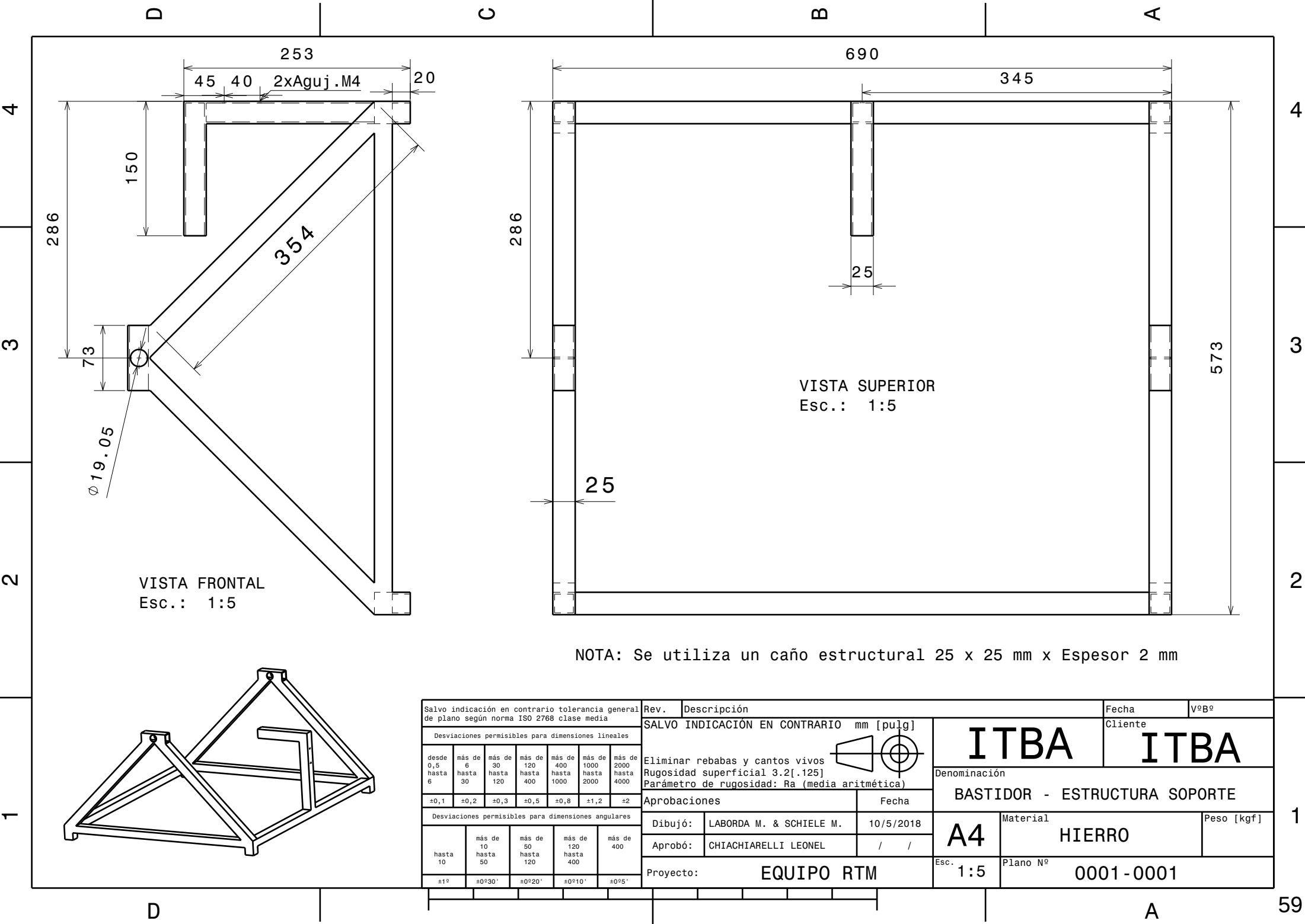
Resin Transfer Molding Process – RTM –

Laborda, Martín Javier – Schiele, Marcos Geraldo





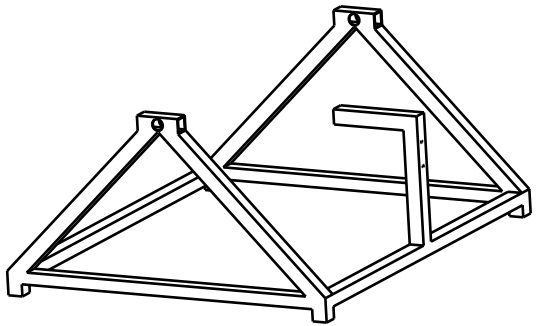
10.10. *Planos constructivos*



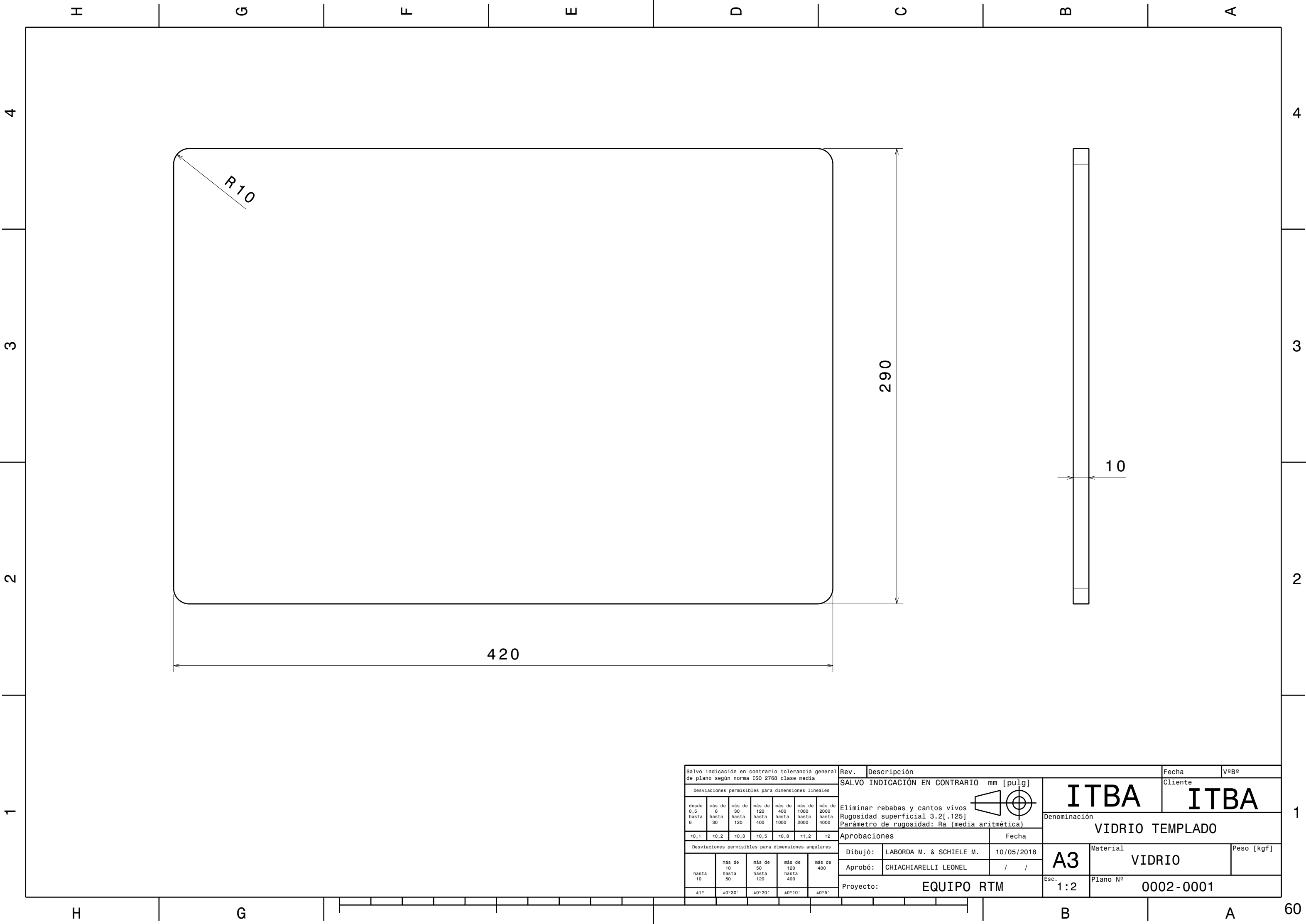
VISTA FRONTAL
Esc.: 1:5

VISTA SUPERIOR
Esc.: 1:5

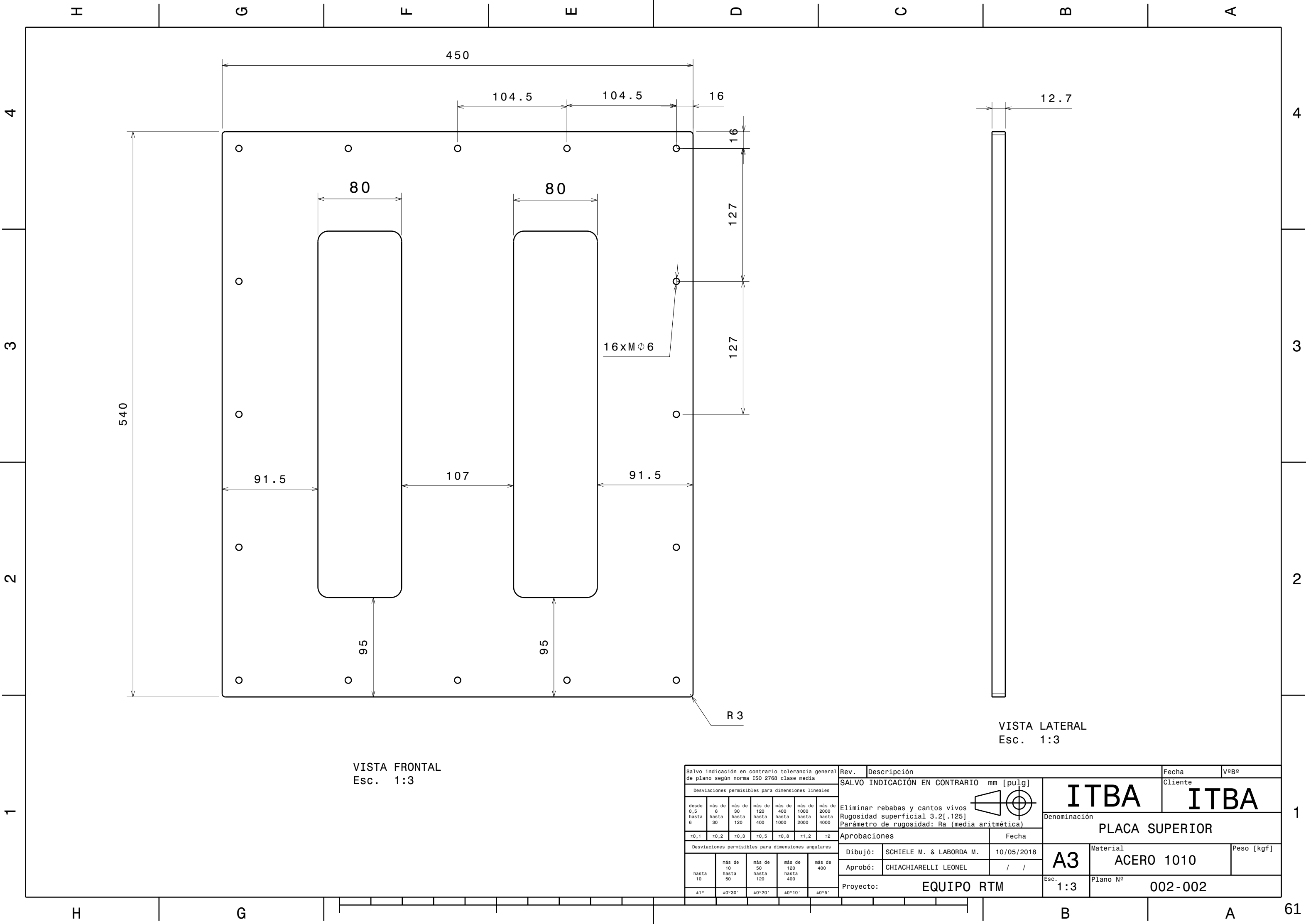
NOTA: Se utiliza un caño estructural 25 x 25 mm x Espesor 2 mm



Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción			Fecha	VºBº			
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]			ITBA		Cliente	ITBA		
desde hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)								
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	Aprobaciones			Fecha			Denominación		
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Dibujó: LABORDA M. & SCHIELE M.			10/5/2018			A4	Material	Peso [kgf]
hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	Aprobó: CHIACHIARELLI LEONEL			/ /			BASTIDOR - ESTRUCTURA SOPORTE					
±1º	±0º30'	±0º20'	±0º10'	±0º5'	Proyecto: EQUIPO RTM			Esc. 1:5			Plano Nº 0001-0001				



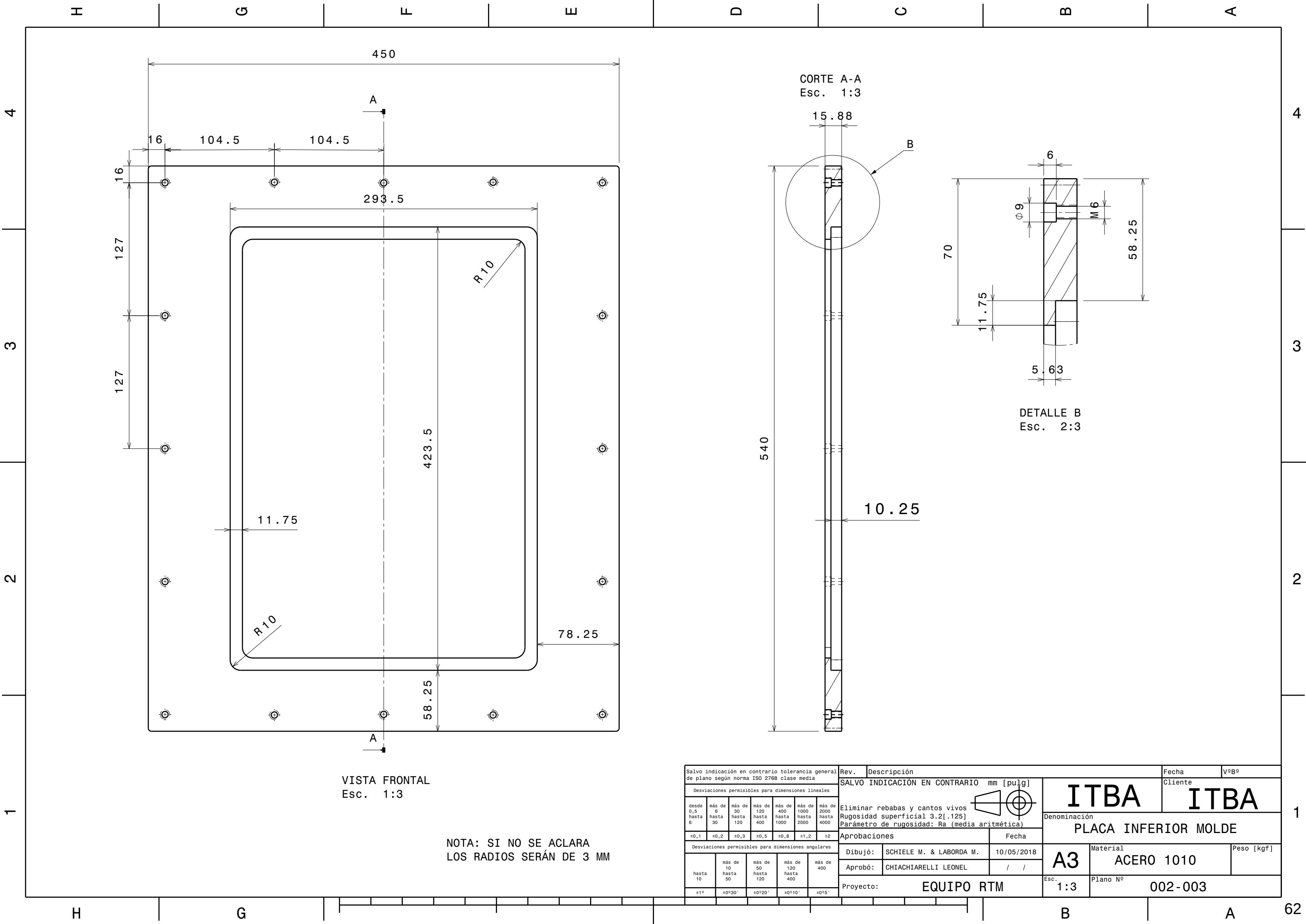
Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción			Fecha	VºBº
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]			ITBA		
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)			Denominación VIDRIO TEMPLADO		
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	Aprobaciones			Fecha		
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Dibujó:	LABORDA M. & SCHIELE M.	10/05/2018	A3		
hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400	Aprobó:			CHIACHIARELLI LEONEL	/ /	Material VIDRIO		
±1º	±0º30'	±0º20'	±0º10'	±0º5'	Proyecto:			EQUIPO RTM			Esc. 1:2	Plano Nº 0002-0001



VISTA FRONTAL
Esc. 1:3

VISTA LATERAL
Esc. 1:3

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción					Fecha		VºBº																										
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg] Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética) 					Cliente		ITBA ITBA																											
desde 0,5 hasta 6												Denominación																													
más de 6 hasta 30												PLACA SUPERIOR																													
más de 30 hasta 120							Aprobaciones					Fecha																													
más de 120 hasta 400							Dibujó:					SCHIELE M. & LABORDA M.		10/05/2018		A3		Material		Peso [kgf]																					
más de 400 hasta 1000							Aprobó:					CHIACHIARELLI LEONEL		/ /				ACERO 1010																							
más de 1000 hasta 2000							Proyecto:					EQUIPO RTM						Esc. 1:3		Plano Nº 002-002																					
más de 2000 hasta 4000							±0,1					±0,2					±0,3					±0,5					±0,8					±1,2					±2				
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							hasta 10					más de 10 hasta 50					más de 50 hasta 120					más de 120 hasta 400					más de 400														
±1º							±0º30'					±0º20'					±0º10'					±0º5'																			

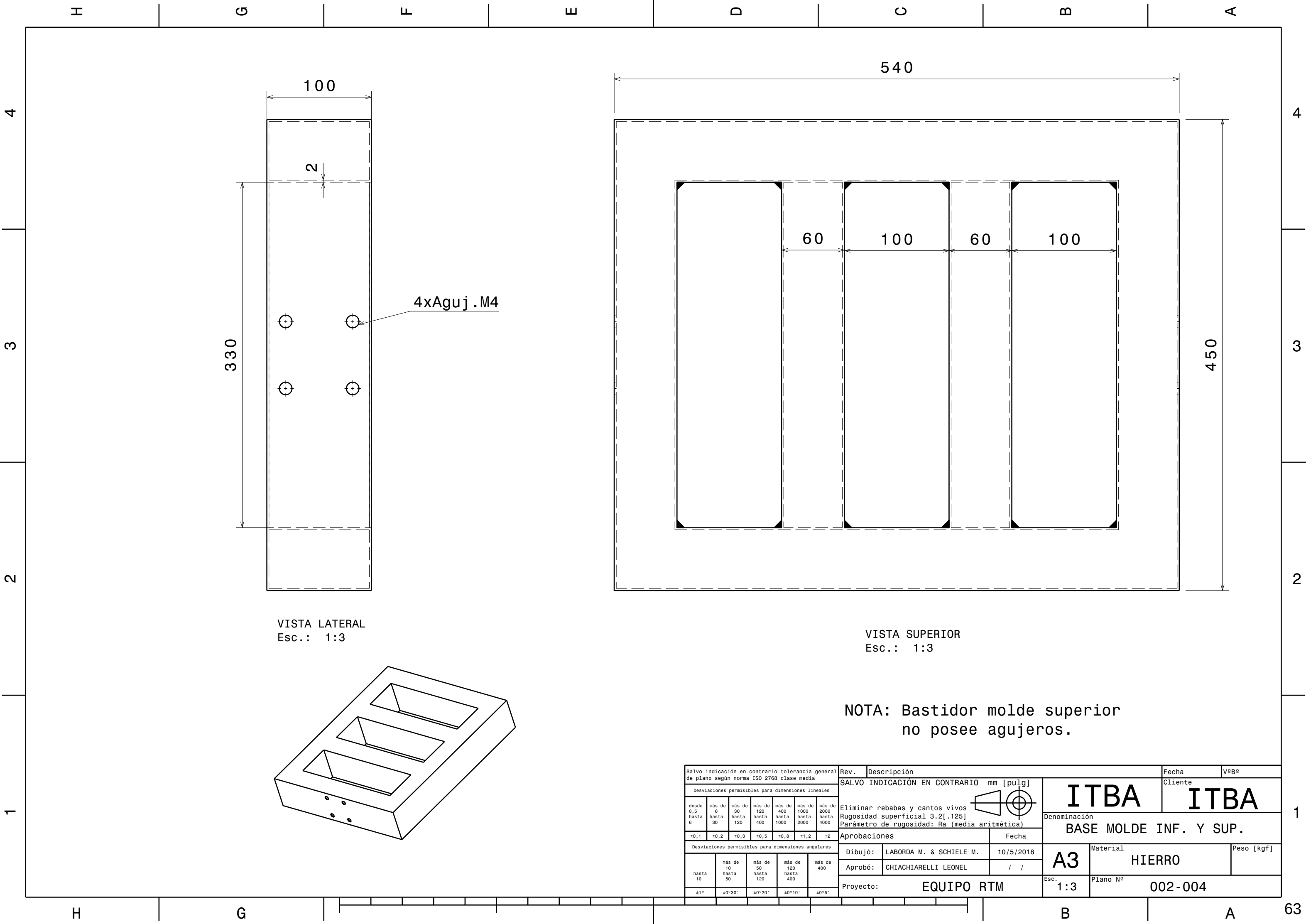


VISTA FRONTAL
Esc. 1:3

NOTA: SI NO SE ACLARA
LOS RADIOS SERÁN DE 3 MM

CORTE A-A
Esc. 1:3

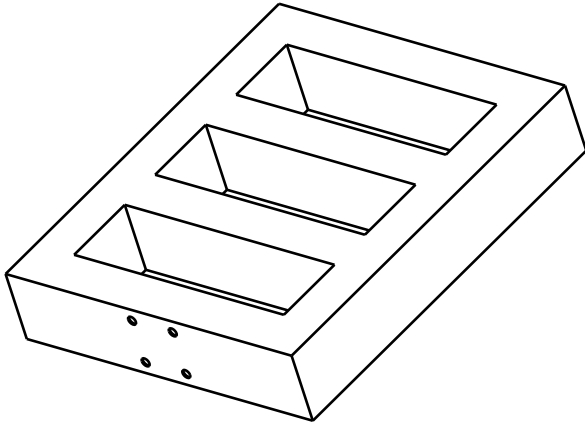
DETALLE B
Esc. 2:3



VISTA LATERAL
Esc.: 1:3

VISTA SUPERIOR
Esc.: 1:3

NOTA: Bastidor molde superior
no posee agujeros.



Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media										Rev.	Descripción										Fecha		VºBº																				
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales										SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]														ITBA				ITBA															
desde 0,5 hasta 6 más de 6 hasta 30 más de 30 hasta 120 más de 120 hasta 400 más de 400 hasta 1000 más de 1000 hasta 2000 más de 2000 hasta 4000										Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)														Denominación BASE MOLDE INF. Y SUP.																			
±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2										Aprobaciones										Fecha										A3				Material HIERRO				Peso [kgf]					
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares										Dibujó: LABORDA M. & SCHIELE M.										10/5/2018														Aprobó: CHIACHIARELLI LEONEL				/ /					
hasta 10 más de 10 hasta 50 más de 50 hasta 120 más de 120 hasta 400 más de 400										Proyecto: EQUIPO RTM										Esc. 1:3				Plano Nº 002-004																			
±1° ±0°30' ±0°20' ±0°10' ±0°5'																																											

ITBA

ITBA

BASE MOLDE INF. Y SUP.

HIERRO

Peso [kgf]

4

3

2

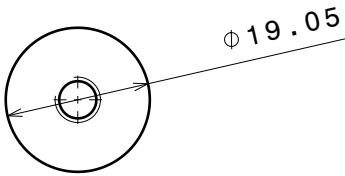
1

4

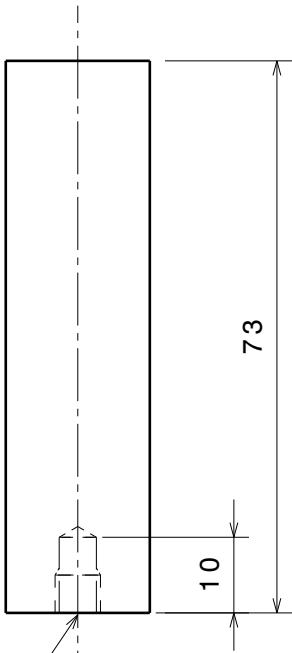
3

2

1



VISTA SUPERIOR
Esc.: 1:1



1xAguj.M6

VISTA LATERAL
Esc.: 1:1

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media

Desviaciones permisibles para dimensiones lineales

desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2

Desviaciones permisibles para dimensiones angulares

hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'

Rev. Descripción

SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]

Eliminar rebabas y cantos vivos
Rugosidad superficial 3.2[.125]
Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)

Aprobaciones

Dibujó: LABORDA M. & SCHIELE M. 10/5/2018

Aprobó: CHIACHIARELLI LEONEL / /

Proyecto: EQUIPO RTM

Fecha VºBº

Cliente

ITBA

ITBA

Denominación

EJE MOLDE RODAMIENTO

Material

A4

AISI 304L

Peso [kgf]

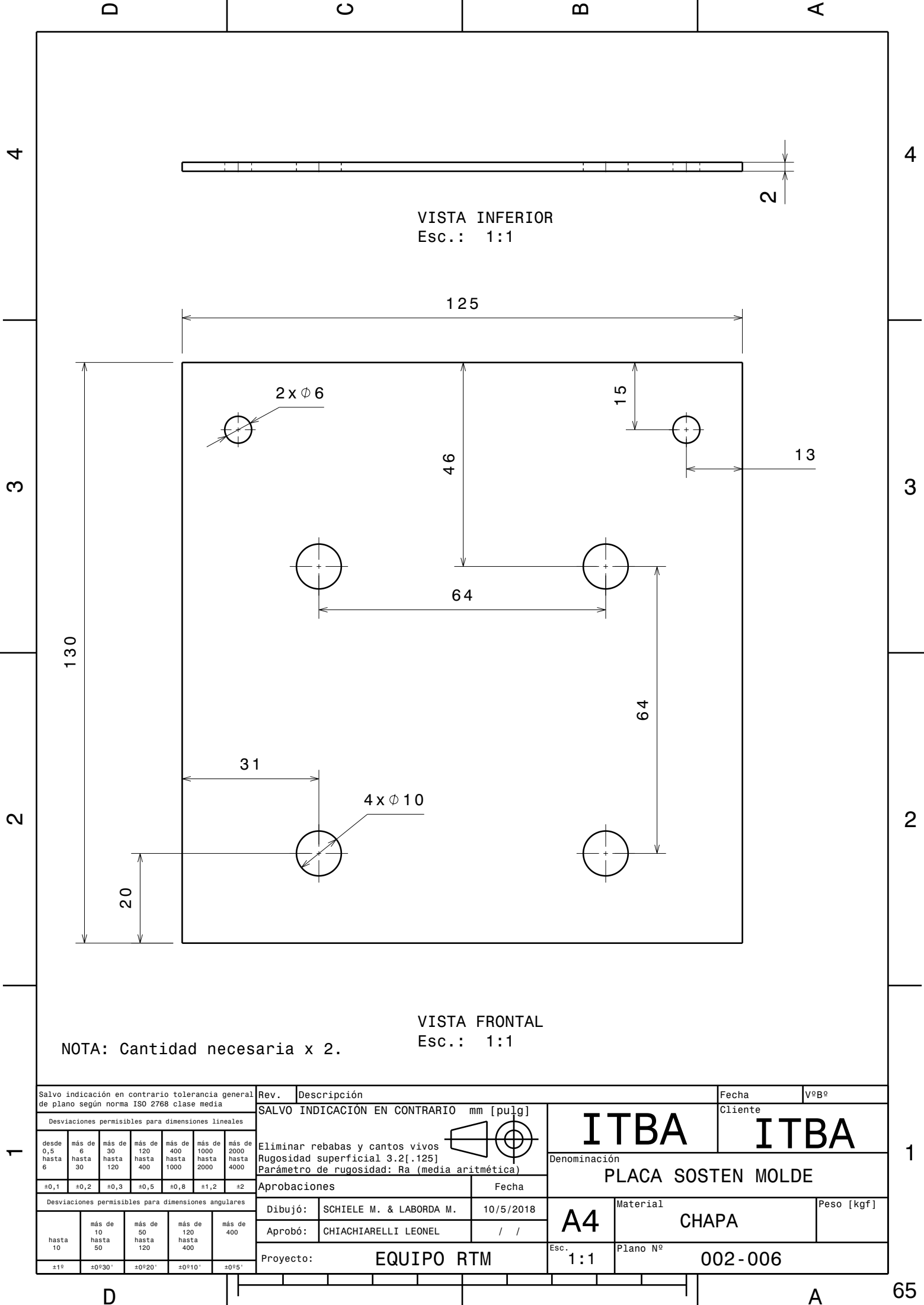
Esc. 1:1

Plano Nº

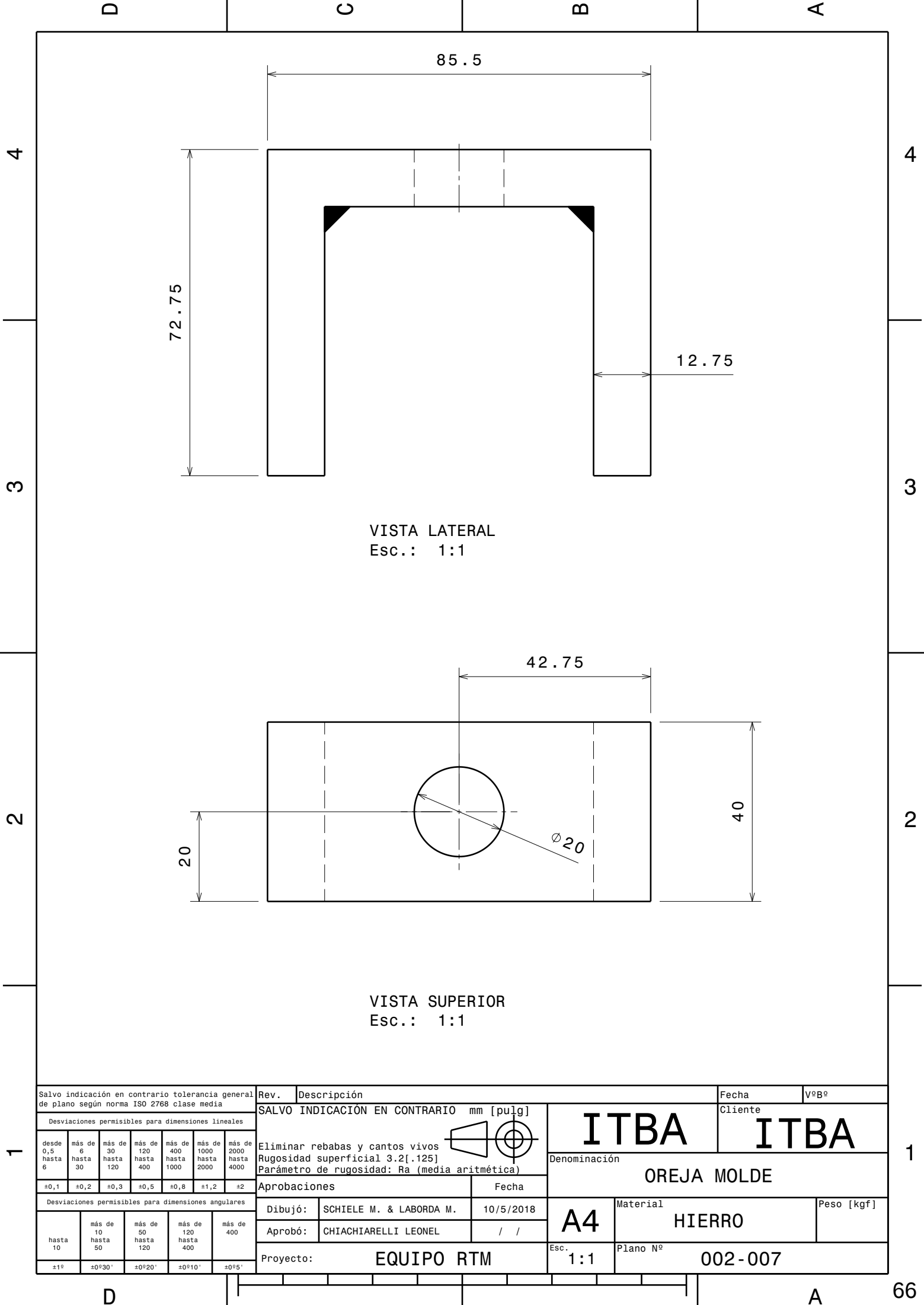
002-005

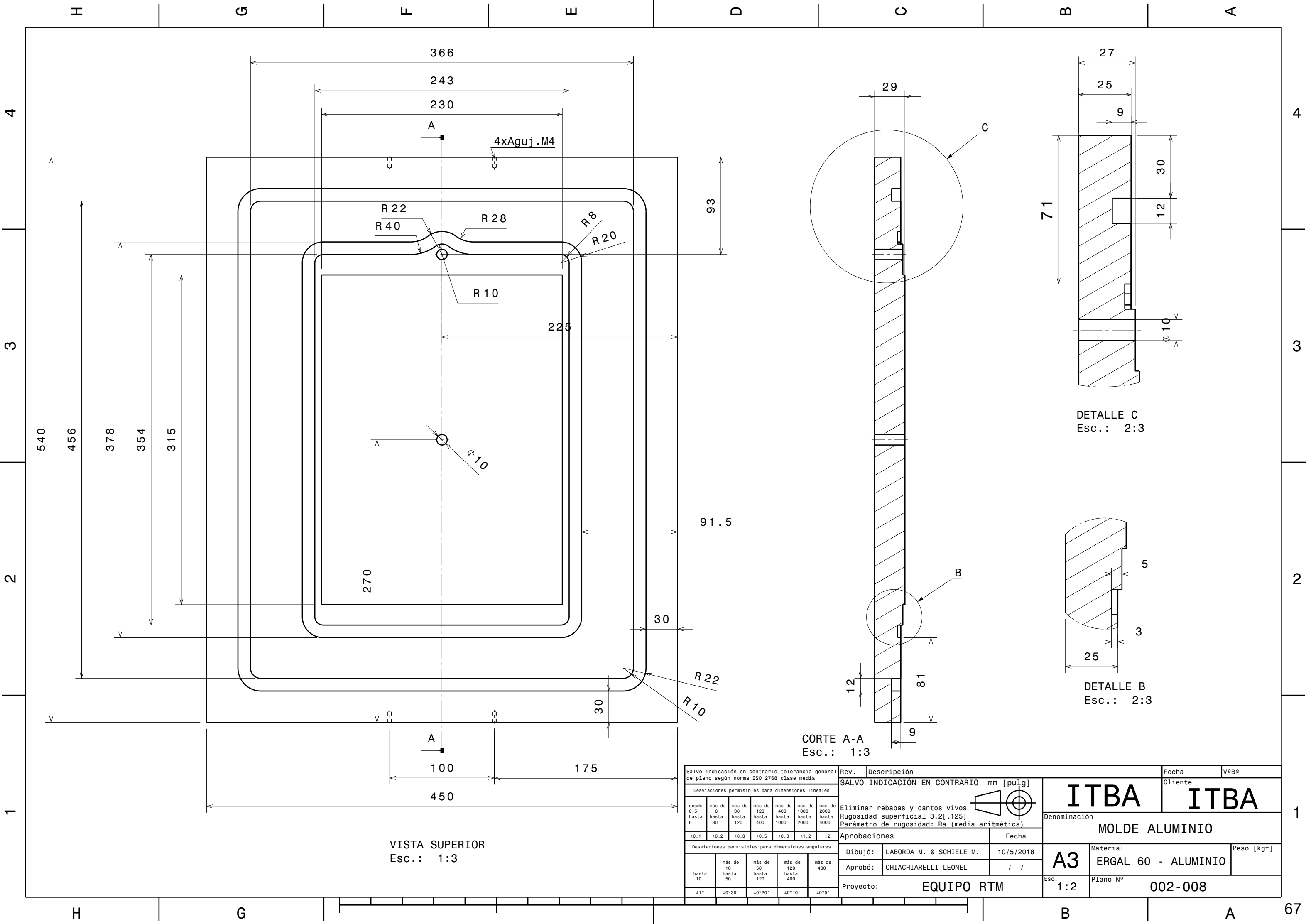
D

A

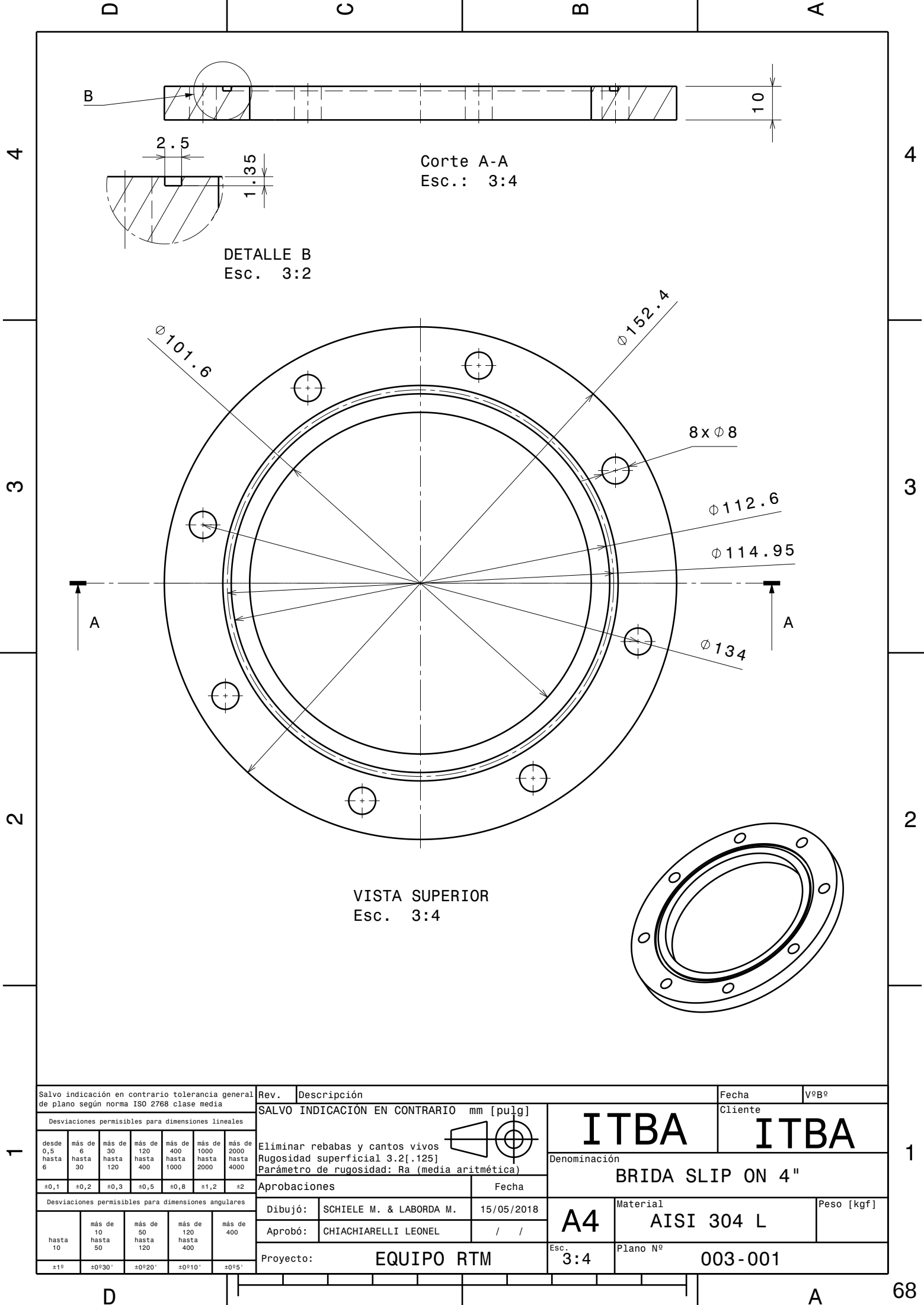


Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción				Fecha	VºBº										
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]				ITBA		ITBA										
desde hasta 6	más de hasta 30	más de hasta 120	más de hasta 400	más de hasta 1000	más de hasta 2000	más de hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética) 				Denominación		PLACA SOSTEN MOLDE										
±0,1				±0,2		±0,3	±0,5		±0,8		±1,2		±2										
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Aprobaciones				Fecha												
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares <table><tr><td>hasta 10</td><td>más de 10 hasta 50</td><td>más de 50 hasta 120</td><td>más de 120 hasta 400</td><td>más de 400</td></tr></table>							hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400	Dibujó:		SCHIELE M. & LABORDA M.		10/5/2018				A4	Material		Peso [kgf]
							hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400												
Aprobó:		CHIACHIARELLI LEONEL		/ /				CHAPA															
±1º							±0º30'		±0º20'		±0º10'		±0º5'		Proyecto:		EQUIPO RTM		Esc. 1:1		Plano Nº 002-006		





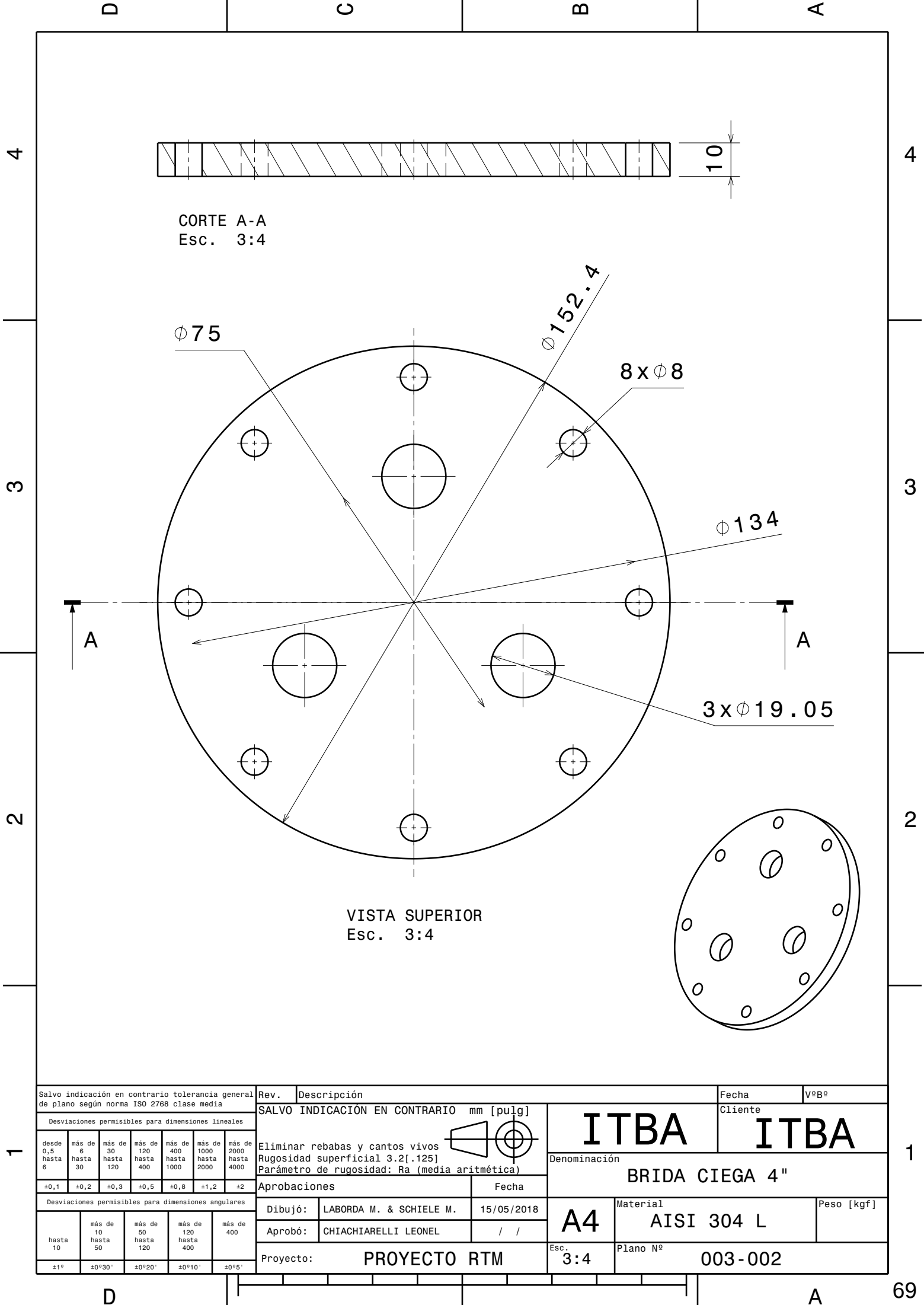
Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción				Fecha		VºBº				
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]						ITBA		ITBA			
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos				Denominación							
							Rugosidad superficial 3.2[.125]				MOLDE ALUMINIO							
							Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)											
Aprobaciones								Fecha										
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Dibujó:				LABORDA M. & SCHIELE M.				10/5/2018			
							Aprobó:				CHIACHIARELLI LEONEL				/ /			
							Proyecto:				EQUIPO RTM				Esc.		Plano Nº	
															1:2		002-008	



Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción				Fecha	VºBº									
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]				ITBA		ITBA									
desde hasta 6	más de hasta 30	más de hasta 120	más de hasta 400	más de hasta 1000	más de hasta 2000	más de hasta 4000																
							Eliminar rebabas y cantos vivos															
							Rugosidad superficial 3.2[.125]															
							Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)															
±0,1							±0,2		±0,3		±0,5		±0,8		±1,2		±2					
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Aprobaciones				Fecha				Denominación							
															BRIDA SLIP ON 4"							
							Dibujó:		SCHIELE M. & LABORDA M.				15/05/2018		A4		Material		Peso [kgf]			
							Aprobó:		CHIACHIARELLI LEONEL				/ /				AISI 304 L					
hasta 10							más de 10 hasta 50		más de 50 hasta 120		más de 120 hasta 400		más de 400									
±1º							±0º30'		±0º20'		±0º10'		±0º5'		Proyecto:		EQUIPO RTM		Esc. 3:4		Plano Nº 003-001	

1

1



CORTE A-A
Esc. 3:4

Ø 75

Ø 152.4

8 x Ø 8

Ø 134

3 x Ø 19.05

VISTA SUPERIOR
Esc. 3:4

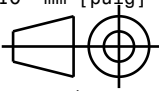
Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media

Rev. Descripción
SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]

Fecha VºBº
Cliente

Desviaciones permisibles para dimensiones lineales						
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2

Eliminar rebabas y cantos vivos
Rugosidad superficial 3.2[.125]
Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)



ITBA
Denominación
BRIDA CIEGA 4"

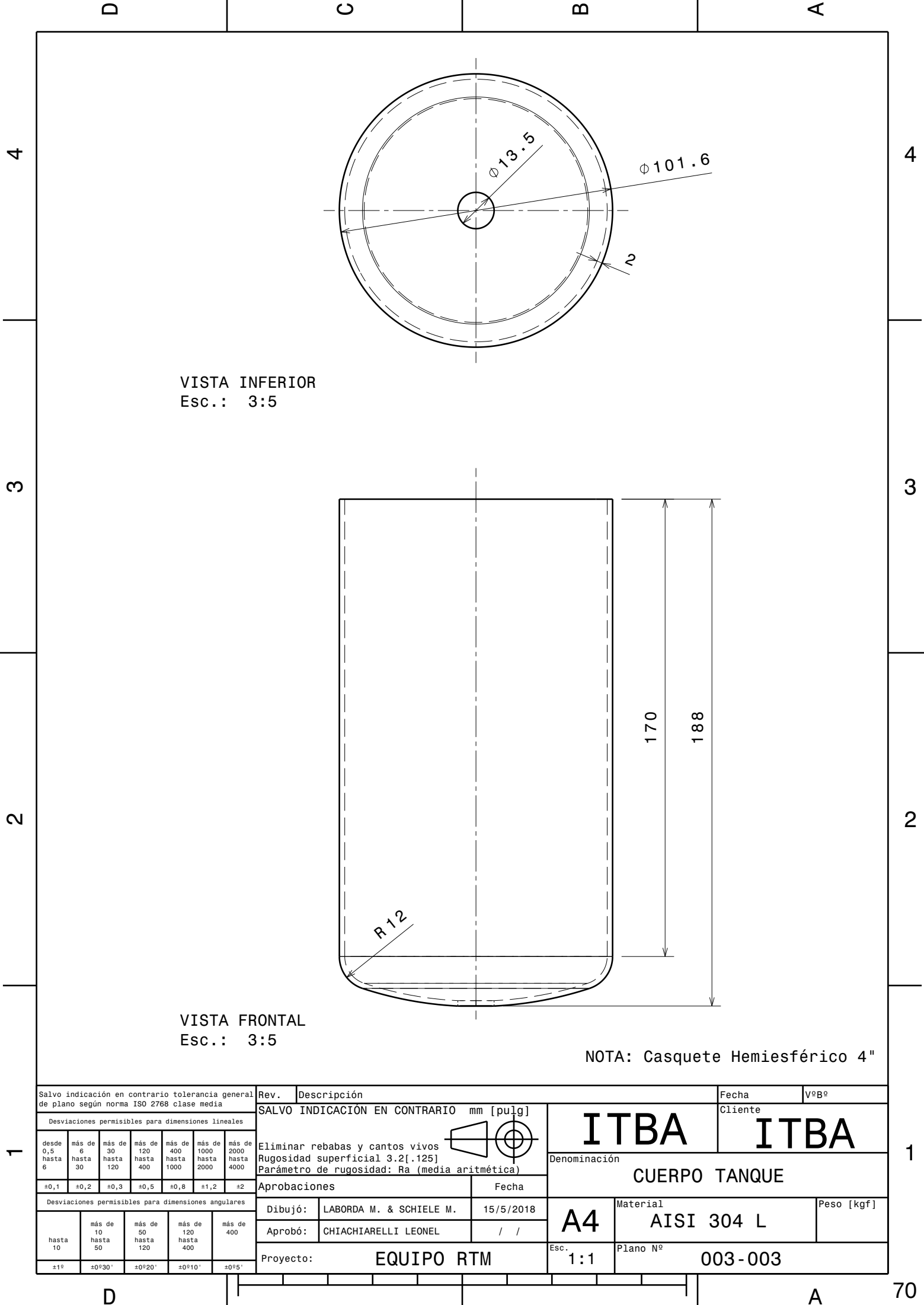
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares				
hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
±1º	±0º30'	±0º20'	±0º10'	±0º5'

Aprobaciones
Dibujó: LABORDA M. & SCHIELE M. 15/05/2018
Aprobó: CHIACHIARELLI LEONEL / /
Proyecto: PROYECTO RTM

A4 Material
AISI 304 L
Peso [kgf]
Esc. 3:4 Plano Nº 003-002

D

A



Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media

Desviaciones permisibles para dimensiones lineales

desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	± 2

Desviaciones permisibles para dimensiones angulares

hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
$\pm 1^{\circ}$	$\pm 0^{\circ}30'$	$\pm 0^{\circ}20'$	$\pm 0^{\circ}10'$	$\pm 0^{\circ}5'$

Rev.

Descripción

SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]

Eliminar rebabas y cantos vivos
Rugosidad superficial 3.2[.125]
Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)

Aprobaciones

Fecha

Dibujó:

LABORDA M. & SCHIELE M.

15/5/2018

Aprobó:

CHIACHIARELLI LEONEL

/ /

Proyecto:

EQUIPO RTM

Fecha

VºBº

Cliente

ITBA

ITBA

Denominación

CUERPO TANQUE

A4

Material

AISI 304 L

Peso [kgf]

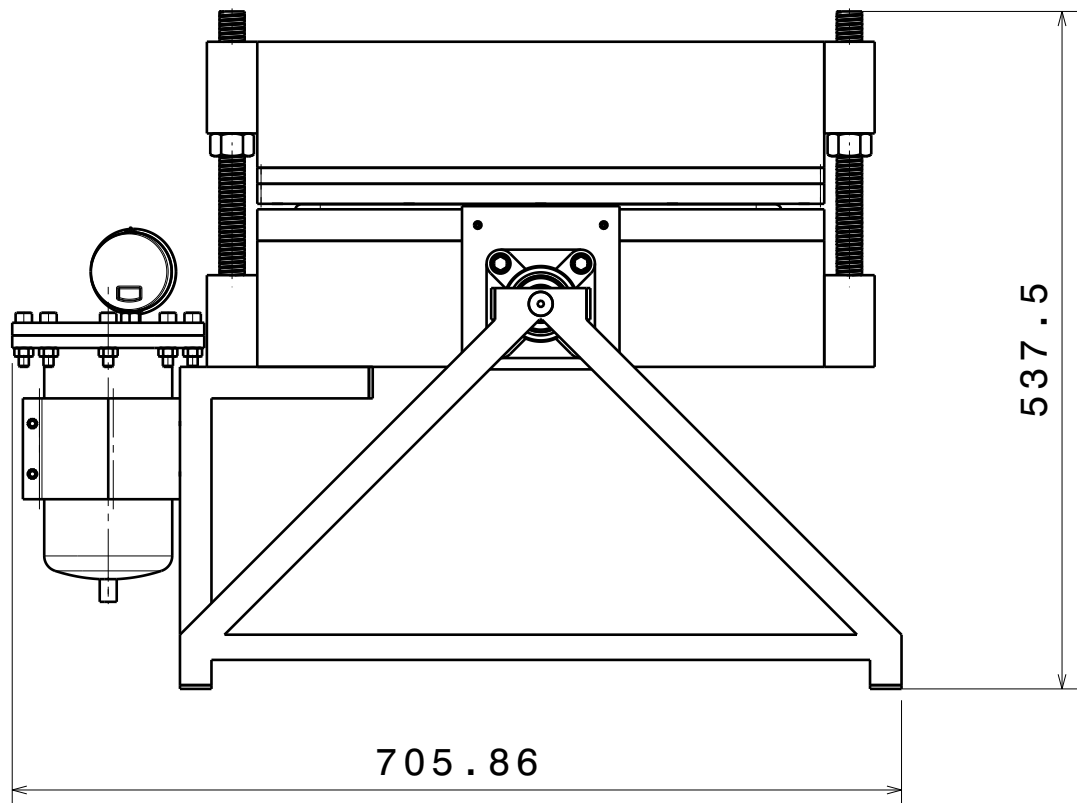
Esc.

1:1

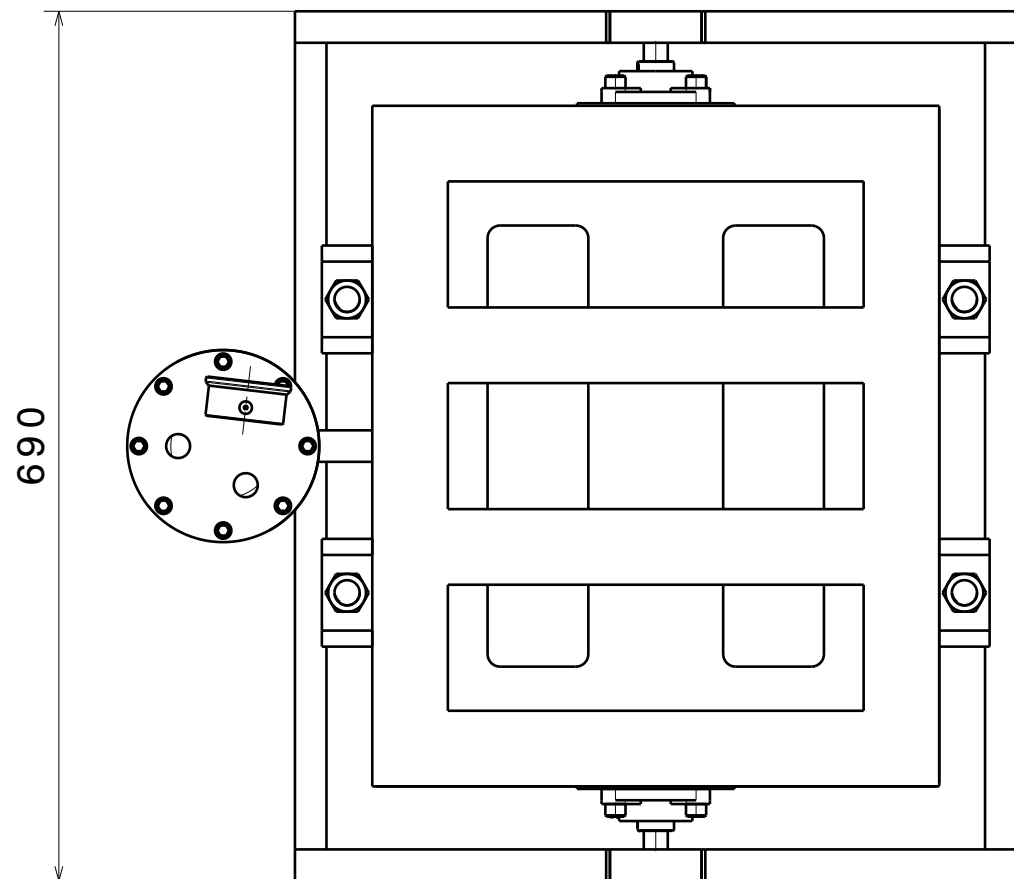
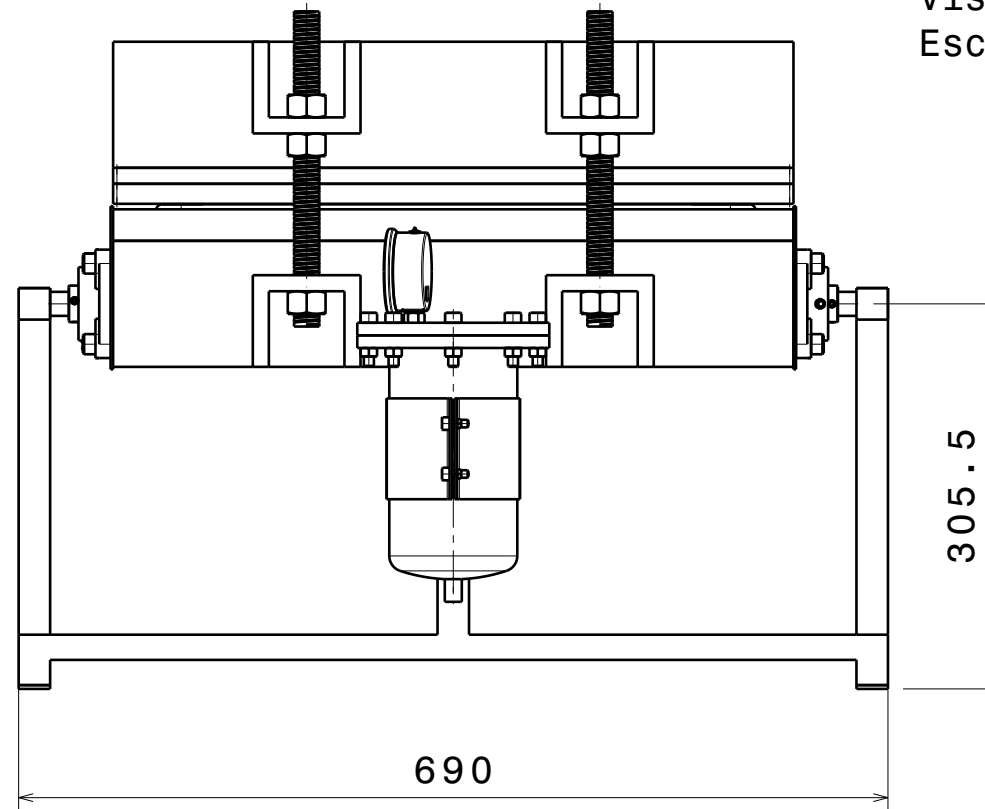
Plano Nº

003-003

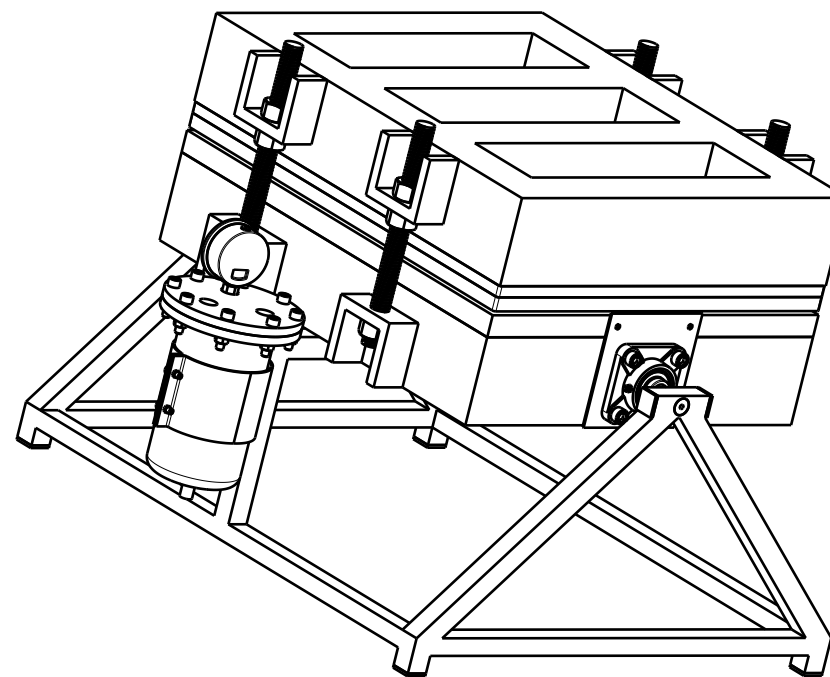
Vista Lateral
Esc.: 1:6



Vista Frontal
Esc.: 1:6

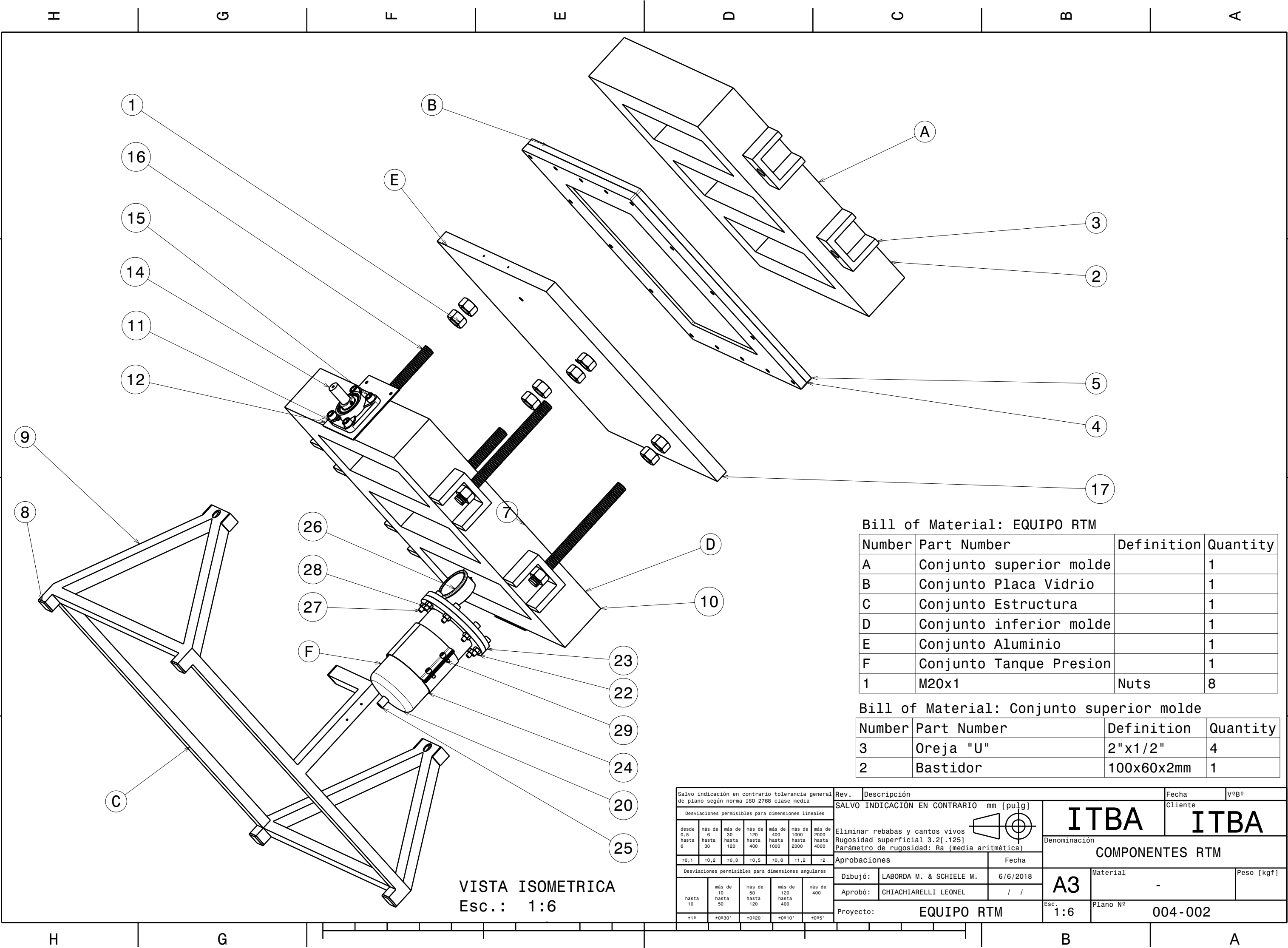


Vista Superior
Esc.: 1:6



Vista Isometrica
Esc.: 1:8

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción			Fecha	VºBº																												
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]			ITBA		Cliente	ITBA																											
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)																																	
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	Aprobaciones			Fecha			Denominación	CONJUNTO RTM																										
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Dibujó:		LABORDA M. & SCHIELE M.		5/6/2018				A3	Material	-	Peso [kgf]																						
hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400	Aprobó:		CHIACHIARELLI LEONEL		/ /																															
±1º							±0º30'							±0º20'							±0º10'							±0º5'							Proyecto:	EQUIPO RTM	Esc.	1:1	Plano Nº	004-001



VISTA ISOMETRICA
Esc.: 1:6

Bill of Material: EQUIPO RTM

Number	Part Number	Definition	Quantity
A	Conjunto superior molde		1
B	Conjunto Placa Vidrio		1
C	Conjunto Estructura		1
D	Conjunto inferior molde		1
E	Conjunto Aluminio		1
F	Conjunto Tanque Presion		1
1	M20x1	Nuts	8

Bill of Material: Conjunto superior molde

Number	Part Number	Definition	Quantity
3	Oreja "U"	2"x1/2"	4
2	Bastidor	100x60x2mm	1

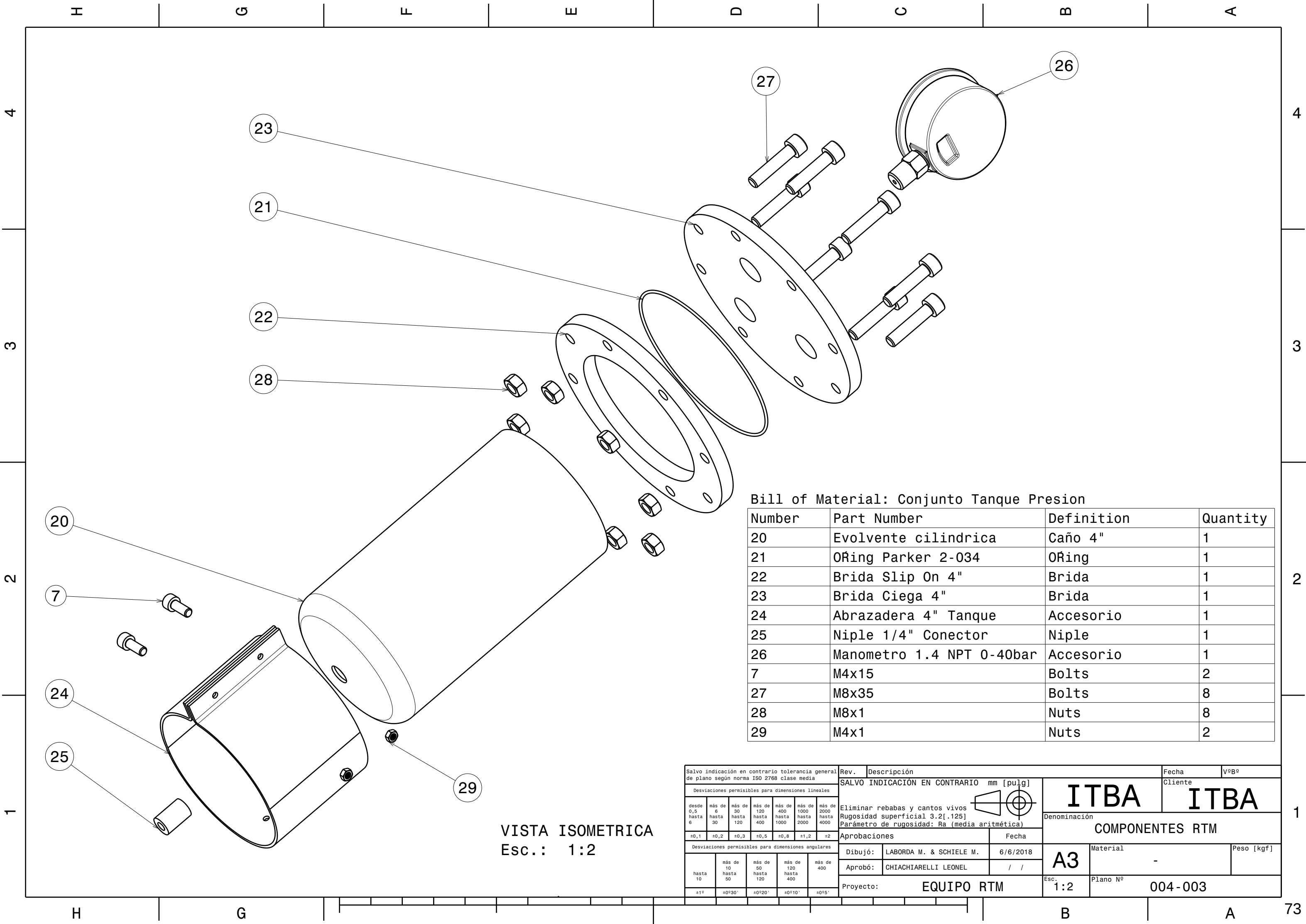
Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.		Descripción			Fecha		VºBº					
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]						Cliente						
Eliminador rebabas y cantos vivos							Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)						ITBA						
Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)													ITBA						
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							Denominación			COMPONENTES RTM									
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Aprobaciones			Fecha			A3			Material		Peso [kgf]	
Dibujó:							LABORDA M. & SCHIELE M.			6/6/2018						-			
Aprobó:							CHIACHIARELLI LEONEL			/ /									
Proyecto:							EQUIPO RTM			Esc. 1:6			Plano Nº 004-002						

ITBA ITBA

COMPONENTES RTM

A3

004-002



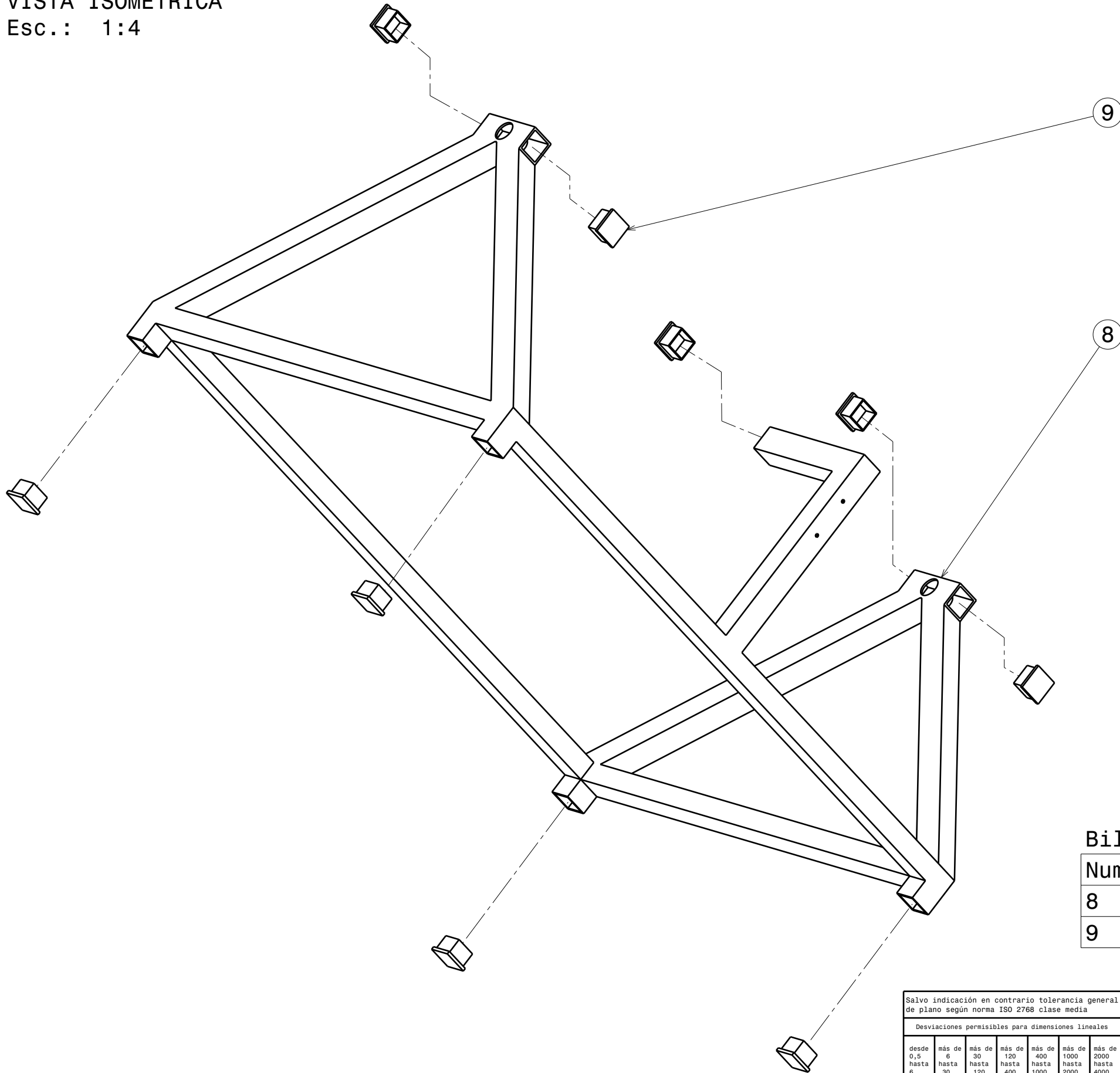
VISTA ISOMETRICA
Esc.: 1:2

Bill of Material: Conjunto Tanque Presion

Number	Part Number	Definition	Quantity
20	Evolvente cilindrica	Caño 4"	1
21	OÑing Parker 2-034	OÑing	1
22	Brida Slip On 4"	Brida	1
23	Brida Ciega 4"	Brida	1
24	Abrazadera 4" Tanque	Accesorio	1
25	Niple 1/4" Conector	Niple	1
26	Manometro 1.4 NPT 0-40bar	Accesorio	1
7	M4x15	Bolts	2
27	M8x35	Bolts	8
28	M8x1	Nuts	8
29	M4x1	Nuts	2

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción			Fecha	VºBº		
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]					Cliente	ITBA	
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos					ITBA		
							Rugosidad superficial 3.2[.125]							
							Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)							
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Aprobaciones			Fecha			COMPONENTES RTM	
							Dibujó:	LABORDA M. & SCHIELE M.		6/6/2018		A3	Material	Peso [kgf]
							Aprobó:	CHIACHIARELLI LEONEL		/ /			-	
							Proyecto: EQUIPO RTM					Esc. 1:2	Plano N° 004-003	

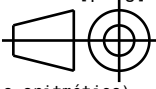
VISTA ISOMETRICA
Esc.: 1:4



Bill of Material: Conjunto Estructura

Number	Part Number	Definition	Quantity
8	Estructura	35x35x2mm	1
9	Tapon plastico 35x35mm		9

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción			Fecha	VºBº		
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]					ITBA	ITBA	
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)							
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	Aprobaciones							
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Fecha					Denominación		
							Dibujó: LABORDA M. & SCHIELE M.					COMPONENTES ESTRUCTURA		
							6/6/2018					A3	Material	Peso [kgf]
							Aprobó: CHIACHIARELLI LEONEL							
Proyecto: EQUIPO RTM							Esc. 1:4					Plano Nº 004-004		



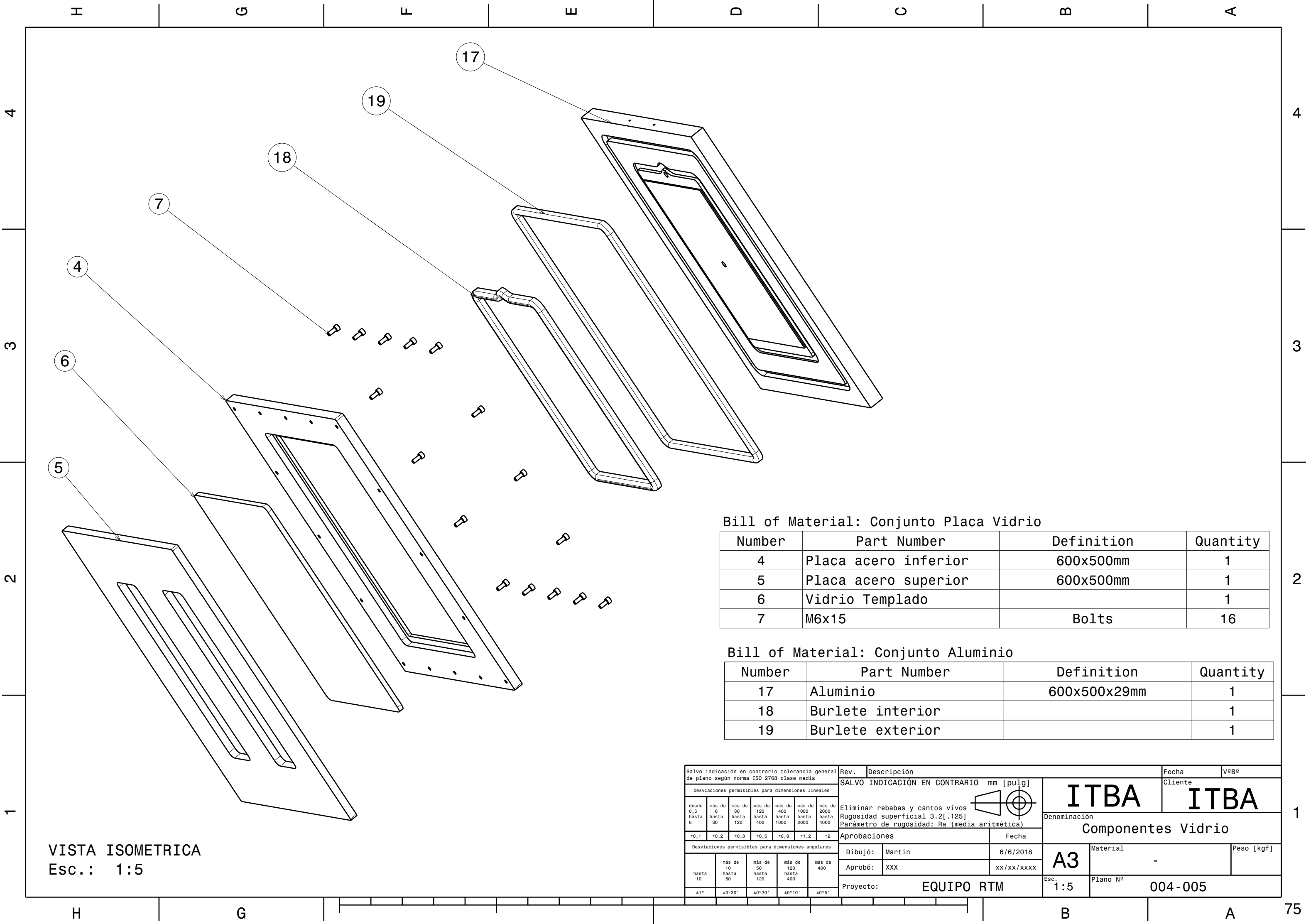
4

3

2

1

74



VISTA ISOMETRICA
Esc.: 1:5

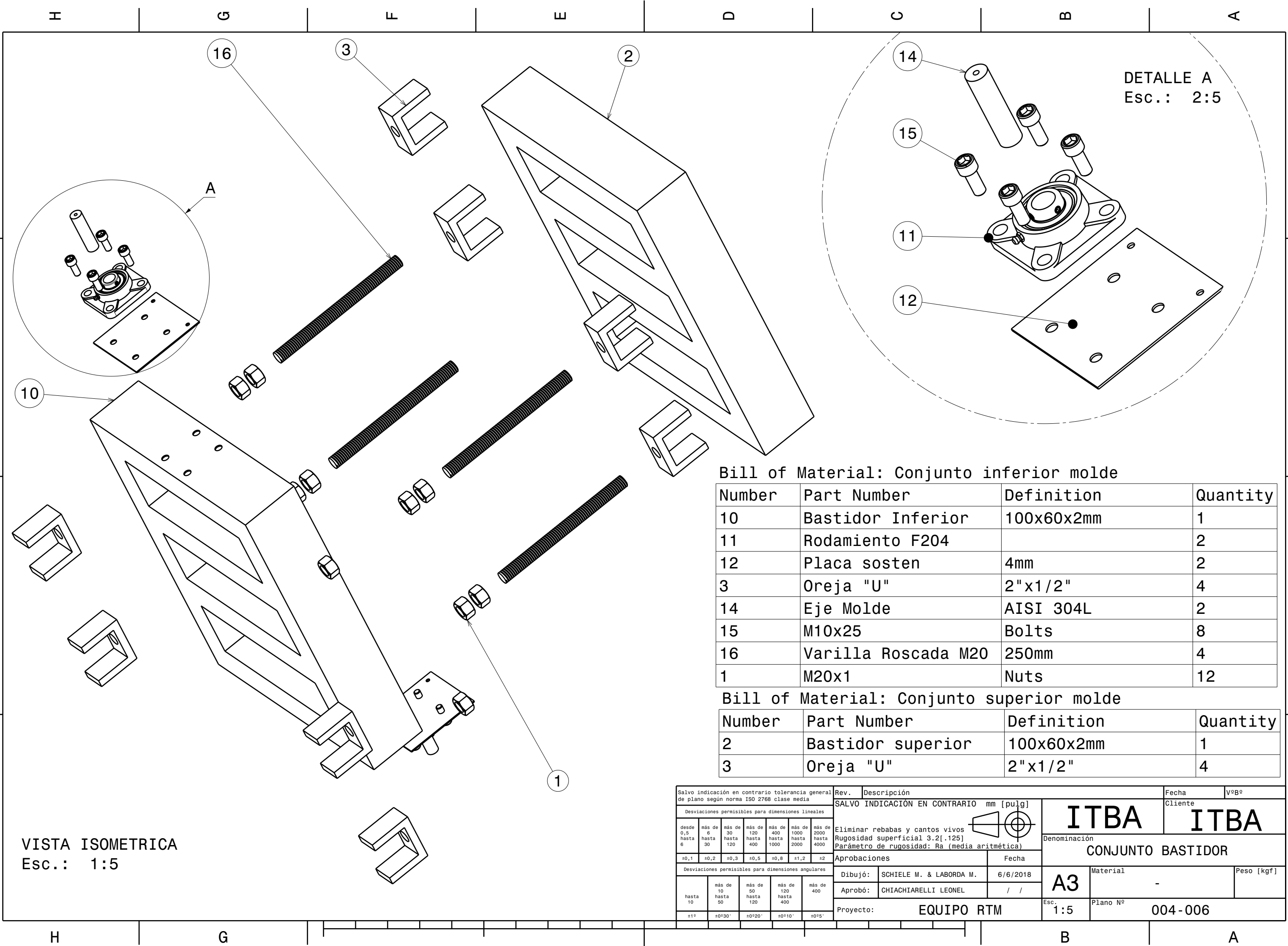
Bill of Material: Conjunto Placa Vidrio

Number	Part Number	Definition	Quantity
4	Placa acero inferior	600x500mm	1
5	Placa acero superior	600x500mm	1
6	Vidrio Templado		1
7	M6x15	Bolts	16

Bill of Material: Conjunto Aluminio

Number	Part Number	Definition	Quantity
17	Aluminio	600x500x29mm	1
18	Burlete interior		1
19	Burlete exterior		1

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media							Rev.	Descripción			Fecha	VºBº		
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales							SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]			ITBA		ITBA		
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000	Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)							
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares							Aprobaciones			Fecha			Denominación	
							Dibujó: Martin			6/6/2018			Componentes Vidrio	
							Aprobó: XXX			xx/xx/xxxx			A3	
							Proyecto: EQUIPO RTM			Esc. 1:5			Material	
													Peso [kgf]	
													-	
													Plano Nº	
													004-005	



VISTA ISOMETRICA
Esc.: 1:5

Bill of Material: Conjunto inferior molde

Number	Part Number	Definition	Quantity
10	Bastidor Inferior	100x60x2mm	1
11	Rodamiento F204		2
12	Placa sosten	4mm	2
3	Oreja "U"	2"x1/2"	4
14	Eje Molde	AISI 304L	2
15	M10x25	Bolts	8
16	Varilla Roscada M20	250mm	4
1	M20x1	Nuts	12

Bill of Material: Conjunto superior molde

Number	Part Number	Definition	Quantity
2	Bastidor superior	100x60x2mm	1
3	Oreja "U"	2"x1/2"	4

Salvo indicación en contrario tolerancia general de plano según norma ISO 2768 clase media		Rev.	Descripción		Fecha	VºBº
Desviaciones permisibles para dimensiones lineales		SALVO INDICACIÓN EN CONTRARIO mm [pulg]		ITBA		ITBA
desde 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares		Eliminar rebabas y cantos vivos Rugosidad superficial 3.2[.125] Parámetro de rugosidad: Ra (media aritmética)		Denominación		CONJUNTO BASTIDOR
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
Desviaciones permisibles para dimensiones angulares		Aprobaciones		Fecha		
hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400	Dibujó: SCHIELE M. & LABORDA M.	
±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'	Aprobó: CHIACHIARELLI LEONEL	
Proyecto: EQUIPO RTM		Esc. 1:5		Plano Nº 004-006		
				Material		Peso [kgf]
				-		

DETALLE A
Esc.: 2:5