ESTUDIO TEÓRICO- PRACTICO DEL SISTEMA DE MOLDEO CERRADO POR INFUSIÓN CON VACÍO Y CONTRAMOLDE FLEXIBLE DE SILICONA , PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS EN POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.

ANDRÉS FELIPE ANAYA ALFARO.

Asesor: Juan Santiago Villegas L.

Universidad EAFIT
DPTO. DE ING. MECÁNICA

eduardoño
MANDA EN SERVICIO !

1. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar el proceso de moldeo cerrado de infusión de resina poliéster catalizada por vacío y contramolde flexible en silicona denominado CCBM para la fabricación de piezas en poliéster reforzado con fibra de vidrio y compararlo con sistemas de moldeo tradicionales como el moldeo abierto por contacto a mano (Hand Lay Up) y el moldeo cerrado VARTM.

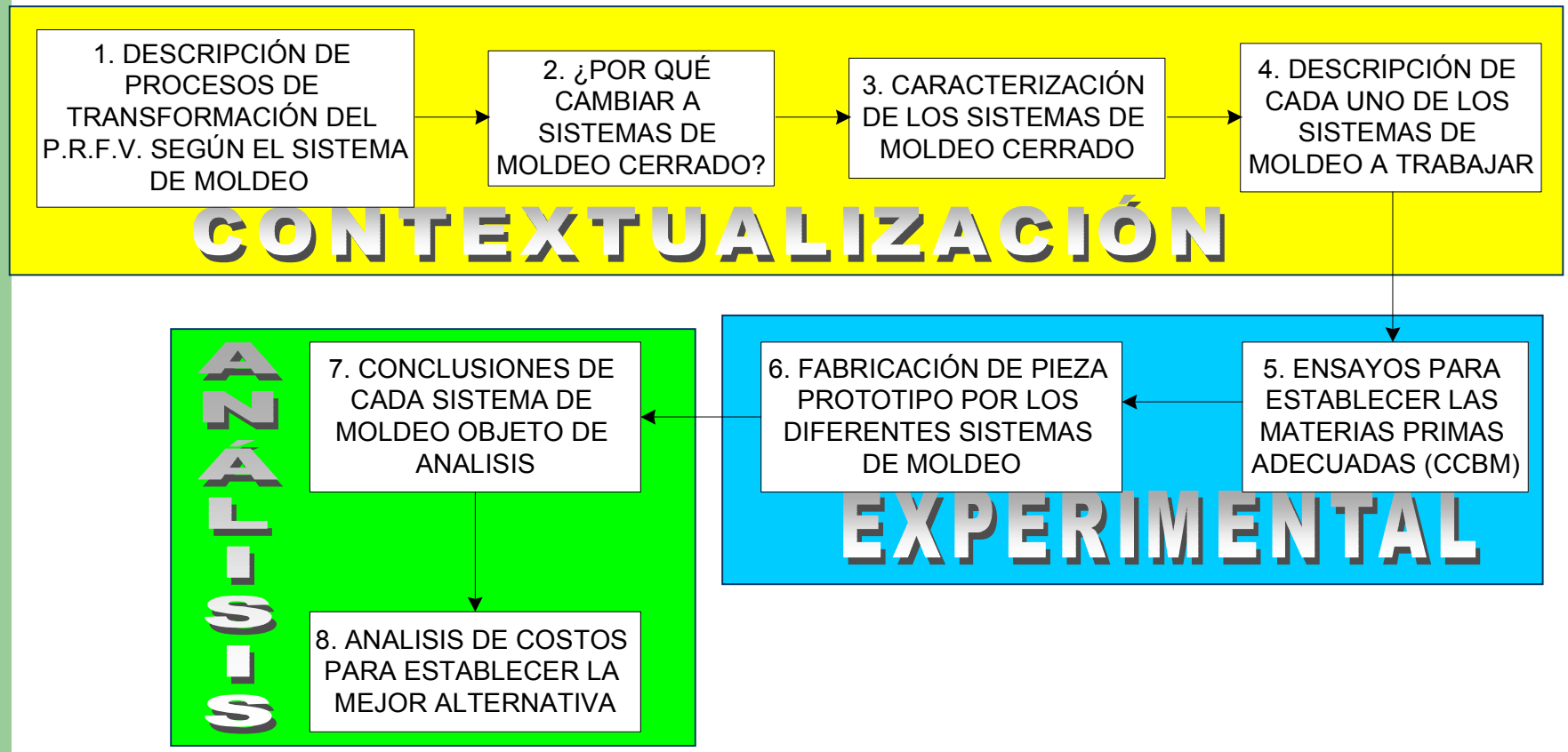
2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Describir los principios fundamentales de los procesos de transformación de materiales compuestos.
2. Evaluar teóricamente y validar en la practica el proceso de transformación de materiales compuestos por moldeo CCBM, para la fabricación de una pieza prototipo en P.R.F.V.
3. Fabricar una pieza prototipo en P.R.F.V., utilizando el sistema de moldeo cerrado VARTM y el sistema de moldeo abierto por contacto a mano.

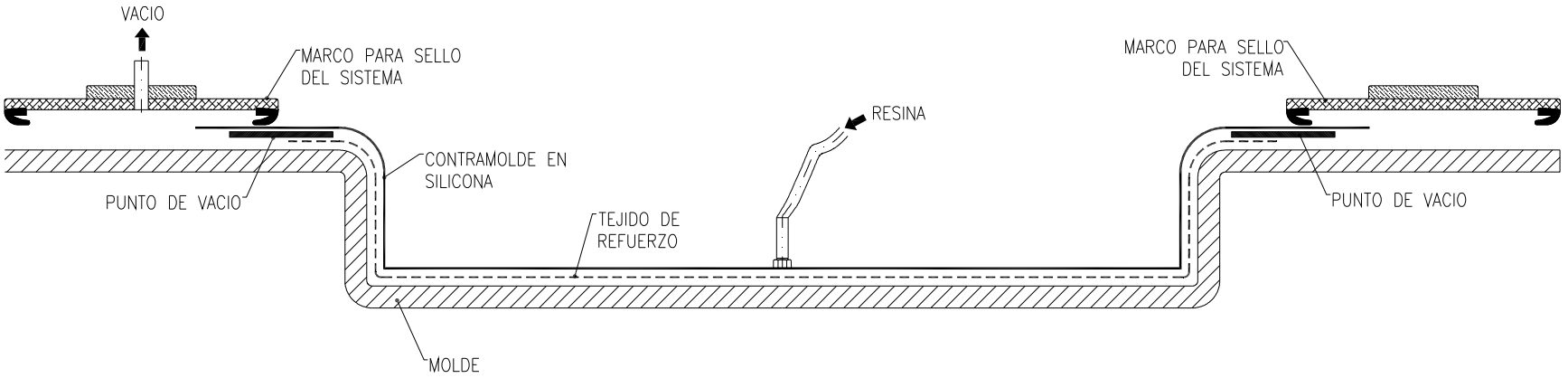
2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

4. Realizar un análisis comparativo entre los diferentes métodos de fabricación validados.
5. Concluir cual de los métodos es el mas adecuado para las necesidades de fabricación de la fabrica de botes de Eduardoño S.A.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

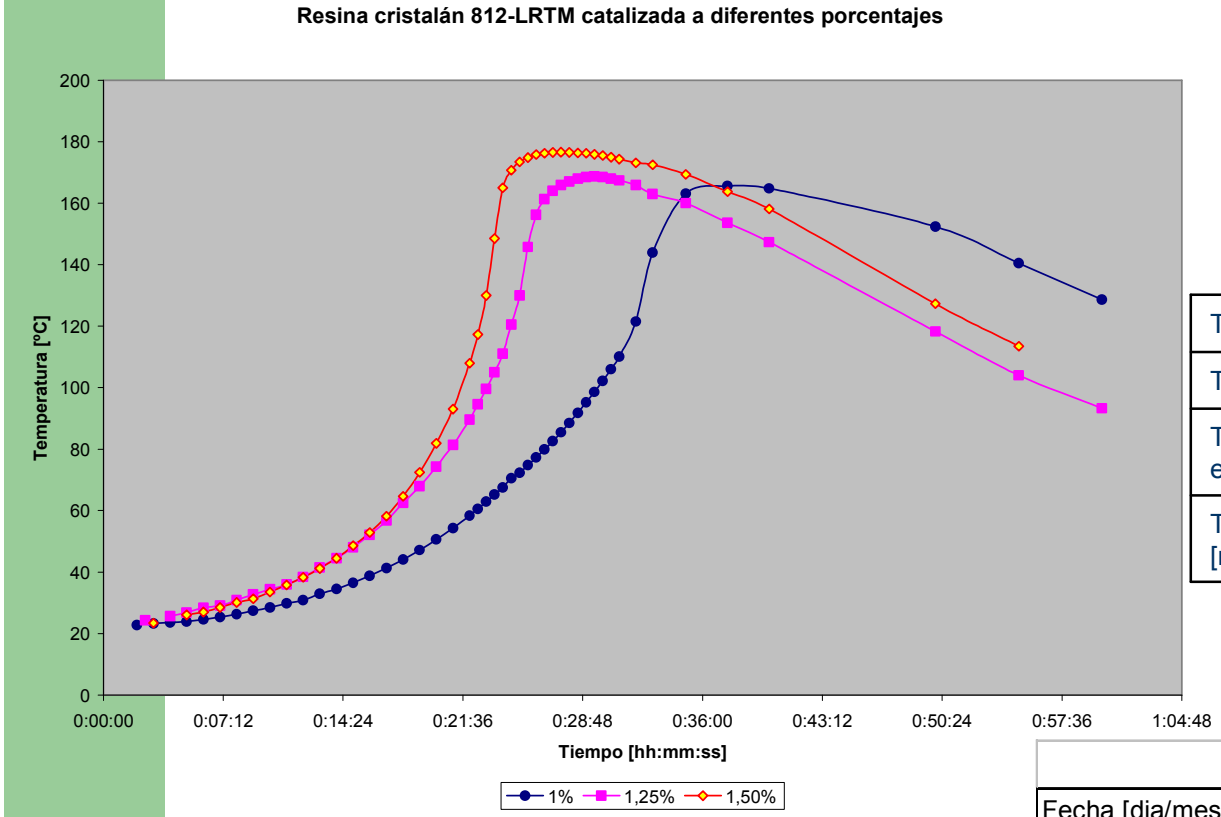


4. CCBM (Closed Cavity Bag Moulding)



5. ENSAYOS PARA ESTABLECER LAS MATERIAS PRIMAS ADECUADAS CCBM

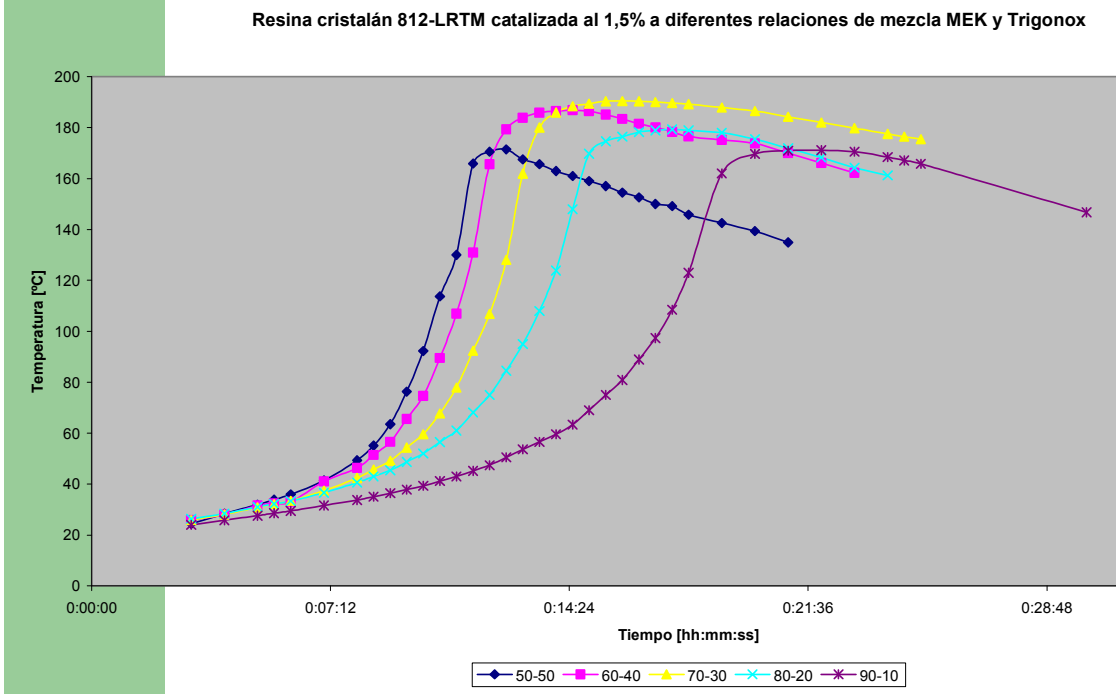
5.1. TEMPERATURA DE EXOTERMIA A DIFERENTES PORCENTAJES DE CATALIZACIÓN



	1%	1.25%	1.50%
Temperatura de gel [ºC]	31.8	32.7	33
Tiempo de gel [mm:ss]	12:26	09:36	09:43
Temperatura de exotermia [ºC]	165.6	168.7	176.6
Tiempo de exotermia [mm:ss]	37:30	29:30	27:30

	1%	1.25%	1.50%
Fecha [dia/mes/año]	17/08/2006	17/08/2006	18/08/2006
Hora [hh:min]	11:17	14:30	15:12
Temperatura ambiente [ºC]	21.5	22	20.8

5.2. TEMPERATURA DE EXOTERMIA PARA DIFERENTES RELACIONES MEK[1]-TRIGONOX[2]



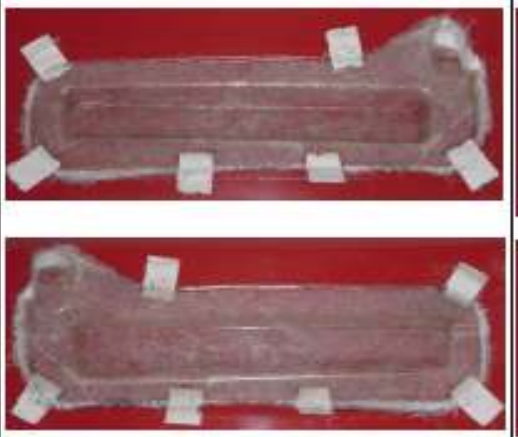
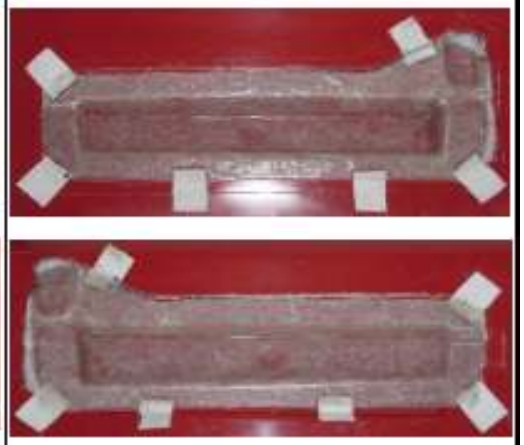
	CATALIZACIÓN AL 1.5%				
	50-50	60-40	70-30	80-20	90-10
Temperatura de gel [ºC]	30.7	32	32.3	33.3	31.3
Tiempo de gel [mm:ss]	4:40	5:10	5:30	6:00	6:55
Temperatura de exotermia [ºC]	171.4	186.8	190.4	179.3	171
Tiempo de exotermia [mm:ss]	12:30	14:30	16:00	17:30	21

1. MEK: Peróxido orgánico (Peroxido Metil Etil Cetona).
2. Trigonox: Marca registrada de peroxido orgánico altamente reactivo (Peróxido Acetil Acetona).

5.3. SILICONA PARA LA FABRICACIÓN DEL CONTRAMOLDE

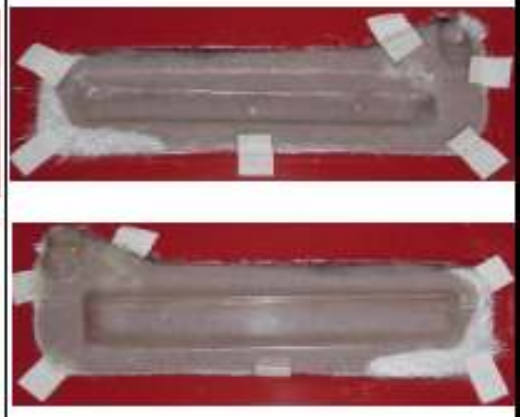
	Apariencia final del laminado	Apariencia final de la sección de silicona
Silicona Acética		
Silicona para moldes		

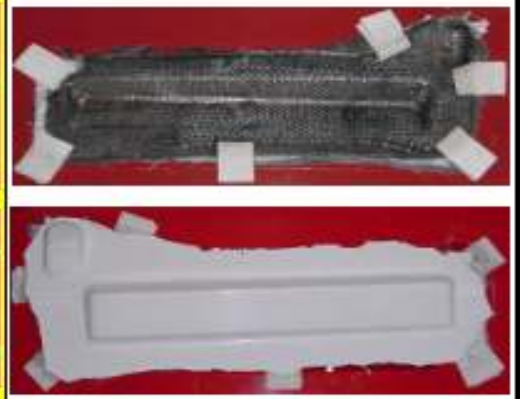
6. PIEZAS FABRICADAS POR CCBM

		1	2	3
% Catalización		1.50%	1.50%	1.50%
Relación mezcla Catalizador	MEK	80	80	80
	Trigonox	20	20	20
Secuencia de Laminación		(Ti)	(Ti)	(Ti)
Peso tela [gr]	Ti	122.5	123	124
	WR8	N/A	N/A	N/A
Tiempo gel [mm:ss]		08:30	08:04	9:00
Vacio aplicado [bar]		0.6	0.2	0.4
Tiempo infusión [mm:ss]		00:40	01:35	03:57
Tiempo de vacio [mm:ss]		35:34	13:00	25:00
Espesor promedio pieza [mm]		2.2	2.4	2.24
Peso final de la pieza [gr]		408.93	402.5	406.4
Relación fibra-resina		30-70	30-70	30-70
Variable que cambia		Vacío aplicado	Vacío aplicado	Vacío aplicado
Imágenes pieza fabricada				
Comentarios		- La pieza fue desmoldada a 1:20 [hh:mm]. - Se prepararon 350 gr de resina.	- La pieza fue desmoldada a 1:20 [hh:mm]. - Se prepararon 350 gr de resina.	- La pieza fue desmoldada a 1:40 [hh:mm]. - Se prepararon 350 gr de resina. - Temp. ambiente: 25°C.

Ti: Tejido de refuerzo para sistemas de moldeo cerrado.
WR8: Fibra de vidrio tejida (Woven Roving 800)

		4	5	6
% Catalización		1.50%	1.50%	1.50%
Relación mezcla	MEK	80	80	80
Catalizador	Trigonox	20	20	20
Secuencia de Laminación		(Ti)	(Ti)	(Ti)
Peso tela [gr]	Ti	122	122	124.5
	VVR8	N/A	N/A	N/A
Tiempo gel [mm:ss]		6:55	7:00	8:10
Vacio aplicado [bar]		0.45	0.35	0.4
Tiempo infusión [mm:ss]		02:30	01:11	03:35
Tiempo de vacio [mm:ss]		20:00	22:00	28:00
Espesor promedio pieza [mm]		2.83	2.35	2.3
Peso final de la pieza [gr]		388.75	418.62	390
Relación fibra-resina		31,5-68,5	29,4-70,6	32-68
Variable que cambia		Vacío aplicado	Cantidad puentes de vacío	Ubicación punto de infusión
Imágenes pieza fabricada				
Comentarios		- Se aplico amina al 0,15% para acelerar el tiempo de gel y curado de la resina. - La pieza fue desmoldada a 0:45 [hh:mm].	- La pieza fue desmoldada a 1:20 [hh:mm]. - Se prepararon 350 gr de resina. - Temp. ambiente: 28°C.	- La pieza fue desmoldada a 1:10 [hh:mm]. - Se prepararon 350 gr de resina. - Temp. ambiente: 27°C.

		7	8	9
% Catalización		1.50%	1.50%	1.50%
Relación mezcla Catalizador	MEK	80	80	80
	Trigonox	20	20	20
Secuencia de Laminación		(Ti)	(Ti)(Ti)	(Ti)(Ti)
Peso tela [gr]	Ti	124	212.5	223.1
	VVR8	N/A	N/A	N/A
Tiempo gel [mm:ss]		7:00	8:20	6:40
Vacio aplicado [bar]		0.35	0,4	0.4
Tiempo infusión [mm:ss]		05:00	03:30	03:10
Tiempo de vacio [mm:ss]		27:00	15:00	25:00
Espesor promedio pieza [mm]		2.8	4.9	4.2
Peso final de la pieza [gr]		368.29	811.07	701.85
Relación fibra-resina		34-66	26,2-73,8	31,8-68,2
Variable que cambia		Cantidad puentes de vacío	Número de capas de tejido de refuerzo	Número de capas de tejido de refuerzo
Imágenes pieza fabricada				
Comentarios		- La pieza fue desmoldada a 2:19 [hh:mm]. - Se prepararon 350 gr de resina. - Temp. ambiente: 26°C.	- La pieza fue desmoldada a 1:40 [hh:mm]. - Se prepararon 720 gr de resina. - Temp. ambiente: 24°C.	- La pieza fue desmoldada a 1:45 [hh:mm]. - Se prepararon 640 gr de resina. - Temp. ambiente: 25°C.

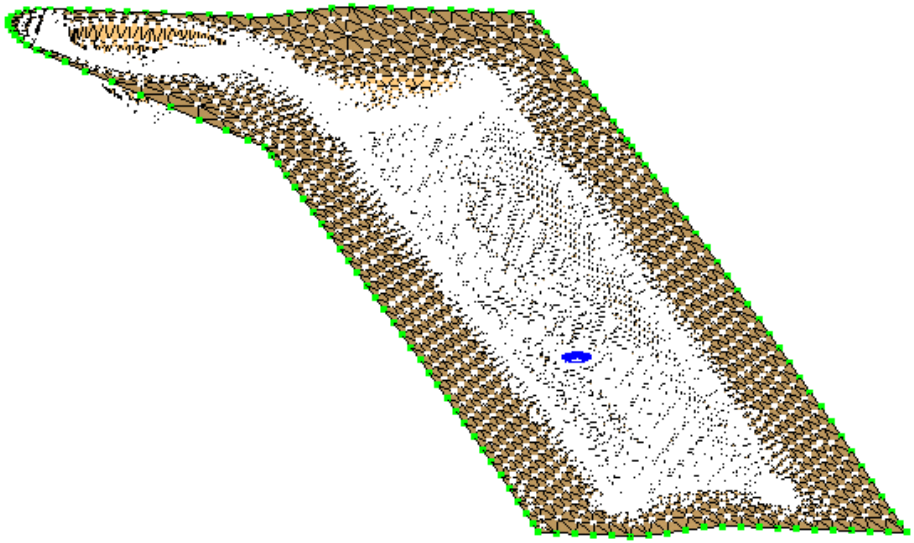
		10	11	12
% Catalización		1.50%	1.50%	1.50%
Relación mezcla	MEK	80	80	80
Catalizador	Trigonox	20	20	20
Secuencia de Laminación		(Ti)(Ti)	(Ti)(Ti)	(Ti)(VVR8)
Peso tela [gr]	Ti	234.7	235.7	132.02
	VVR8	N/A	N/A	103
Tiempo gel [mm:ss]		7:40	7:05	8:05
Vacio aplicado [bar]		0.5	0.45	0.45
Tiempo infusión [mm:ss]		05:10	03:30	03:40
Tiempo de vacio [mm:ss]		27:00	22:00	15:00
Espesor promedio pieza [mm]		5	5	3.8
Peso final de la pieza [gr]		884.58	1044.24	704.14
Relación fibra-resina		26,5-73,5	22,6-77,4	33,4-66,6
Variable que cambia		Posición de los puentes de vacío	Aplicación de gel coat sobre el molde	Tipo de tejido de refuerzo empleado
Imágenes pieza fabricada				
Comentarios		- La pieza fue desmoldada a 1:50 [hh:mm]. - Se prepararon 700 gr de resina. - Temp. ambiente: 24°C.	- Se aplicó gel-coat blanco y pintura de contraste sobre el molde con atomizador. - Se prepararon 750 gr de resina. - Temp. ambiente: 23°C.	- Se aplicó gel-coat blanco y pintura de contraste sobre el molde con atomizador. - Se prepararon 600 gr de resina. - Temp. ambiente: 23°C.

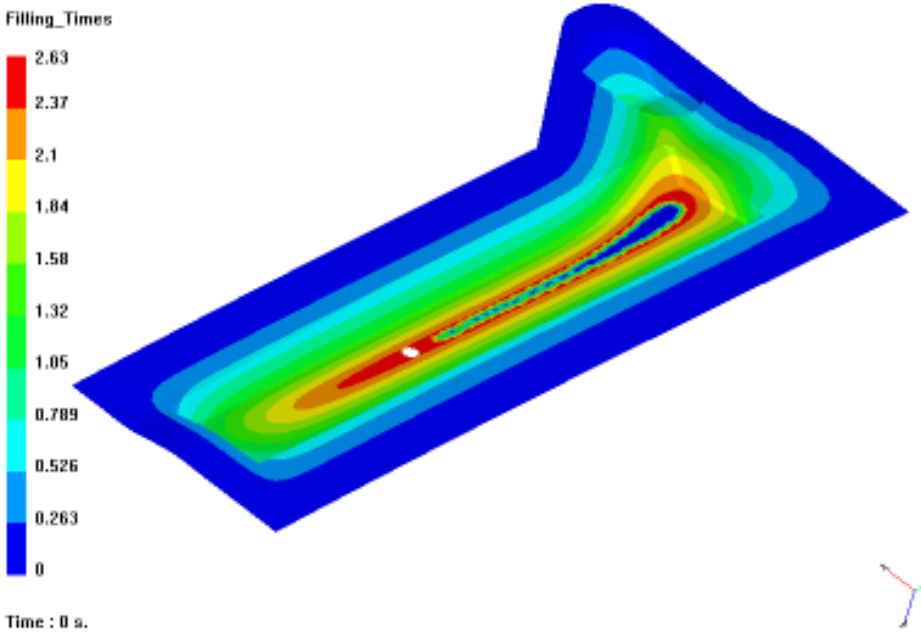
		13	14
% Catalización		1.50%	1.50%
Relación mezcla Catalizador	MEK	80	80
	Trigonox	20	20
Secuencia de Laminación		(Ti)(WR8)(Ti)(WR8)	(Ti)(MNi)(Ti)
Peso tela [gr]	Ti	249.6	247.81
	WR8	242.55	N/A
Tiempo gel [mm:ss]		7:55	8:10
Vacio aplicado [bar]		0.45	0.45
Tiempo infusión [mm:ss]		06:40	07:00
Tiempo de vacio [mm:ss]		20:00	27:00
Espesor promedio pieza [mm]		6.1	4.92
Peso final de la pieza [gr]		1327	968.06
Relación fibra-resina		37-63	28-72
Variable que cambia		Cantidad y tipo de tejido de refuerzo	Material de nucleo para procesos de infusión
Imágenes pieza fabricada			
Comentarios		- Se aplico gel-coat sobre el molde con brocha. - Se prepararon 978 gr de resina. - Temp. ambiente: 26°C.	- Se aplico gel-coat sobre el molde con atomizador. - Se usa material de nucle para infusión (53 cms x 6 cms). - Se prepararon 800 gr de resina.

MNi: Material de nucleo empleado en sistemas de moldeo cerrado.

7. SIMULACIONES REALIZADAS EN SOFTWARE PAM-RTM*

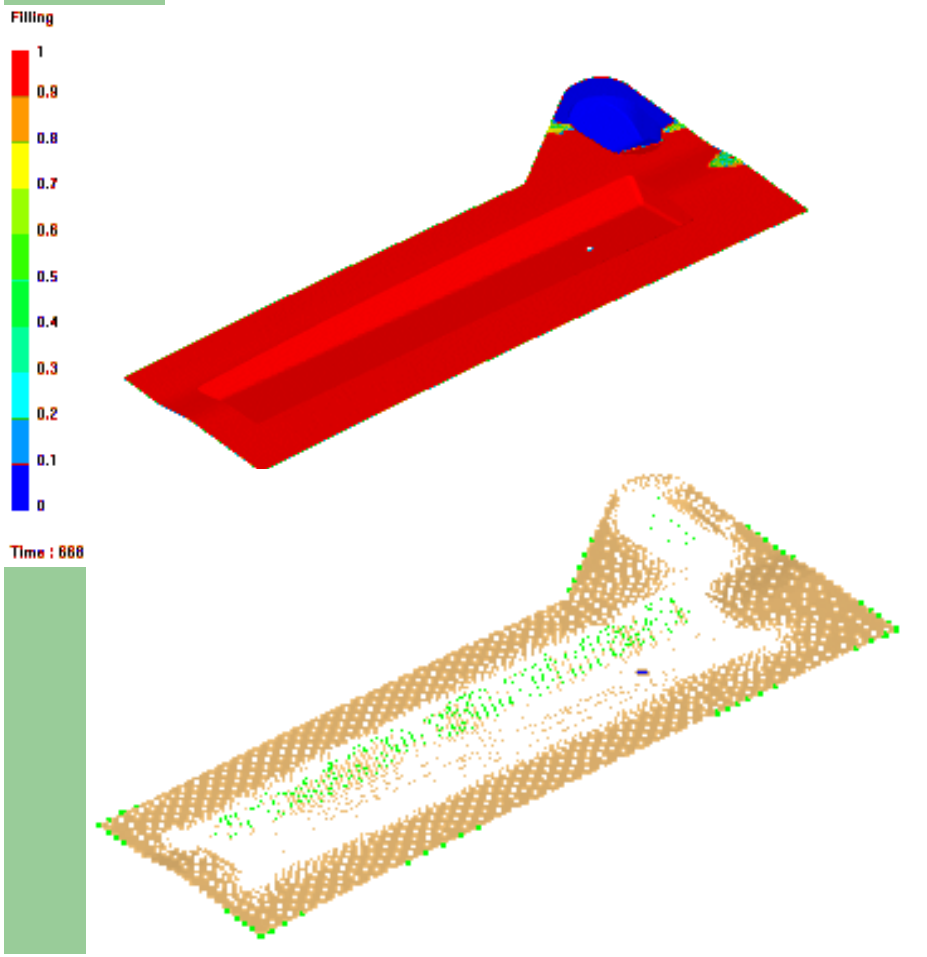
7.1. SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE RESINA PERIMETRAL Y APLICACIÓN DE VACÍO CENTRAL

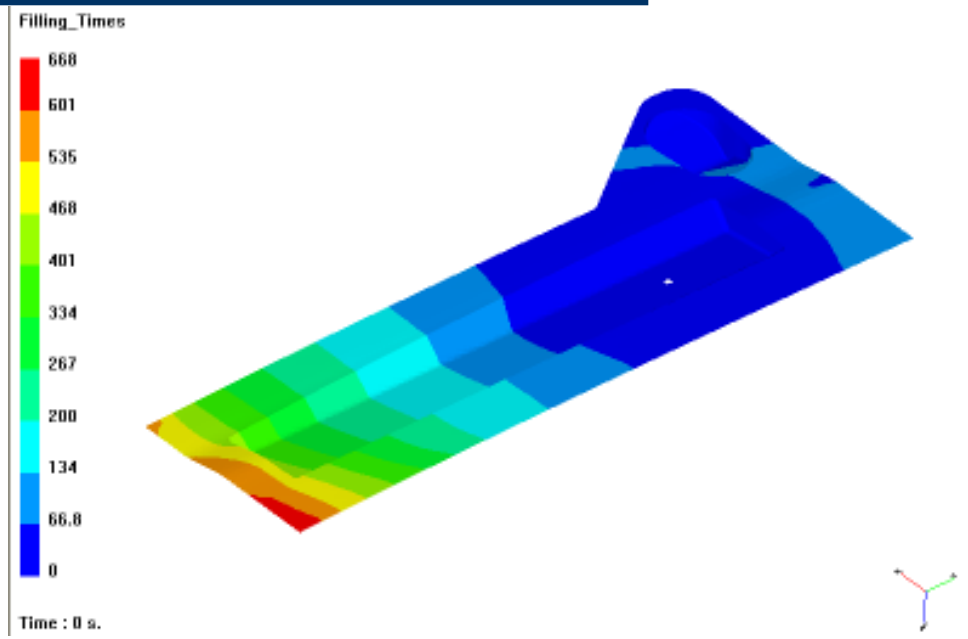




* Instituto del plástico

7.2. SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE RESINA POR PUERTO DISCRETO Y VACÍO APLICADO EN LA ZONA DONDE SE UBICARON LOS PUENTES DE VACÍO.





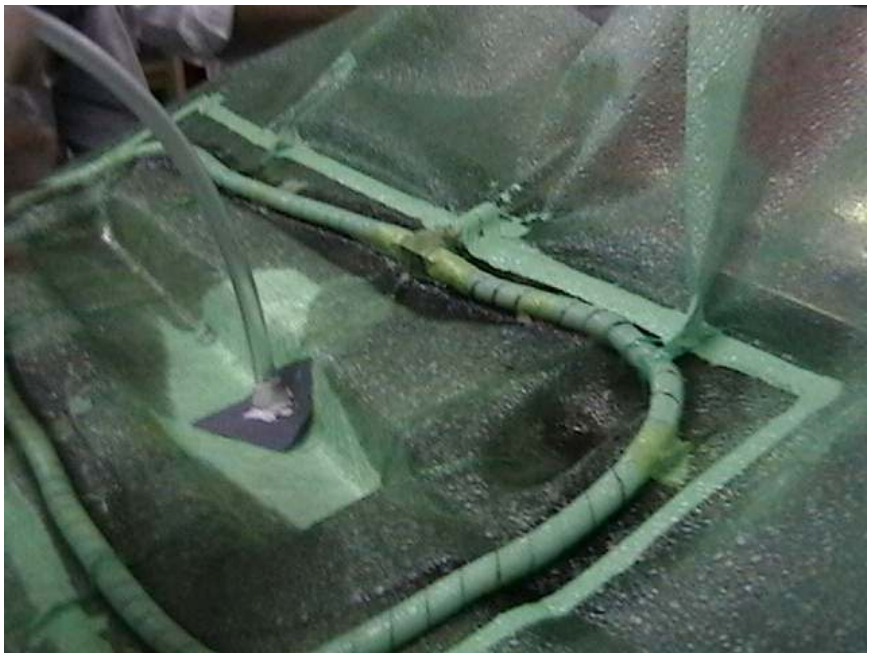
8. CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE MOLDEO CERRADO CCBM

- El tiempo de infusión se puede mejorar levantando el contramolde y utilizando un tejido de refuerzo adecuado.
- Mantener el vacío hasta que la resina haya gelado.
- Disposición de puentes de vacío por los menos en cada esquina de la pieza.
- El puente de vacío debe hacer un contacto con el tejido de refuerzo de dos centímetros de longitud.
- Se debe evitar el estrangulamiento del puente de vacío, generado por una excesiva presión sobre el marco.
- Se debe garantizar que la cavidad formada por los moldes quede completamente sellada para el proceso de infusión.

8. CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE MOLDEO CERRADO CCBM

- Se debe garantizar una preforma adecuada del tejido de refuerzo.
- La separación entre moldes que se debe tener en cuenta durante la fabricación del contramolde para la aplicación de las capas de cera calibrada, no debe corresponder al espesor final de la pieza (Espesores pieza prototipo 2 mm a 6.1 mm).
- Se debe garantizar el ajuste correcto del contramolde sobre el tejido de refuerzo antes de la infusión de resina.
- La relación fibra-resina depende de otras variables del proceso. El control sobre esta variable debe realizarse antes de la infusión.

9. PIEZAS FABRICADAS POR VARTM



		1	2
% Catalización		1.50%	1.50%
Relación mezcla	MEK	80	80
Catalizador	Trigonox	20	20
Secuencia de Laminación		(Ti)	(Ti)
Peso tela [gr]	Ti	122.5	124
Tiempo gel [mm:ss]		06:50	06:35
Vacio aplicado [bar]		0.45	0.25
Tiempo infusión [mm:ss]		00:50	01:10
Tiempo de vacio [mm:ss]		08:00	08:15
Espesor promedio pieza [mm]		4.63	4.65
Peso final de la pieza [gr]		660.83	684.34
Relación fibra-resina		18.5-81.5	18.2-81.8
Imágenes pieza fabricada			
Comentarios		- Se aplico gel-coat sobre el molde con brocha. - Temp. ambiente: 24.5°C.	- Se aplico gel-coat sobre el molde con brocha. - Temp. ambiente: 26°C.

10. CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE MOLDEO CERRADO VARTM

- La membrana de nylon debe hacer contacto con toda la superficie del tejido de refuerzo.
- La velocidad de infusión es mayor que en el sistema de moldeo CCBM con el mismo vacío aplicado.
- Una vez el tejido de refuerzo es impregnado en su totalidad el vacío debe disminuir.
- El tiempo de puesta a punto es mayor que en el sistema de moldeo CCBM.
- Se requieren accesorios desechables para cada pieza fabricada.
- Es difícil controlar las entradas de aire al sistema.

11. PIEZA FABRICADA POR MOLDEO POR CONTACTO A MANO.

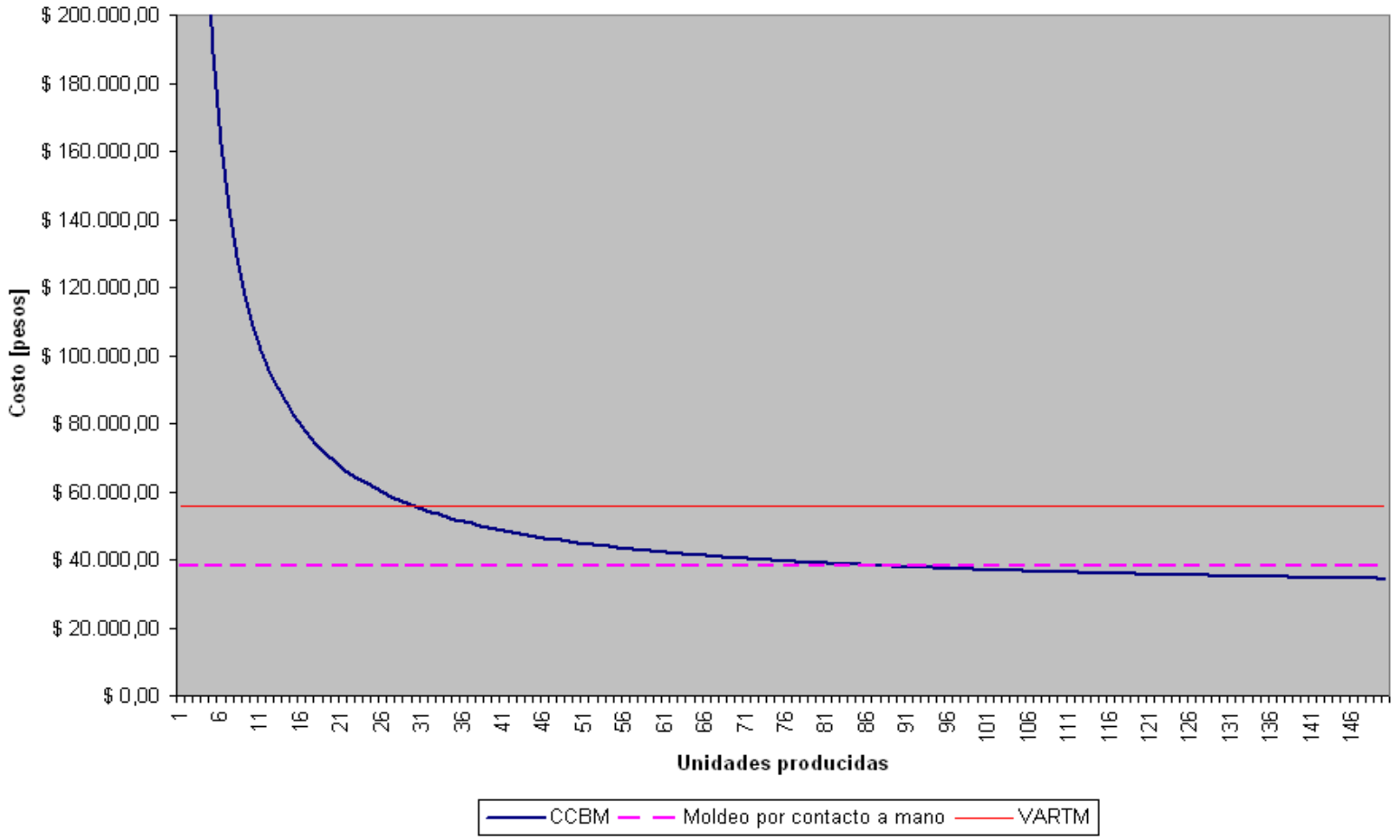
		1
% Catalización		1.00%
Relación mezcla Catalizador	MEK	100
	Trigonox	0
Secuencia de Laminación		(M4)(R6)(M4)(R6)(M4)
Peso de la tela [gr]	M4	276
	R6	220
Tiempo gel [mm:ss]		32:00
Espesor promedio pieza [mm]		4.3
Peso final de la pieza [gr]		1328.61
Relación fibra-resina		38-62
Imágenes pieza fabricada		
Comentarios		- Se aplico gel-coat sobre el molde con atomizador. - Temp. ambiente: 26°C.

12. ANALISIS DE COSTOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA PIEZA PROTOTIPO

Descripción	Costo CCBM	Costo VARTM	Costo Hand Lay Up
Adecuación pestaña de molde	$ 333.670	N/A	N/A
Contramolde	$ 286.156	N/A	N/A
Marco para sello	$ 179.442	N/A	N/A
Pieza fabricada	$ 29.044	$ 55.539	$ 38.157
Inversión requerida	$ 494.000	$ 2.527.000	N/A

	Costo unitario de una pieza en función de la cantidad de piezas fabricadas		
Unidades producidas	CCBM	Moldeo por contacto a mano	VARTM
1	$ 828.311,53	$ 38.156,59	$ 55.539,21
30	$ 55.686,46	$ 38.156,59	$ 55.539,21
31	$ 54.827,03	$ 38.156,59	$ 55.539,21
87	$ 38.231,20	$ 38.156,59	$ 55.539,21
88	$ 38.126,80	$ 38.156,59	$ 55.539,21

Costo unitario por pieza en función de las unidades producidas



13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- General

INDUSTRIA DEL PLASTICO REFORZADO COLOMBIANA	Bajos niveles de producción	Producción en serie
Actual	Sistemas de moldeo abierto tradicionales	Sistemas de moldeo cerrado (CCBM, RTM y RTM-Light)
Futuro	Sistemas de moldeo cerrado de baja inversion y bajos costos de operación (VARTM)	

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Eduardoño S.A.:

  - Fabricar por CCBM piezas en PRFV de moto de agua XL700-B y de alta rotación (tapas para repisas y consolas)

  - Fabricar un casco de un bote por el sistema de moldeo CCBM, con el fin de establecer sus limitaciones debido al tamaño de la pieza fabricada.