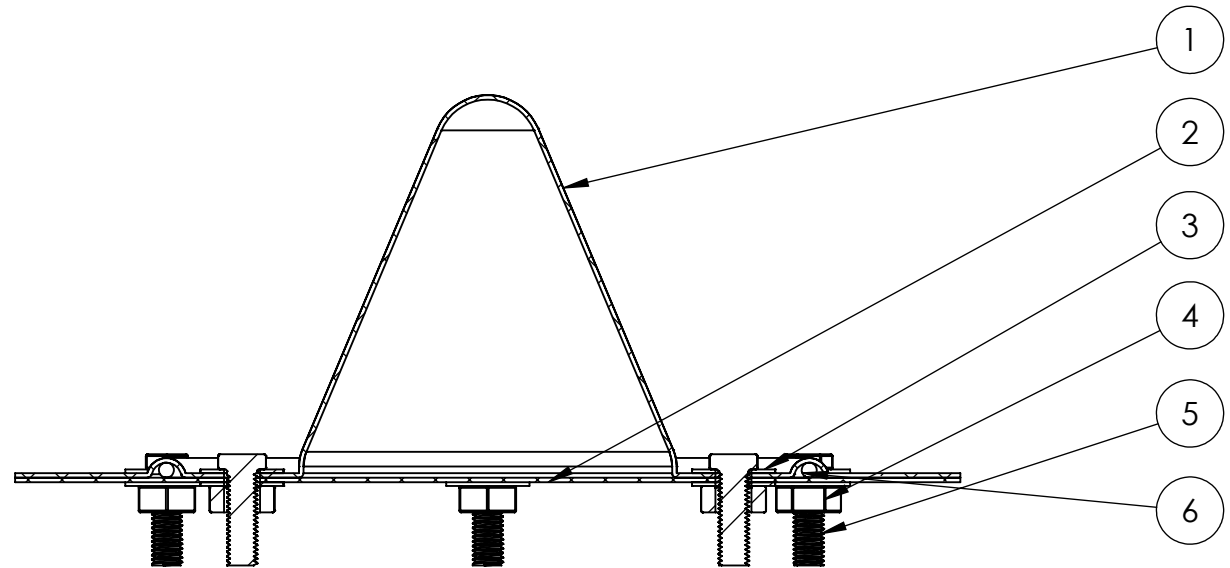


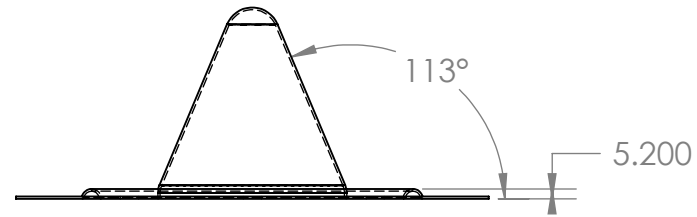
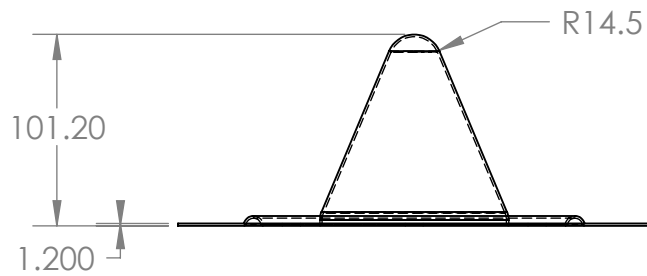
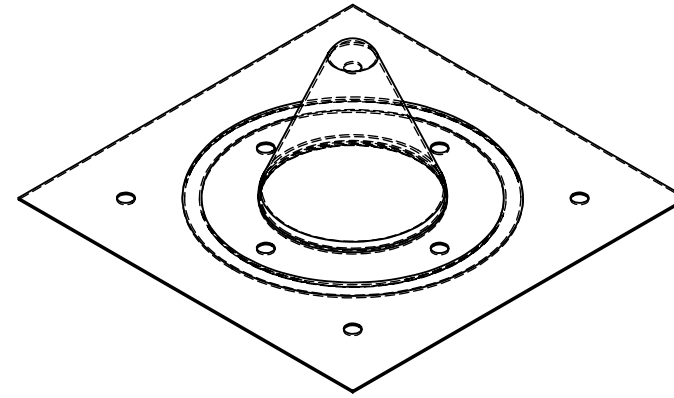
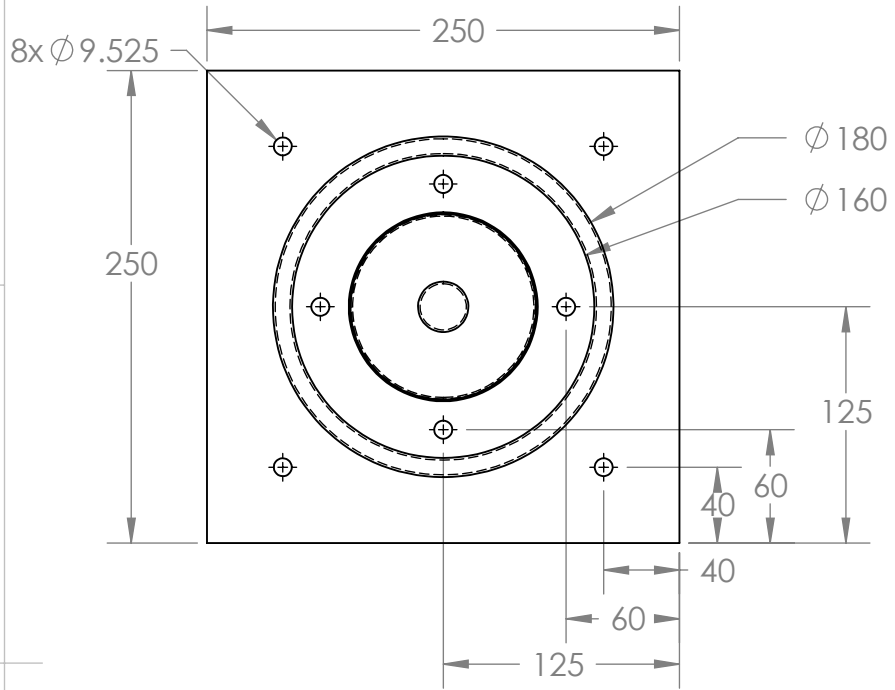
	Nombre	Firma	Dia	Titulo
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Modelo en madera para fabricar el molde del cono
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A			MATERIAL: MDF	DWG NO. <b>planos moldes</b>
				SCALA 1:4
				Hoja 1 de 14

A4



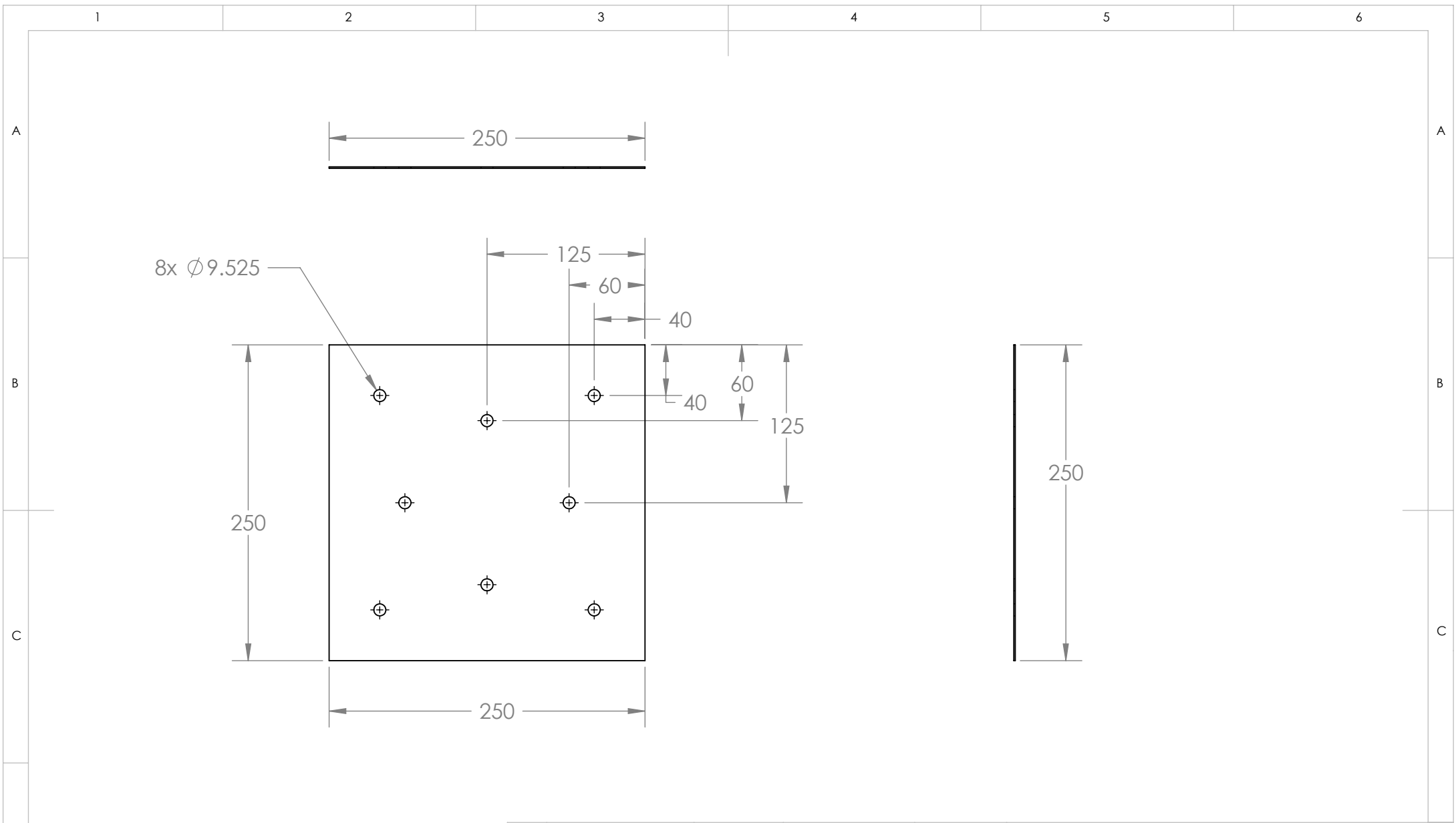
#	Nombre de la parte	Material	Descripción	Cantidad
1	cara A molde cono	Lamina de PET calibre 40	Termoformado y perforado	1
2	cara B molde cono	Lamina de PET calibre 40	Corte y perforado	1
3	arandela 3/8 in	Acero 1020	Pieza estandar	16
4	tuerca 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	8
5	tornillo 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	8
6	O ring 4mm - $\varnothing$ 166	EPDM (Elastómero)	Pieza estandar	1

	Nombre	Firma	Dia	Titulo	
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Ensamble molde cono - vista en sección	
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	DWG NO.	planos moldes
			-----		
				SCALA 1:2	A4
					Hoja 2 de 14

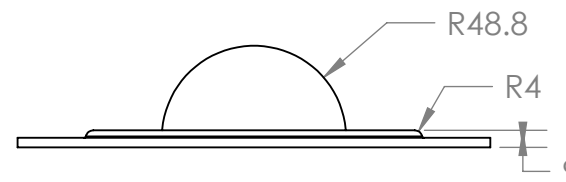
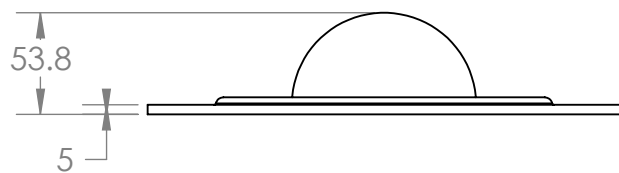
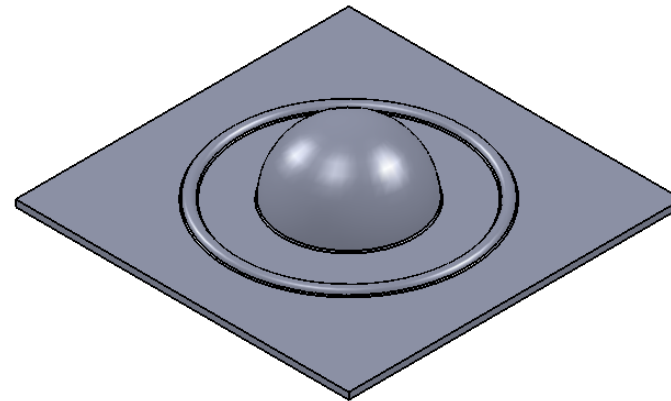
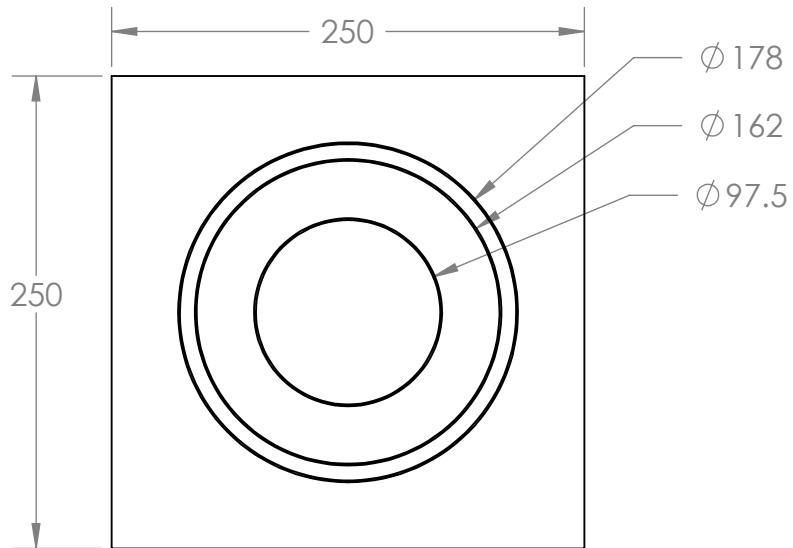


	Nombre	Firma	Día	Titulo
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Cara A molde Cono
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	DWG NO.
			PET - calibre 40	planos moldes
			WEIGHT:	SCALA 1:4
				Hoja 3 de 14

A4



	Nombre	Firma	Dia	TITULO
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Cara B molde cono
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	DWG NO.
			PET - Calibre 40	planos moldes
				A4
				SCALA 1:4
				Hoja 4 de 14

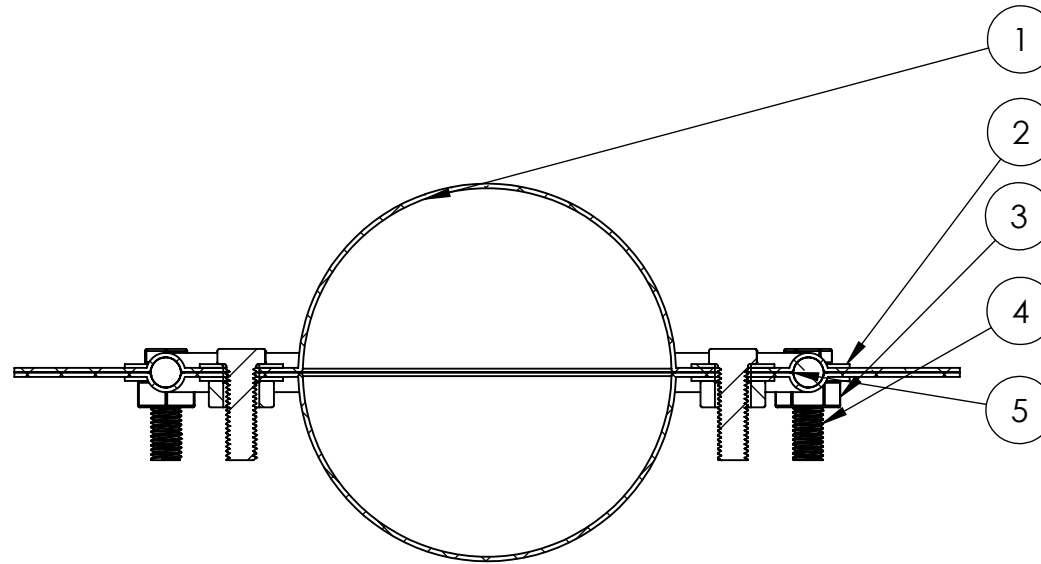


	Nombre	Firma	Día		Titulo
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009		Modelo en madera para fabricar el molde de la esfera
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		DWG NO.
			MDF		planos moldes

SCALA 1:4

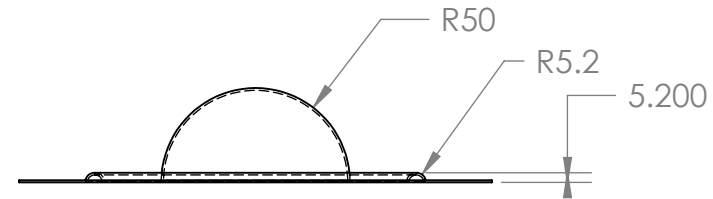
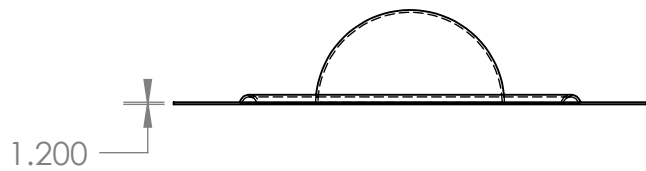
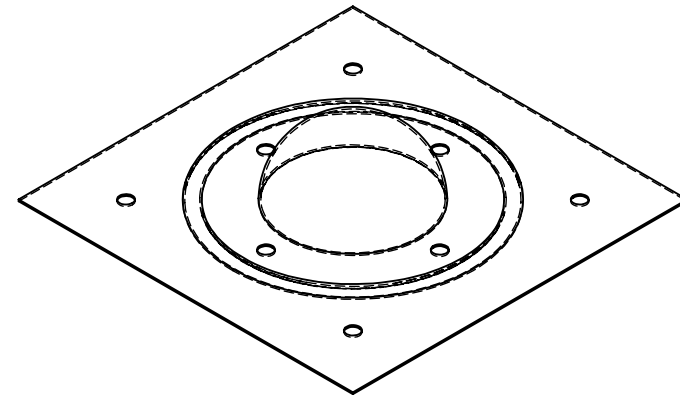
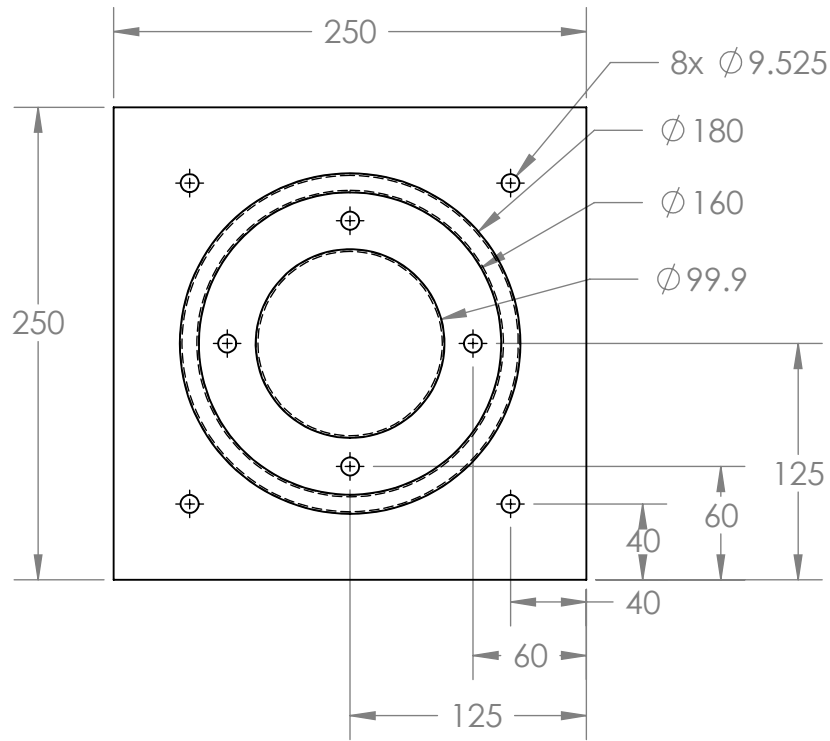
Hoja 5 de 14

A4



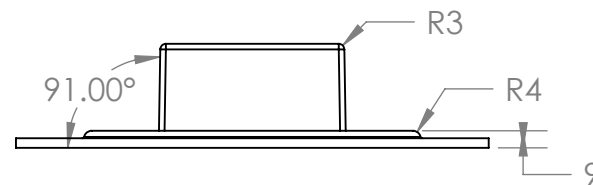
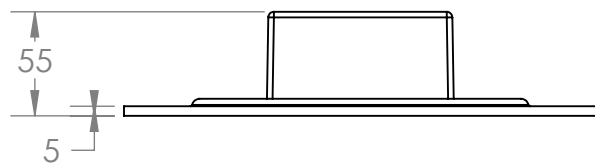
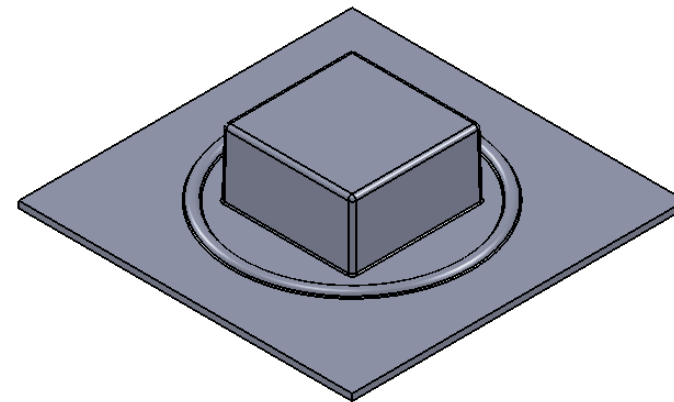
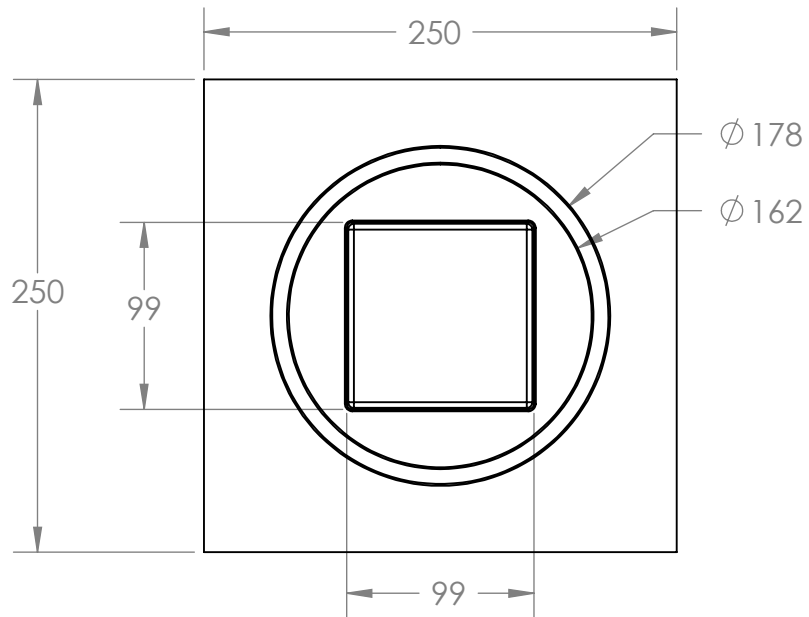
#	Nombre	Material	Descripción	Cantidad
1	Cara A semi esfera	Lamina de PET calibre 40	Termoformado y perforado	2
2	arandela 3/8 in	Acero 1020	Pieza estandar	16
3	tuerca 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	8
4	tornillo 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	8
5	O ring 7 mm $\phi$ 166	Acero 1020	Pieza estandar	1

	Nombre	Firma	Día	Titulo	
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Ensamble molde esfera - vista en sección	
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	DWG NO.	planos moldes
			-----		
				SCALA 1:4	A4
					Hoja 6 de 14

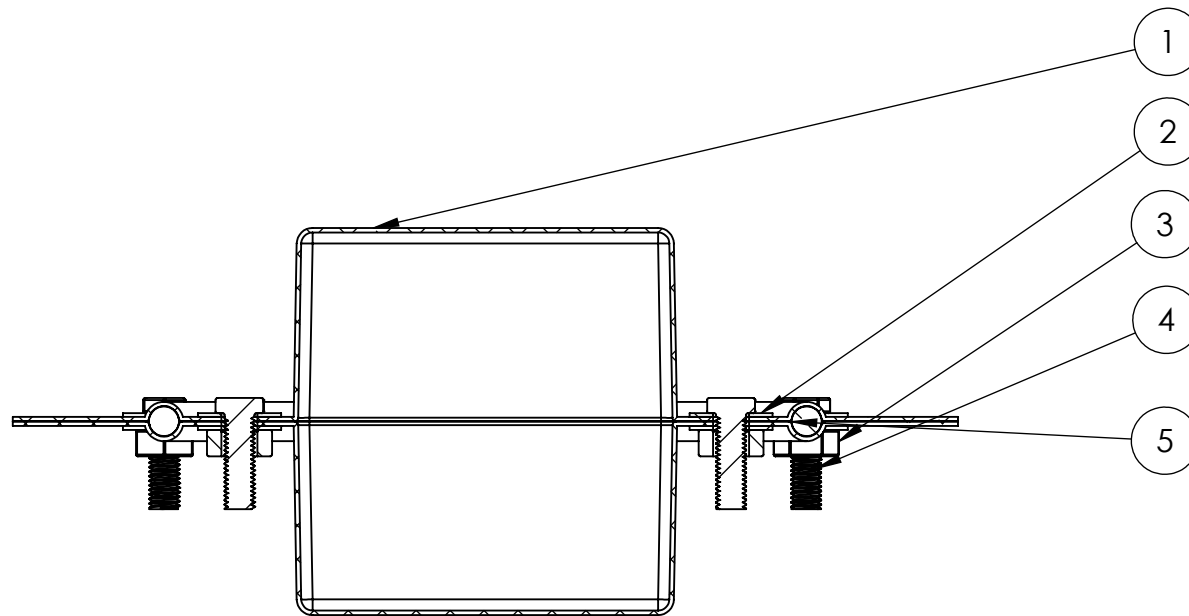


	Nombre	Firma	Dia	Titulo
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Cara A semi esfera
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	DWG NO.
			PET - calibre 40	planos moldes
				SCALA 1:4
				Hoja 7 de 14

A4

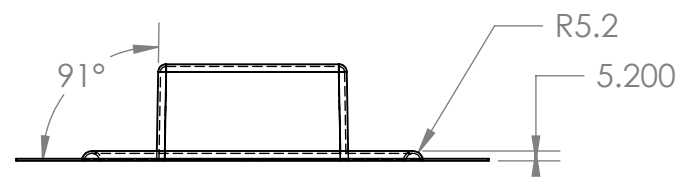
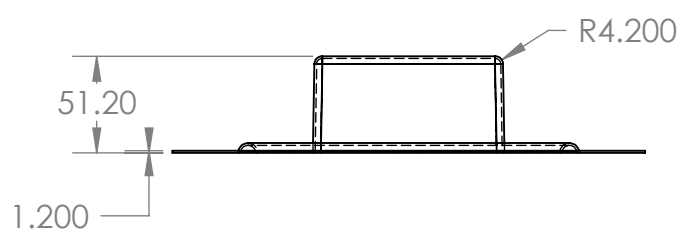
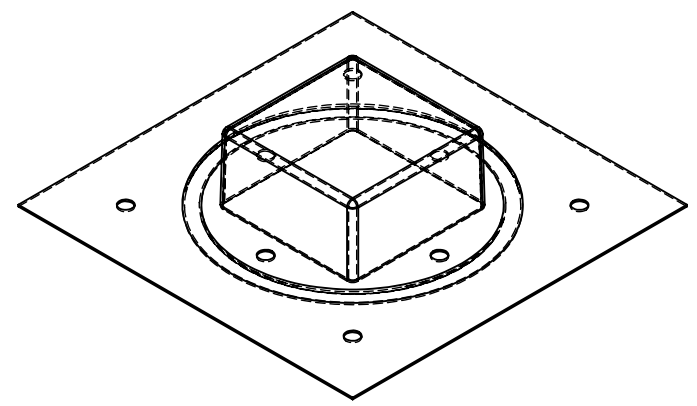
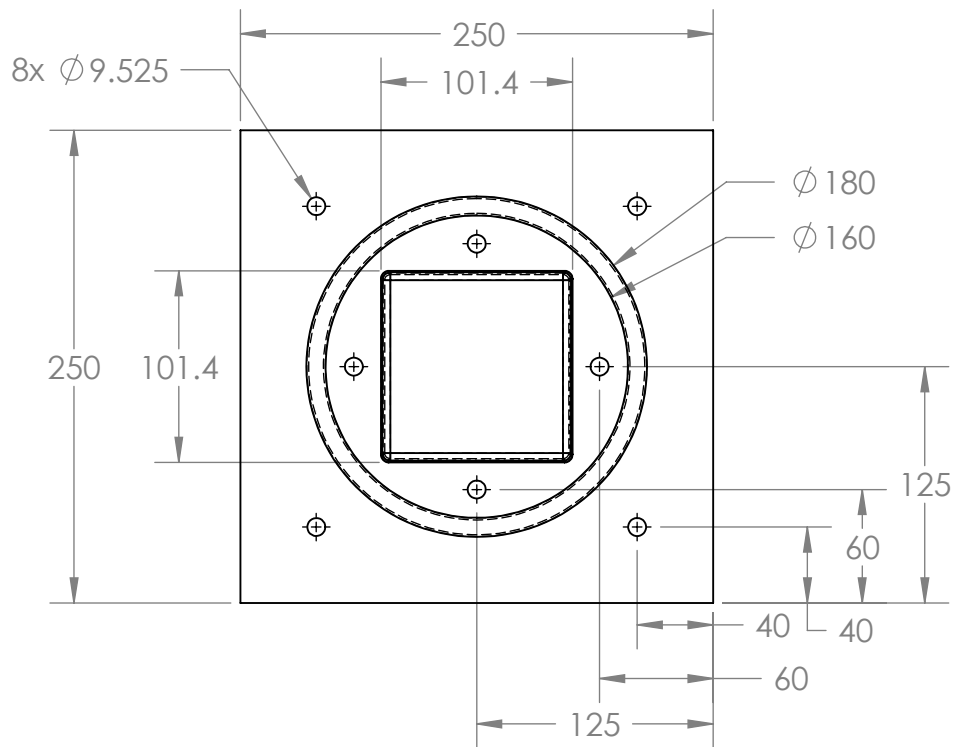


	Nombre	Firma	Día	Titulo
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Modelo en madera para fabricar el molde del cubo
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	DWG NO.
			MDF	planos moldes
				A4
				SCALA 1:4
				Hoja 8 de 14



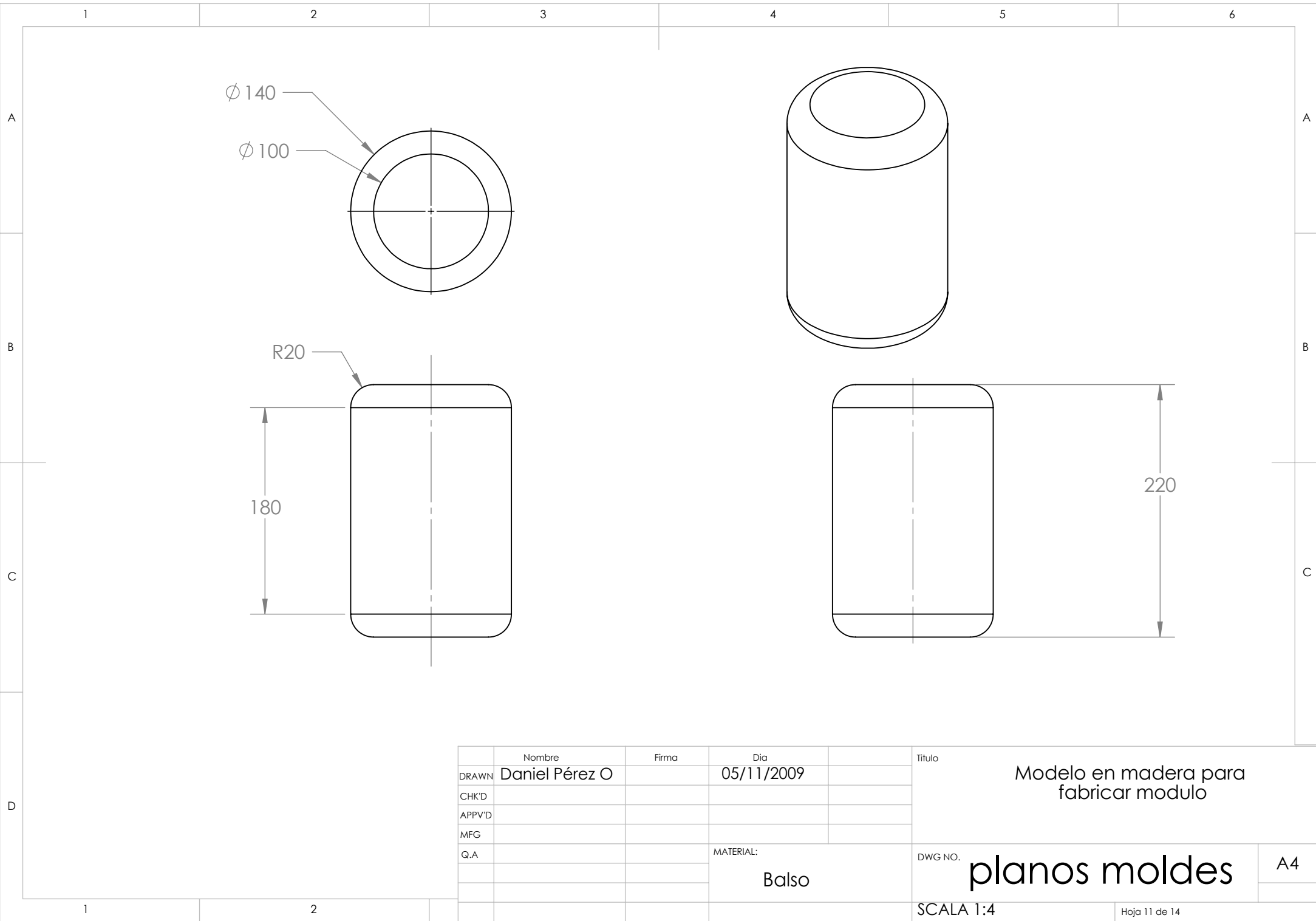
#	Nombre	Material	Descripción	Cantidad
1	cara A molde CUBO	Lamina de PET calibre 40	Termoformado y perforado	2
2	arandela 3/8 in	Acero 1020	Pieza estandar	16
3	tuerca 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	8
4	tornillo 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	8
5	O ring 7 mm $\phi$ 166	EPDM (elastómero)	Pieza estandar	1

	Nombre	Firma	Día	Titulo	
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Ensamble molde cubo - vista en sección	
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	DWG NO.	planos moldes
			-----		
				SCALA 1:2	A4
					Hoja 9 de 14

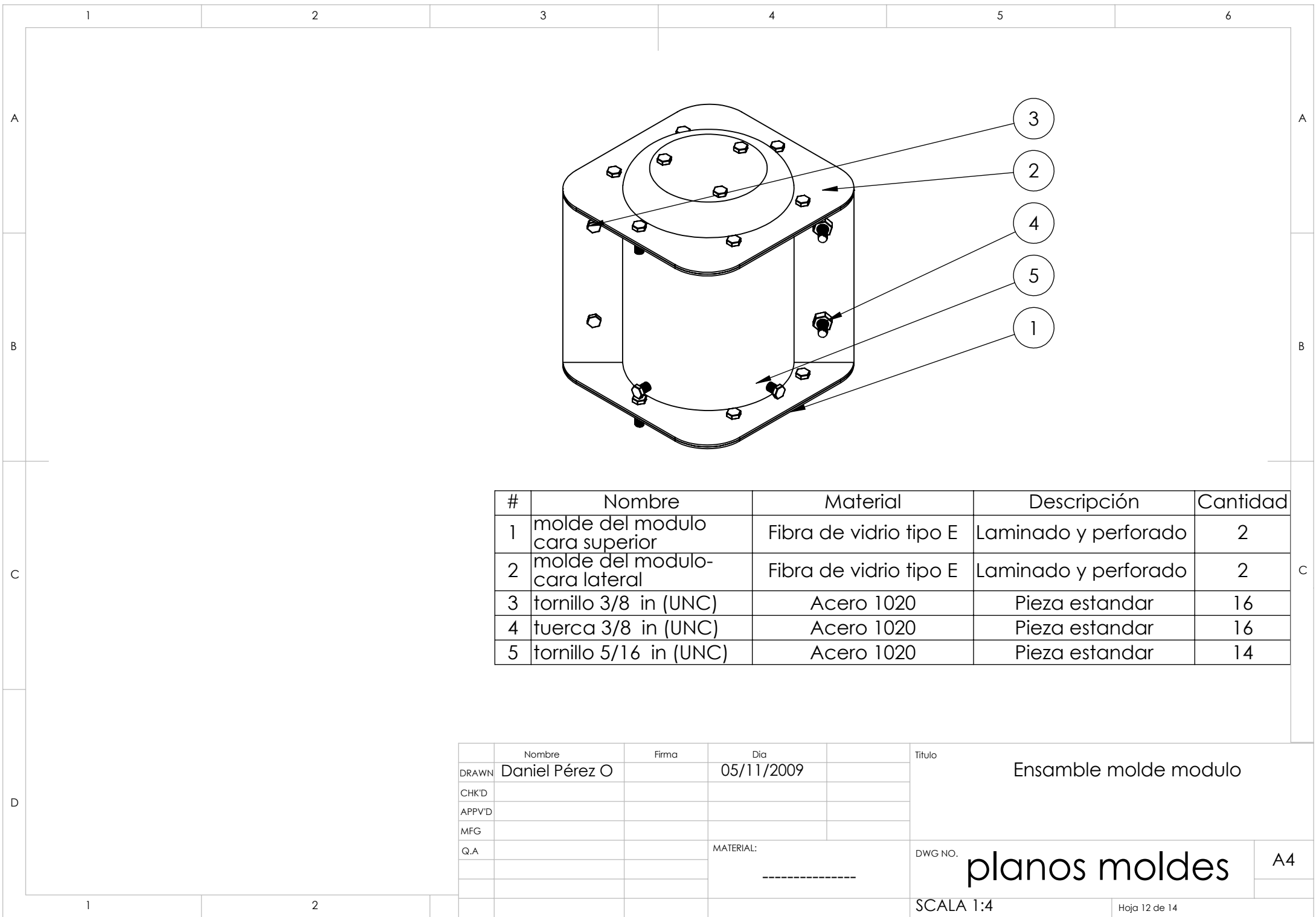


	Nombre	Firma	Fecha	Título
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Cara A molde cubo
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL: PET - Calibre 40	DWG NO. <b>planos moldes</b>
				SCALA 1:4

A4

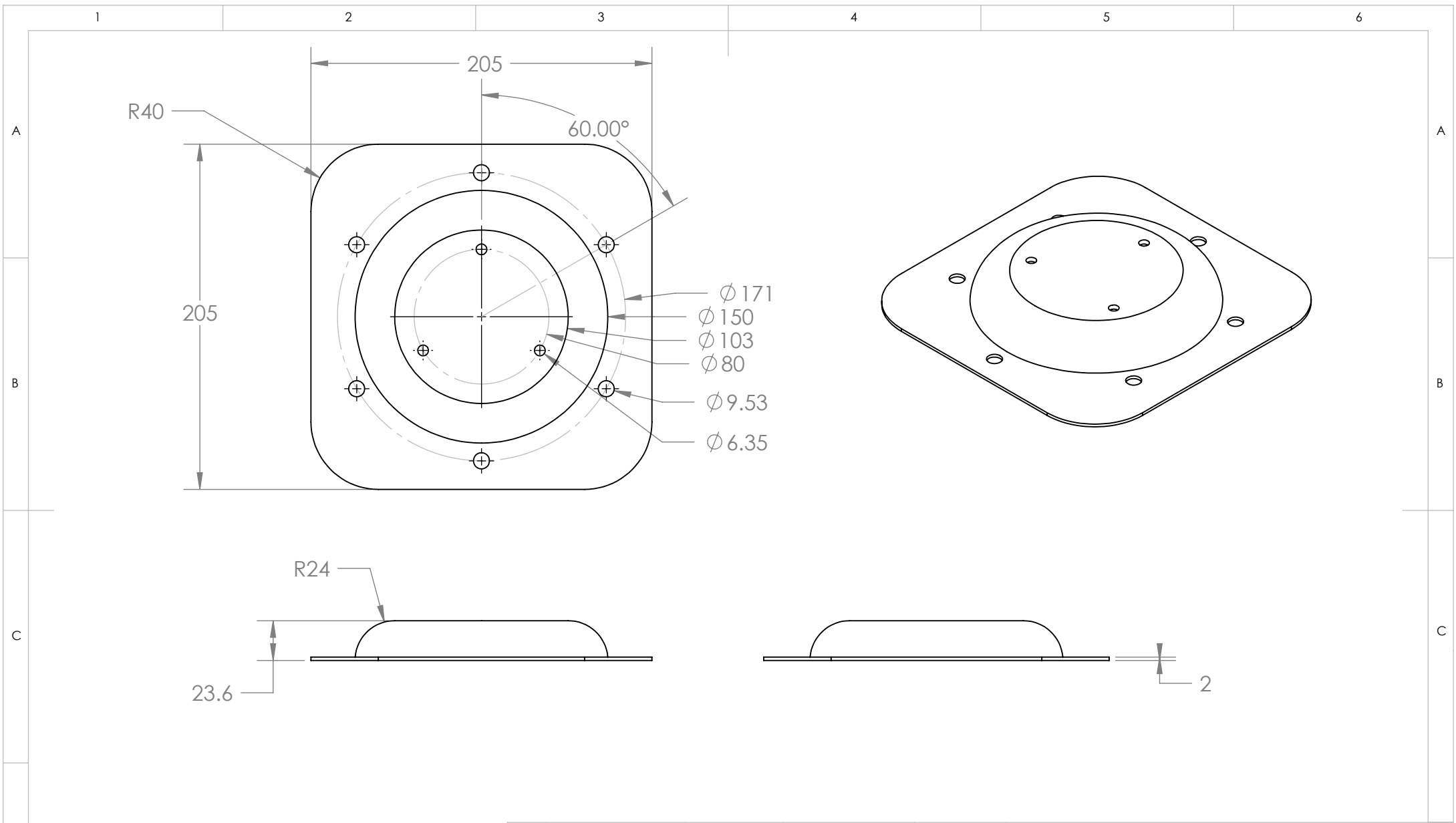


	Nombre	Firma	Dia	Titulo	
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Modelo en madera para fabricar modulo	
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: Balso	DWG NO. <b>planos moldes</b>	
				SCALA 1:4	A4
					Hoja 11 de 14

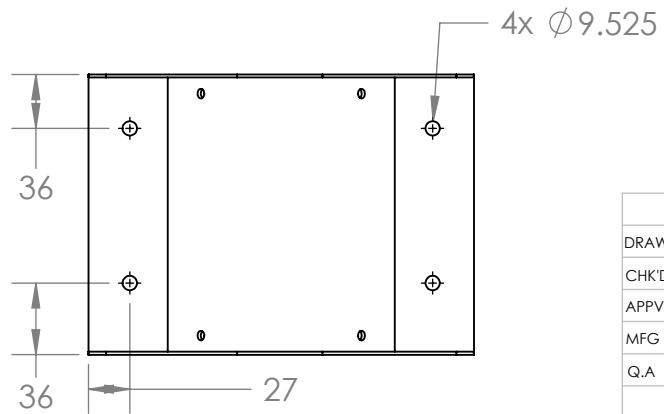
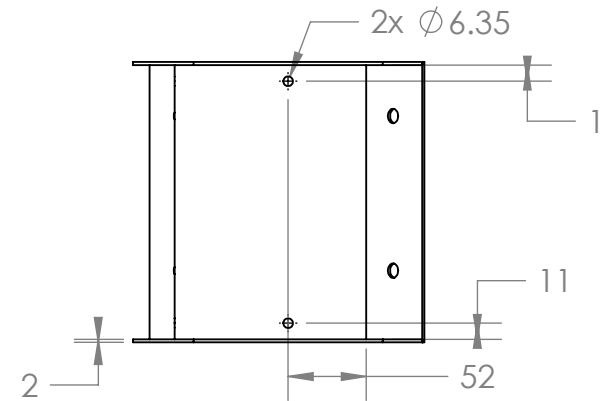
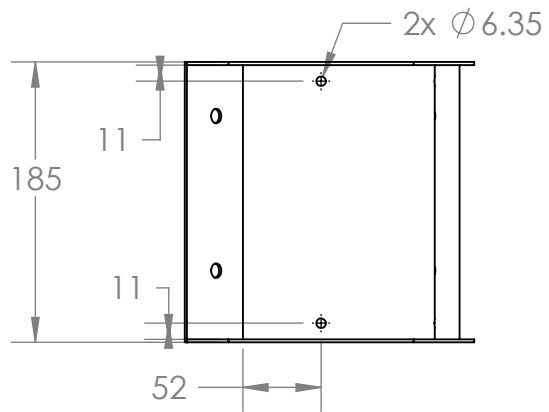
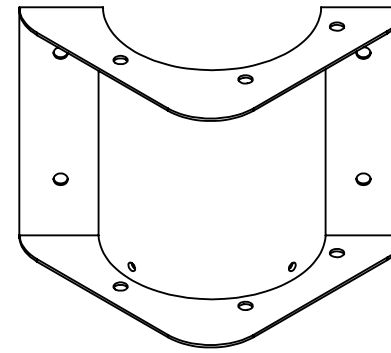
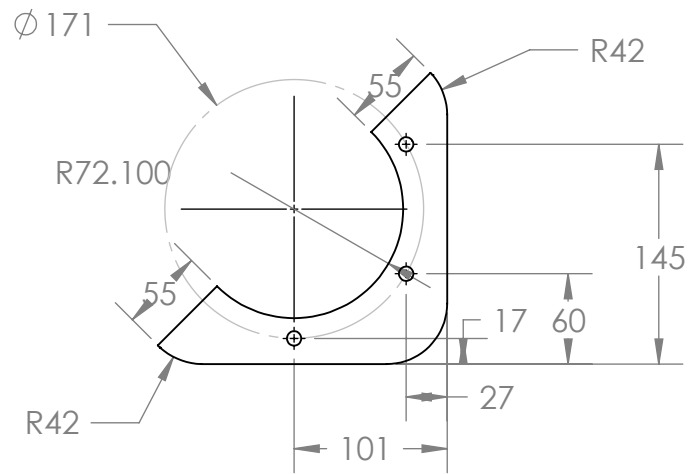


#	Nombre	Material	Descripción	Cantidad
1	molde del modulo cara superior	Fibra de vidrio tipo E	Laminado y perforado	2
2	molde del modulo-cara lateral	Fibra de vidrio tipo E	Laminado y perforado	2
3	tornillo 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	16
4	tuerca 3/8 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	16
5	tornillo 5/16 in (UNC)	Acero 1020	Pieza estandar	14

	Nombre	Firma	Dia	Titulo	
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Ensamble molde modulo	
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	DWG NO.	planos moldes
			-----		
				SCALA 1:4	A4
					Hoja 12 de 14



	Nombre	Firma	Día	Título
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Molde del modulo cara superior
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	DWG. NO.
			Fibra de vidrio tipo E	<b>planos moldes</b>
				A4
				SCALA 1:3
				Hoja 13 de 14



	Nombre	Firma	Dia	Titulo
DRAWN	Daniel Pérez O		05/11/2009	Molde del modulo cara lateral
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A			MATERIAL:	DWG NO.
			Fibra de vidrio tipo E	<b>planos moldes</b>
				SCALA 1:3
				Hoja 14 de 14

A4

## ANEXO

Fabricación de moldes para el rotomoldeo de termoestables.

### **Introducción:**

La diferencia existente entre la conformación de termoplásticos (Endotérmica) y termoestables (exotérmica), determina finalmente las diferencias en el proceso de rotomoldeo, aunque en esencia siga siendo una rotación biaxial a bajas revoluciones de una cavidad, donde el material polimérico se conforma por acción de la gravedad.

Una de las diferencias, donde el primer responsable es la materia prima a procesar, se evidencia en la fabricación de los moldes, pues para el procesamiento de termoplásticos, existen dos tipos de moldes, que son los de chapa metálica (acero CCT  $\lambda = 47$  a  $58 \text{ J/s}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) y los de fundición de aluminio (CCT  $\lambda = 209,3 \text{ J/s}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ), los cuales deben cumplir un criterio en común que es la uniformidad del espesor en toda la cavidad, para que de ésta forma la propagación del calor también se efectuó de manera uniforme y garantice una homogeneidad en los espesores de los productos procesados.

Por otra parte, para el procesamiento de materiales termoestables, como su conformación es de forma exotérmica, las consideraciones para los moldes serán diferentes a los moldes de termoplásticos, como se describe en este anexo.

## **Consideraciones necesarias para la fabricación de moldes para rotomoldeo de termoestables.**

Las consideraciones de fabricación de los moldes de rotomoldeo para termoestables están ligadas a las características de polimerización de la materia prima, que se realiza mediante una reacción química, mezclando el material termoestable con endurecedores y acelerantes. Dicha reacción es conocida como reacción exotérmica, es decir que desprende o libera calor.

Así pues, como la materia prima procesada para materiales termoestables no requiere de fuentes externas de calor para su conformación, implica que la consideración de uniformidad en el espesor de las paredes del molde y del material empleado para el mismo, que regularmente se tienen para la fabricación de moldes para materiales termoplásticos, no se tienen que tener en cuenta, desde el punto de vista de asegurarse una buena transferencia de calor, desde el exterior (horno) al interior (material termoplástico).

Vale la pena mencionar, que los aspectos referidos a continuación se realizan de forma genérica, ya que en este trabajo sólo se pretenden destacar los elementos necesarios para llegar a obtener las condiciones requeridas para procesar materiales termoestables por la técnica de rotomoldeo. En este anexo, se presentan dos técnicas y materiales que resultan favorables para la fabricación de moldes, cuando se están procesando resinas termoestables tipo poliéster insaturado. En el momento, que se cambie de material, se recomienda realizar un estudio similar al realizado en este trabajo.

En consecuencia, las consideraciones mínimas para la fabricación de moldes para el rotomoldeo de termoestables, son:

## 1. Material:

A diferencia del procesamiento para termoplásticos, el material de fabricación del molde para termoestables no tiene que cumplir con el requisito riguroso de tener un alto coeficiente de conductividad térmica. En este caso, debido a que la solidificación de los termoestables es una consecuencia de una reacción exotérmica, el material de fabricación de los moldes, debe tener una temperatura de servicio muy superior a la máxima temperatura de exotermia, para el caso de procesamiento de resinas de poliéster insaturado se pueden emplear materiales cuyo punto de fusión esté por encima de los 200 o 210 °C, que la temperatura de servicio durante poco tiempo sea superior a 150 °C. Además, el material debe facilitar el moldeo para acoplarse a las geometrías propuestas para ser rotomoldeado y para los tipos de acabado superficial homólogos al acabado superficial de los moldes para termoplásticos o finalmente a los requisitos del diseño.

En relación a la configuración física del material, éste debe tener buena estabilidad dimensional que osciló entre 1 y 1.5 %, con el fin de que no afecte las dimensiones finales del producto, se mantengan los registros entre caras y la linealidad entre puntos de ensamble. En cuanto a la resistencia mecánica, no es un factor determinante para la selección del material con el que se fabrique el molde, puesto que el moldeo se efectúa por acción de la gravedad y no existen presiones internas que fracturen o fatiguen el molde.

## 2. Fabricación:

Los procesos para la conformación de los moldes deben ser procesos a baja escala de producción, a razón de que la cantidad de moldes requeridos son pocos en comparación a la producción para productos de consumo masivo,

incurriendo de tal forma, en procesos manuales, para obtener una buena relación costo beneficio.

3. Formas procesables:

Al igual que para el moldeo de termoplásticos por la técnica de rotomoldeo, los productos obtenidos son huecos que como mínimo deben tener ángulo de desmolde y no debe incurrir en ángulos negativos para poder desmoldar el producto final. Así pues las formas a producir por esta técnica está ligada tanto al proceso como a la versatilidad de acoplamiento por parte del material del molde.

4. Flanches:

Al igual que en los moldes de rotomoldeo para termoplásticos, los moldes para termoestables deben tener una sección en la que se ubiquen los sistemas de sujeción tanto entre caras del molde, como para la unión del molde a la máquina de rotomoldeo. La ubicación y geometría de dicha sección está definida por la línea de partición del producto a manufacturar, razón por la cual el registro entre los flanches debe ser un factor relevante a considerar, ya sea para que no existan irregularidades, como escalas, en la superficie en la que fluye el material, y también para que el empalme entre las superficies de cierre del flanche, ensamblen adecuadamente, impidiendo fugas de la materia prima a procesar, hecho que se complementa con los sistemas de cierre.

5. Sistemas de cierre:

Para el cierre de los moldes para rotomoldeo de termoplásticos, existen dos sistemas que son los más comunes, que se pueden replicar de la misma forma en los moldes para termoestables. El primero es el ensamble mediante tornillería, que por medio de tornillos y tuercas ubicados sobre el flanche del molde, a una distancia arbitraria, ejercen la fuerza suficiente para evitar la salida del material. La segunda es por medio de clamps, que son sistemas ágiles de cierre, que mediante mecanismos de barras accionados con una palanca (integrado en el sistema) se genera una ventaja mecánica replicada en la fuerza ejercida para el cierre del flanche impidiendo la salida del material; éste sistema también se ubica sobre el molde.

#### 6. Acabado superficial:

Los acabados superficiales del molde para termoplásticos, están ligados, en su gran mayoría, por las propiedades del material con el que se fabrican, permitiendo los ataques con arena, el ataque ácido, grafilado, granallado, entre otros. Para el caso de los moldes para termoestables, los acabados superficiales dependerán en gran medida del material que se seleccione para la fabricación del molde, que tenga la capacidad de replicar los mismos acabados superficiales posibles en el rotomoldeo de termoplásticos, ya sea procesándose de la misma forma u obteniendo el acabado requerido en la pieza final sin la intervención de los procesos antes mencionados.

#### 7. Insertos:

Existen dos tipos de insertos con los que se trabajan en el rotomoldeo de termoplásticos, que son los extraíbles y los fijos, que normalmente son ubicados en la cavidad gracias a que el soporte de estos o la forma de garantizar su ubicación precisa en la pieza a producir, es mediante el

acoplamiento de elementos de sujeción en la superficie externa del molde; dichos acoples dependerán en esencia del tipo de postizo y de la compatibilidad que tenga con el material del molde, en el caso de que se pueda soldar.

Para el caso específico de este proyecto de grado, teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas, se realizaron moldes de rotomoldeo para termoestables en dos tipos de materiales y por técnicas de manufactura diferentes.

Para la fabricación de las formas básicas (cubo ( $993.73 \text{ cm}^3 - 573.96 \text{ cm}^2$ ), cono ( $300.37 \text{ cm}^3 - 272.80 \text{ cm}^2$ ) y esfera ( $523.60 \text{ cm}^3 - 314.16 \text{ cm}^2$ )), necesarias para establecer las condiciones de rotomoldeo, se utilizaron láminas de PET termoformadas. En el caso de la fabricación del producto, el cual tiene un volumen (cilindro ( $3315.95 \text{ cm}^3 - 1196.42 \text{ cm}^2$ )) superior al de las formas básicas, el molde se realizó en fibra de vidrio.

## **Moldes para rotomoldear formas básicas**

### **1. Material de fabricación del molde**

Laminas de PET:

Se selecciona este material debido a que presenta:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Temperatura de fusión  $255 \text{ }^\circ \text{C}$
- Temperatura de transición vítrea  $69 \text{ }^\circ \text{C}$

- Presenta resistencia a la deformación
- Temperatura de servicio durante poco tiempo 180/100 ° C
- Conductividad térmica específica 0,24 W/(m.K)
- Capacidad calorífica 1,1 J/(g.K)

Conociendo las propiedades del material seleccionado y teniendo presente las condiciones necesarias establecidas anteriormente para la fabricación de los moldes se procedió a fabricar los moldes mediante la técnica de termoformado.

Procedimiento de termoformado de moldes:

**Material:** Polietileno tereftalato (PET), translúcido, calibre 40 (equivalencia a 1.2 mm).

**Proceso:** Termoformado (haciendo uso de los recursos de la universidad EAFIT).

1. Inicialmente se definió mediante un software tridimensional el modelo CAD sobre el cual se efectuaría el proceso de termoformado (ver figura 1).

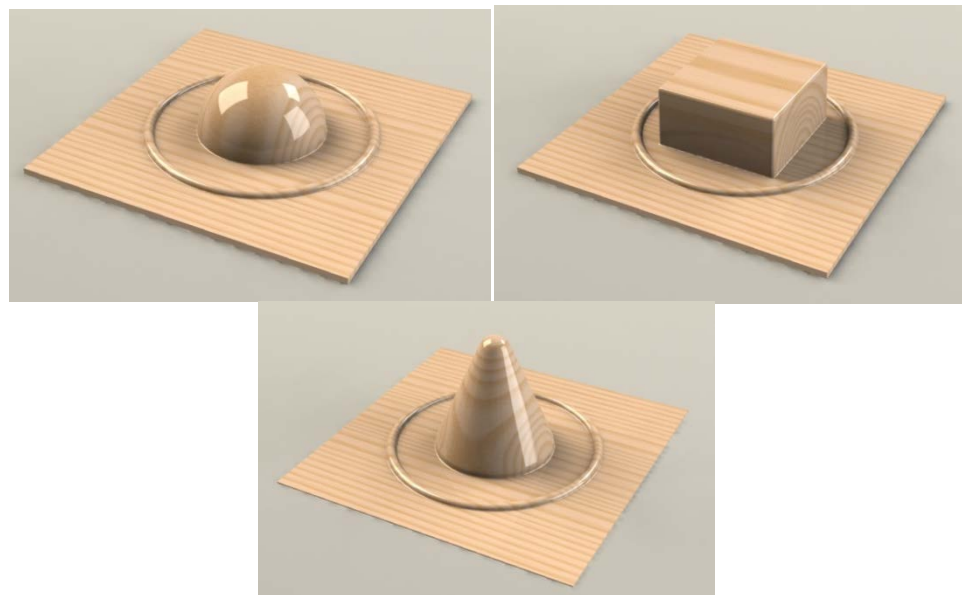


Figura 1. Modelos 3D en madera para moldes de rotomoldeo termo formados.

Fuente: El autor.

- Una vez teniendo el primer paso, se procedió a hacer una aproximación de cómo quedaría la cavidad una vez se termoformara (ver figura 2), y adicionalmente se definieron los puntos de ensamble entre caras del molde y entre el molde y la maquina.

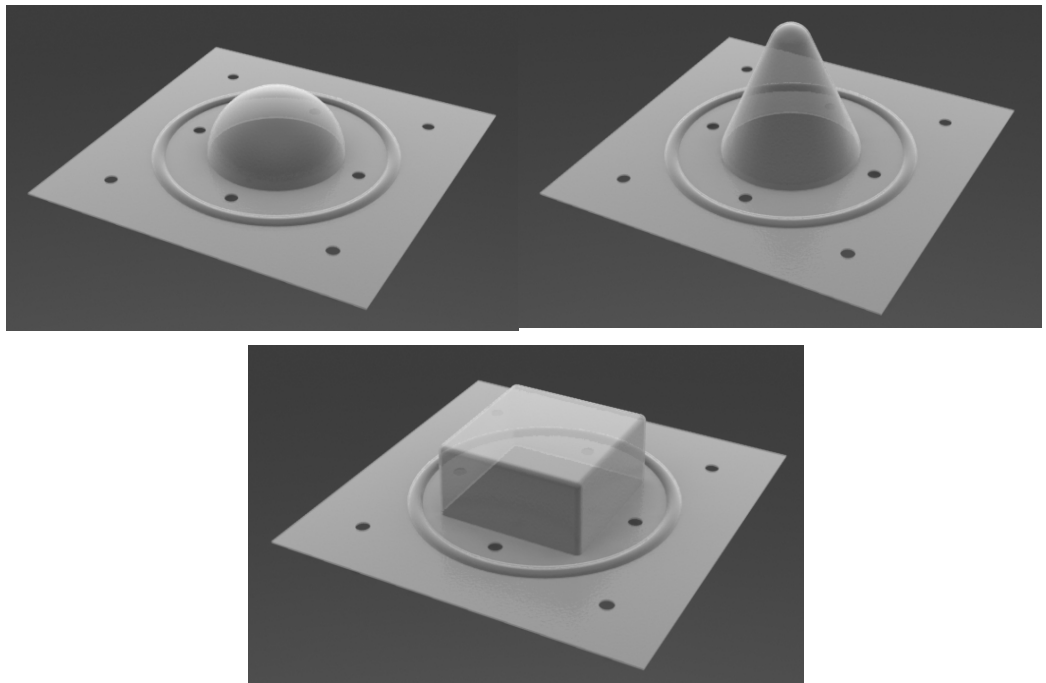


Figura 2. Modelo 3D de moldes termoformados en lamina de PET.  
Fuente: El autor.

- Teniendo la modelación de los modelos para el termoformado, se procedió a su fabricación en madera aglomerada (MDF) (ver figura 3); los que eran axisimétricos se procesaron en el torno manual para madera (recurso de la universidad), los que no utilizando maquinas de remoción de material para su conformado, como lo fueron cierras sin fin que bancada ecualizable y rutiadoras.

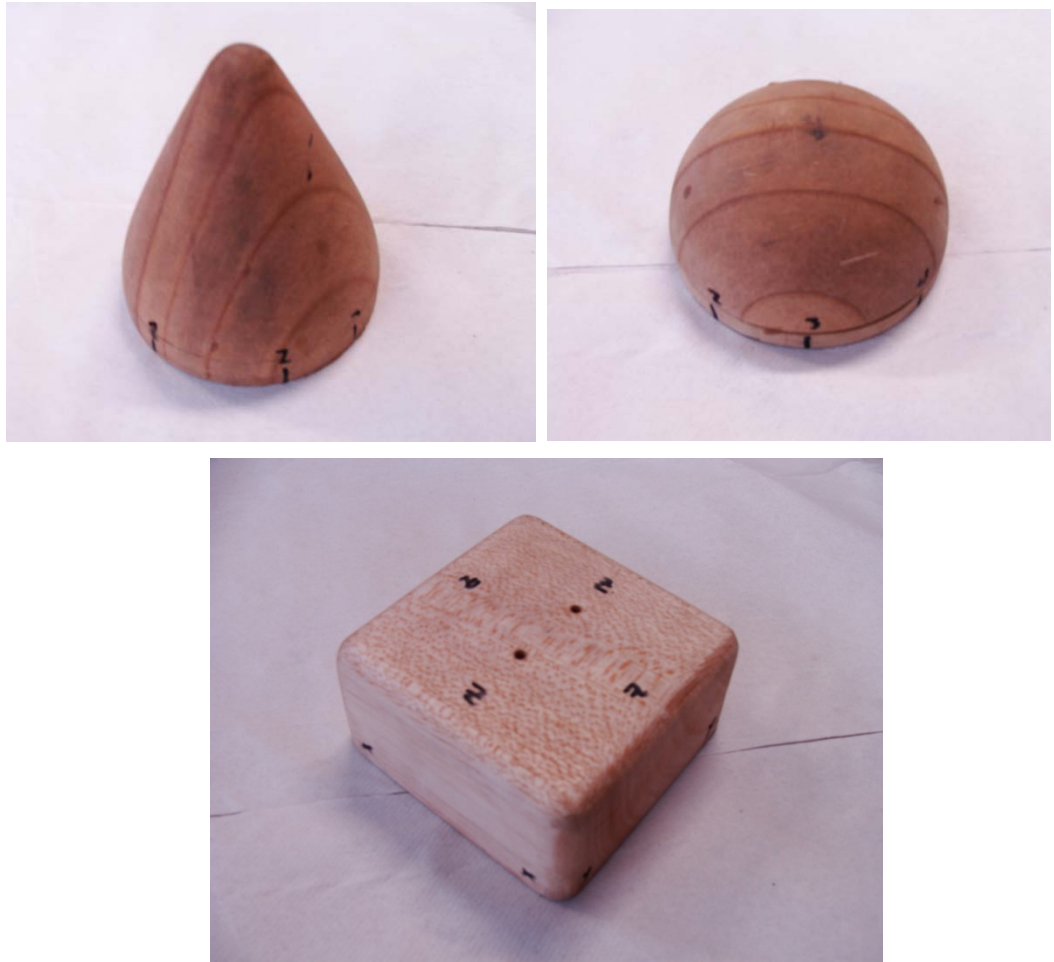


Figura 3. Modelos fabricados en madera para la creación de los molde por termoformado.

Fuente: El autor.

Vale la pena mencionar, que la base para los moldes en madera se hizo modular, de forma que fuera acoplable a cada una de las geometrías.

4. Una vez terminados los modelos se procedió a termoformarlos, llevando la lamina de PET a una temperatura entre 240 y 245 °C y sometido a una presión negativa de alrededor de 20 inHg.

5. Una vez termoformados, se crearon los puntos de ensamble conforme se habían establecido en la modelación de las cavidades, realizadas a partir de un taladro manual y empleando una broca de 3/8", dicha medida es requerida a razón de que el sistema de cierre a emplear y propuesto, es tornillería de 3/8" de rosca ordinaria (UNC).

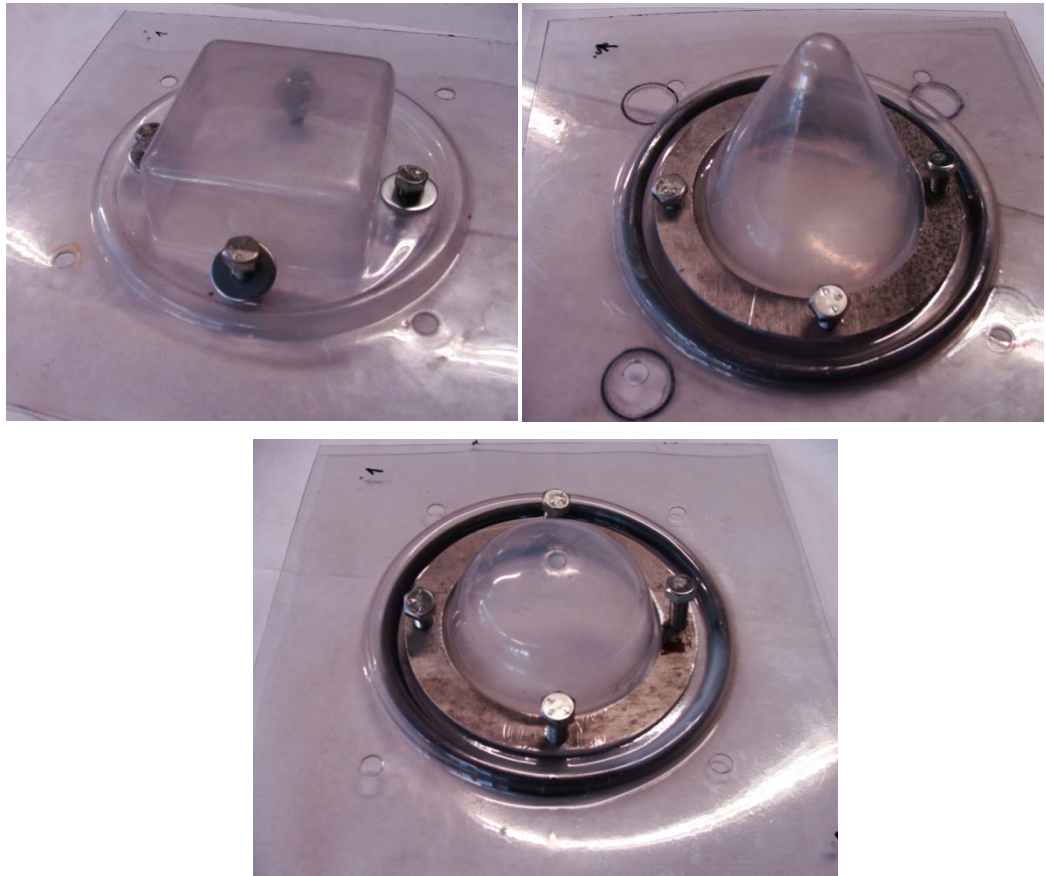


Figura 4. Moldes de rotomoldeo para termoestables en PET termoformado.

Fuente: El autor.

Planos:

## Moldes para rotomoldear el producto

### 2. Material de fabricación del molde

Laminado de fibra de vidrio:

Se realiza el molde a partir de resina de poliéster y fibra de vidrio, la selección en este caso se debe a que este material compuesto, presenta una débil conductividad térmica, una buena resistencia mecánica, es económico y además, por la facilidad de fabricación del molde. Aunque podría pensarse que el material base para la fabricación del molde es una resina termoestable al igual que las resinas a procesar, en este caso, al ser el molde un material compuesto, la fibra de vidrio que actúa como refuerzo, ayuda que este tipo de materiales tengan una buena estabilidad dimensional.

#### Procedimiento:

**Material:** material compuesto - Fibra de vidrio tipo E (reforzante) + resina de poliéster insaturado (matriz).

**Proceso:** Laminado manual. Capas: gel coat, mat, roving, mat.

1. Modelo CAD sobre el cual se efectuará el laminado con la fibra de vidrio.



Figura 5. Modelo CAD en madera.  
Fuente: El autor.

2. Luego, también con un modelo CAD se procedió a hacer una aproximación de la cavidad, definiendo las líneas de partición, las caras necesarias para la conformación de la geometría y los puntos de ensamble entre caras del molde y entre el molde y la máquina. También se definió la ubicación de los insertos y las medidas de los mismos.

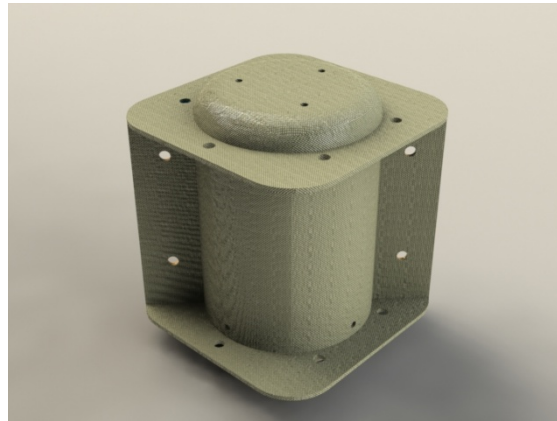


Figura 6. Modelo CAD del molde en laminado manual de fibra de vidrio.  
Fuente: El autor.

3. Teniendo la modelación del modelo, se procedió a su fabricación en madera blanda (balso), empleando el torno manual (recurso de la universidad) para madera, y aplicando una capa de sellador para obtener una superficie con poca rugosidad.



Figura 7. Modelo fabricado en madera para la creación del molde por laminado manual de fibra de vidrio.  
Fuente: El autor.

4. Sobre el modelo en madera se realizó el laminado manual de la fibra de vidrio tipo E, comenzando con una aspersion de gel coat en la cara interna, luego se realizo un laminado de la matriz más fibra de vidrio en presentación tipo mat, luego, sobre el laminado anterior se realizo otro laminado, esta vez con fibra de vidrio en presentación tipo roving y finalmente, se repitió el laminado con fibra de vidrio en presentación tipo mat. Este proceso se repitió 4 veces(Ver figuras 8, 9 10 y 11), equivalente a las caras del molde requeridas para la conformación del producto final.

Inicialmente se define la línea de partición sobre la pieza de madera, luego sobre ésta se ubicó una sección de 250x250 mm, con el fin de determinar así el flanche del molde, luego sobre este se realizo la aspersion del gel coat y luego se procedió a realizar los laminados correspondientes a la cara del molde, como se puede ver en la figura 8.

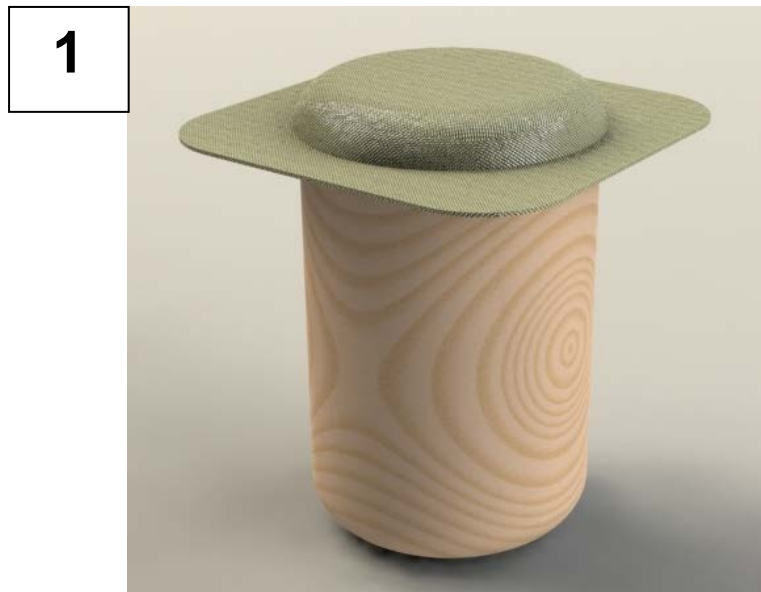


Figura 8. Primer paso para la fabricación del molde mediante el laminado de fibra de vidrio.  
Fuente: El autor.

Como segundo paso, se procede de igual forma que en el paso inicial, pero sobre la cara opuesta de la pieza en madera, definiendo la línea de

partición y definiendo la restricción que finalmente moldeará el flanche, como se ilustra en la figura 9.

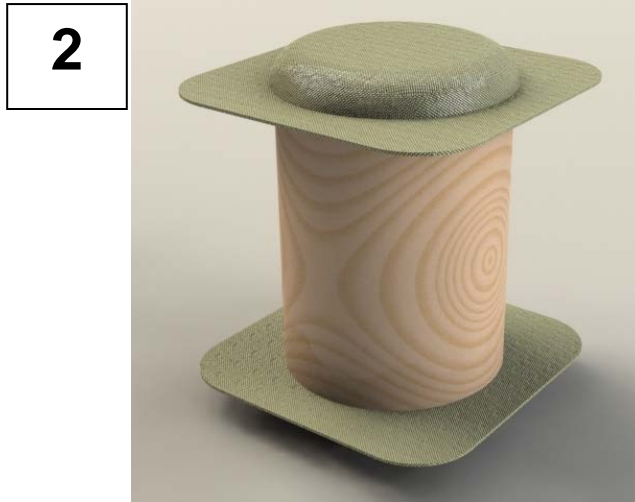


Figura 9. Segundo paso para la fabricación del molde mediante el lamiado de fibra de vidrio.

Fuente: El autor.

Al igual que para los pasos uno y dos, se definió la línea de partición, en los costados del modelo en madera, donde se ubico restricciones en PET, para formar el flanche y se utilizo las caras ya formadas, con el fin de garantizar un buen registro a la hora de ensamblar el molde (ver figura 10).

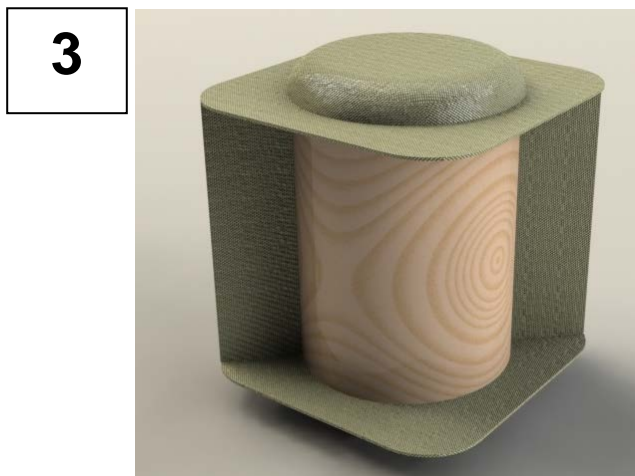


Figura 10. Tercer paso para la fabricación del molde mediante el lamiado de fibra de vidrio.

Fuente: El autor.

Finalmente, como se observa en la figura 11, se procedió a realizar la última cara del molde, utilizando los flanches de las otras caras ya formadas, con el fin de garantizar un buen registró entre los flanches y la superficie interna del molde.

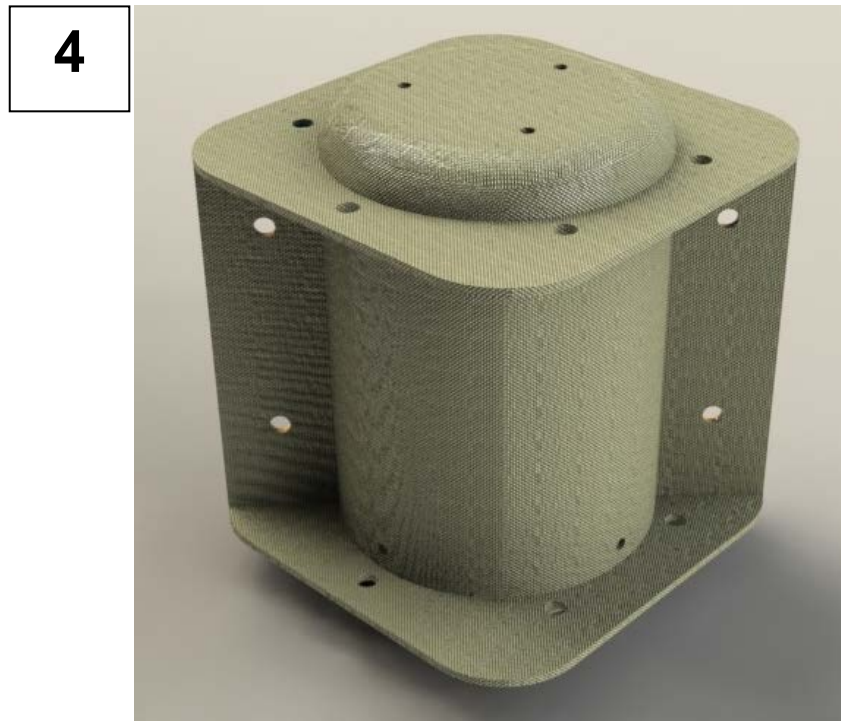


Figura 11. Cuarto paso para la fabricación del molde mediante el lamiado de FV.  
Fuente: El autor.

5. Una vez se realizó el laminado manual de la fibra de vidrio, se perforaron los puntos de ensamblaje conforme se habían establecido en la modelación de las cavidades, realizadas a partir de un taladro manual y empleando una broca de  $3/8$ ", dicha medida es requerida a razón de que el sistema de cierre a emplear y propuesto, es tornillería de  $3/8$ " de rosca ordinaria (UNC). Finalmente, como se observa en la figura 12 y 13, se fabricó el molde conforme a lo propuesto en la modelación 3D.



Figura 12. Molde en fibra de vidrio para rotomoldeo

Fuente: el autor.



Figura 13. Molde en fibra de vidrio para rotomoldeo

Fuente: el autor.

Planos: