

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. aanayaal@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

AREA DE ÉNFASIS: Plásticos

ASESOR PRINCIPAL: Juan Santiago Villegas López.

RESUMEN

Los sistemas de moldeo cerrado para la fabricación de piezas en materiales compuestos son mundialmente aceptados, debido a que permiten reducir los tiempos de fabricación y la generación de subproductos perjudiciales para la salud humana, como los vapores orgánicos volátiles. Dentro de los sistemas de moldeo cerrado, existen una gran variedad de alternativas. El sistema de moldeo cerrado que se debe emplear en un proceso productivo determinado depende de factores como cantidad de piezas a fabricar, inversión requerida, instalaciones, costos de operación, tecnología, y mano de obra.

Dentro de los sistemas de moldeo cerrado para la fabricación de piezas en plástico reforzado, está el sistema de moldeo por infusión con vacío y contramolde flexible en silicona denominado CCBM¹. Este sistema de moldeo es novedoso y está siendo empleado en industrias brasileras, norteamericanas y europeas. El proyecto consiste en la implementación teórico-práctica del sistema de moldeo cerrado CCBM, para la fabricación de una pieza prototipo en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.), este sistema de moldeo es comparado con

¹ CCBM: Closed Cavity Bag Moulding.

sistemas de moldeo tradicionales como el moldeo por contacto a mano y el VARTM². Esta comparación se realiza después de la fabricación de la pieza prototipo por los diferentes métodos que son objeto de estudio. De los resultados obtenidos se establece según las necesidades del proceso productivo de la fabrica de botes de Eduardoño S.A., cuál es el sistema de moldeo adecuado para la fabricación de piezas en P.R.F.V.

ABSTRACT

The closed moulding process to manufacture composites parts are accepted and used in different countries around the world, because the time to manufacture a composite part is short and the dangerous emissions generated during the transformation process can be reduced. In the closed moulding process there are different alternatives to use, the optimum process to use depend on many factors like number of parts to manufacture, required inversion, installations, operational cost, required technology and qualify labor.

In the closed moulding process exist a system that used a flexible upper mold and is an infusion process that used vacuum to suction the resin to the system, this process is named CCBM. CCBM is a newly closed moulding process that used in the composites industries in North America, Brazil and Europe. The project consist in implement the CCBM closed moulding process to manufacture a prototype part, these implementation is do it based on a theory development. The CCBM is compared with traditional moulding process like Hand Lay Up and VARTM. The comparison is after manufacture a prototype part by the different moulding process that are study objects. Based on the results is established the optimum moulding process to use in the boats factory of Eduardoño S.A.

² VARTM (Vacuum Asisted Resin Transfer Moulding): Sistema de moldeo cerrado que emplea un contramolde desechable compuesto por una membrana en nylon.

PALABRAS CLAVES

CCBM, VARTM, Moldeo por contacto a mano, Contramolde, Resina poliéster, Tiempo de gel, Peróxido metil etil cetona (MEK), Peróxido acetil acetona (AAP), Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.).

KEY-WORDS

Closed Cavity Bag Moulding (CCBM), Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM) Hand Lay Up, Upper mold, Polyester Resin, Gel time, MEK, AAP, Glass Reinforced Plastic (GRP).

INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de fabricar productos de alta calidad a un bajo costo, es necesario buscar procesos alternativos que permitan mejorar continuamente el proceso productivo de una empresa. Para el caso de los materiales compuestos, específicamente en la fabricación de piezas en P.R.F.V., se cuenta con diferentes procesos de fabricación que permiten tener una amplia gama de posibilidades. El proceso de transformación adecuado se puede elegir de acuerdo a las especificaciones del producto a fabricar, a la capacidad instalada de la empresa y a la demanda del mercado. A pesar de la existencia de esta gran cantidad de posibilidades, la necesidad del mejoramiento continuo de las empresas productoras de piezas en materiales compuestos, genera una búsqueda continua para la implementación de nuevos métodos de fabricación que permitan reducir costos, sin afectar las propiedades y características de las piezas fabricadas. Esta búsqueda da origen al método de moldeo cerrado denominado CCBM. Este método permite la fabricación de piezas en P.R.F.V., de similares propiedades mecánicas a las que se consiguen con el método de moldeo a mano, reduciendo considerablemente los tiempos de fabricación y permitiendo aumentar la productividad en la empresa. (Memorias Seminario. MOLDEO CERRADO: DISEÑO DE MOLDES Y TECNICAS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS. 2005)

DESARROLLO

1. TECNICAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICO REFORZADO

2. CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE TRANSFORMACIÓN SEGÚN MOLDE.

2.1. Procesos de transformación por moldeo abierto.

En este grupo se clasifican todos aquellos procesos de transformación, que cuentan con un molde como único elemento para la fabricación de la pieza, en esta categoría se encuentran los siguientes procesos. (PARRILLA, 1993, p. 60)

2.1.1. Moldeo por contacto a mano (Hand Lay Up).

2.1.2. Moldeo por proyección simultanea (Spray Up).

2.1.3. Moldeo por enrollamiento de filamentos (Filament Winding).

2.1.4. Moldeo por centrifugado.

2.2. Procesos de transformación por moldeo cerrado.

En este grupo se clasifican todos aquellos procesos de transformación que cuentan con un molde y un contramolde como elementos para la fabricación de piezas. Los diferentes procesos de transformación de plástico reforzado que emplean sistemas de moldeo cerrado son:

2.2.1. Moldeo por transferencia de resina (RTM).

2.2.2. RTM- Light.

2.2.3. Moldeo a presión y temperatura.

2.2.4. Moldeo por prensado en frío.

2.2.5. Moldeo por bolsa de vacío (Vacuum Bagging).

2.2.6. Moldeo por extrusión (Pultrusion).

2.2.7. Moldeo con autoclave.

2.2.8. Moldeo CCBM.

2.2.9. VARTM (Vacuum Asisted Resin Transfer Moulding).

3. POR QUÉ CAMBIAR A SISTEMAS DE MOLDEO CERRADO ?

Los sistemas de moldeo cerrado para la transformación del plástico reforzado, presentan una serie de ventajas sobre los sistemas de moldeo abierto, estos son:

3.1. Reducción de emisiones de vapores orgánicos volátiles. (RUTZ, p. 3)

3.2. Calidad: Se obtienen piezas en serie idénticas. (RUTZ, p. 16)

3.3. Productividad: Un operario puede fabricar varias piezas de manera simultánea. (RUTZ, p. 16)

3.4. Relación Fibra - Resina: En los sistemas de moldeo cerrado la relación fibra-resina en el laminado es controlable, mientras que en los sistemas de moldeo abierto es difícil de controlar. (RUTZ, p. 16)

3.5. Acabado: se pueden obtener piezas con excelente acabado superficial por ambas superficies del laminado. (RUTZ, p. 17)

3.6. Costo por unidad producida: el costo por unidad producida es menor que el obtenido por un sistema de moldeo abierto.

4. SISTEMAS DE MOLDEO A TRABAJAR

4.1. MOLDEO POR CONTACTO A MANO.

Es la técnica más antigua para la transformación del plástico reforzado, es un sistema de moldeo abierto que trabaja a presión atmosférica y a temperatura ambiente.

4.2. MOLDEO CERRADO CCBM

Proceso de transformación simple, con tiempos cortos de puesta a punto, este emplea un molde rígido y un contramolde flexible fabricado en silicona.

4.3. MOLDEO CERRADO VACUUM ASISTED RESIN TRANSFER MOULDING (VARTM)

Este sistema de moldeo es muy empleado para la fabricación de piezas de gran tamaño y diversas formas, el tiempo de puesta a punto para la fabricación de una pieza es elevado en comparación con el CCBM. Este emplea un molde rígido y un contramolde flexible desechable.

5. ENSAYOS REALIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MOLDEO CERRADO CCBM

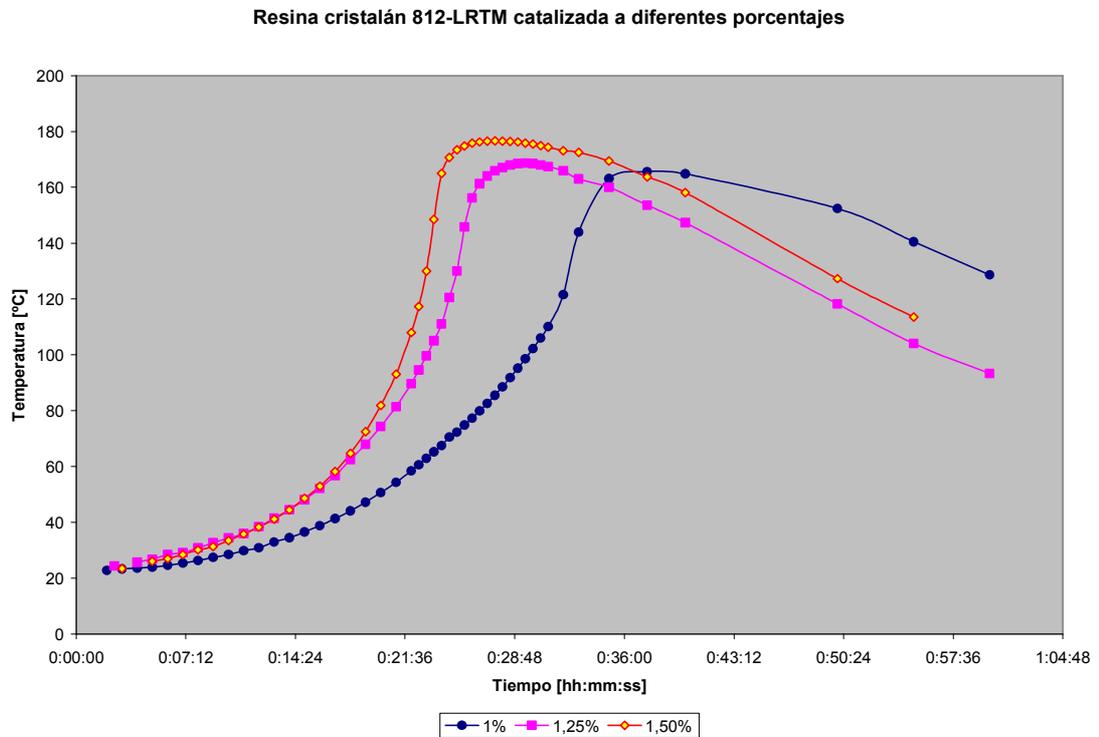
5.1. ENSAYOS REALIZADOS A LA RESINA POLIÉSTER.

5.1.1. Exotermia³ a diferentes porcentajes de catalización.

Empleando como catalizador MEK, se realizan ensayos a diferentes porcentajes con el fin de establecer como se comporta la resina en las condiciones de trabajo. Se tomaron tres muestras que fueron catalizadas al 1%, 1.25% y 1.5% respectivamente.

³ Temperatura máxima que alcanza la resina poliéster durante el proceso de polimerización.

Ilustración 1 Resina catalizada a diferentes porcentajes

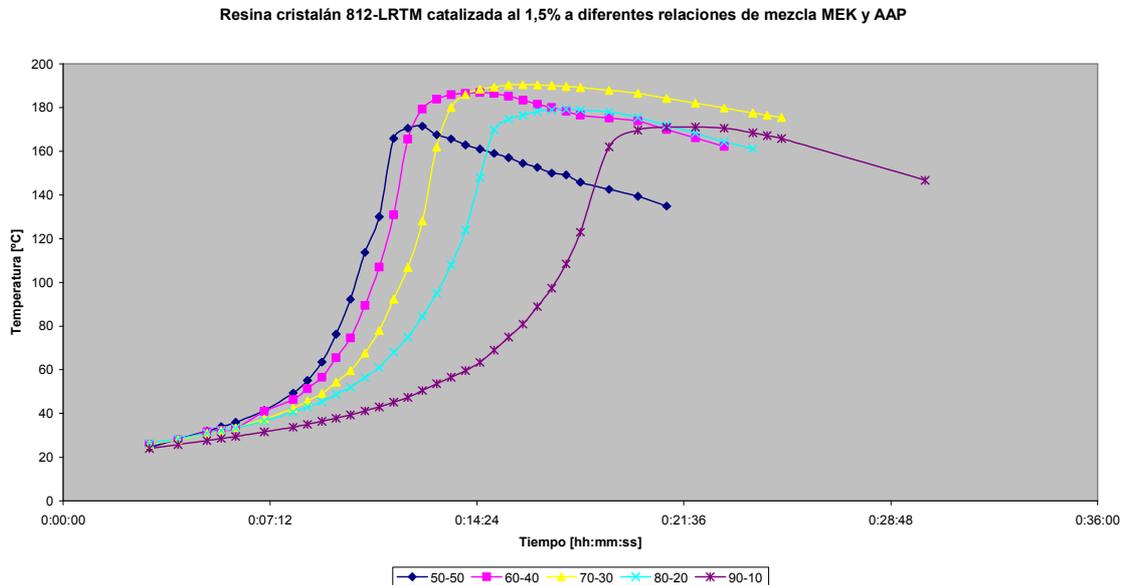


5.1.2. Exotermia para diferentes relaciones de MEK-AAP⁴

Se realizan 5 ensayos evaluando diferentes relaciones de mezcla de MEK y AAP (50-50, 60-40, 70-30, 80-20 y 90-10). En los ensayos realizados se cataliza 100 gramos de resina poliéster al 1.5% con la mezcla de MEK y AAP preparada.

⁴ AAP (Peroxido de Acetil Acetona): peroxido orgánico de alta reactividad empleado para acelerar el proceso de curado de la resina poliéster.

Ilustración 2 Resina catalizada al 1.5% a diferentes relaciones de peróxidos (MEK-AAP)



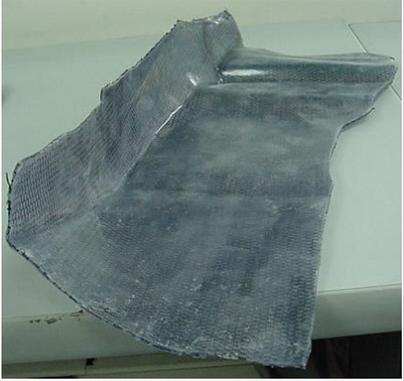
De acuerdo a los resultados obtenidos se establece que la proporción de mezcla adecuada para el proceso debe ser de 80-20.

5.2. ENSAYOS REALIZADOS A LA SILICONA PARA LA FABRICACIÓN DEL CONTRAMOLDE.

En el proceso de selección de la silicona se evaluaron dos tipos. El primero es silicona acética comercial de uso domestico, empleada para la fabricación y reparación de cabinas de baños y ventanas. El segundo tipo de silicona evaluado, es de dos componentes empleada para la fabricación de moldes.

A continuación se ilustra las condiciones finales del laminado y de la silicona después de realizar este procedimiento.

Tabla 1 Ensayos para establecer silicona del contramolde para moldeo CCBM

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

De los resultados obtenidos se concluye:

- A. La silicona acética presenta una degradación sobre la superficie que se encuentra en contacto con el laminado.
- B. La silicona para moldes no presenta cambios físico-químicos después de la ejecución del procedimiento.

6. PIEZA PROTOTIPO.

Para la implementación del sistema de moldeo cerrado CCBM y para la comparación de este con sistemas de moldeo tradicionales como el VARTM y el

moldeo por contacto a mano, es necesario seleccionar una pieza en P.R.F.V. pequeña, asimétrica y con geometrías complejas. La pieza seleccionada es el soporte izquierdo para el motor de la moto de agua que se fabrica en Eduardoño S.A. referencia XL700B.

7. ANALISIS DE COSTOS

El análisis de costos se realiza de manera individual para cada método, este se calcula a partir de los consumos de materia prima y mano de obra para la fabricación de la pieza prototipo por los diferentes métodos que son objeto de análisis.

Tabla 2 Resumen costos de los sistemas de moldeo analizado

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

Tabla 3 Costo de unitario por pieza fabricada en función de las unidades producidas

Unidades producidas	Costo unitario de una pieza en función de la cantidad de piezas fabricadas		
	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

De los resultados obtenidos se observa que el costo por pieza fabricada en el sistema de moldeo cerrado VARTM, siempre es mayor al costo de fabricación de una pieza por el sistema de moldeo por contacto a mano, debido a esto este sistema no es una buena alternativa para cambiar un proceso productivo donde se emplee el sistema de moldeo por contacto a mano. Para el sistema de moldeo

cerrado CCBM es necesario fabricar más de 87 unidades de la pieza prototipo para que este sistema sea una alternativa viable para el cambio del sistema de moldeo abierto por contacto a mano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a que actualmente en Colombia no existe una regulación que controle las emisiones que se generan en los procesos de transformación del plástico reforzado, las diferentes empresas de este sector pueden emplear sistemas de moldeo abierto en sus procesos productivos según sus necesidades. Los sistemas de moldeo cerrado como el RTM, el RTM-Light y el CCBM, son viables para empresas que fabriquen productos de plástico reforzado en serie. Para producción de pocas unidades lo recomendable es emplear sistemas de moldeo abierto tradicionales como el moldeo por contacto a mano. Para el caso particular de la fabrica de botes de Eduardoño S.A., el sistema de moldeo cerrado CCBM puede ser empleado para la fabricación de piezas de alta rotación, como las que se requieren para la fabricación de la moto de agua referencia XL-700B. También puede ser empleado para la fabricación de piezas como tapas para repisas⁵ y consolas empleadas en los botes de portafolio.

En caso que comiencen las autoridades ambientales a regular las emisiones generadas en el proceso de transformación del plástico reforzado, se recomienda que para la fabricación de pocas unidades de una pieza se debe emplear sistemas de moldeo cerrado que no requieran grandes inversiones y costos de adecuación como el VARTM. Para procesos productivos donde se fabriquen piezas en serie y que haya restricciones de espacio se recomienda que se emplee el sistema de moldeo cerrado CCBM, debido a que los contramoldes de cada pieza son fabricados en silicona y no se requiere de gran espacio para ser almacenados.

⁵ Compartimiento ubicado en la proa del bote.

El proyecto ha sido desarrollado con el fin de tener un adecuado entendimiento del sistema de moldeo cerrado CCBM y de las variables que sobre él influyen, para analizar la viabilidad de aplicarlo para la fabricación de piezas en la fabrica de botes de Eduardoño S.A. Es importante darle continuidad a este proyecto, implementando este sistema de moldeo para la fabricación de piezas de mayor tamaño que la pieza prototipo, como el casco de un bote. Esto garantizaría establecer las limitaciones que pueda llegar a tener el sistema de moldeo CCBM debido al tamaño de la pieza fabricada.

Como la tendencia a nivel mundial es regular las emisiones generadas por las industrias, en un futuro no muy lejano en Colombia se comenzará a regular las diferentes fuentes generadoras de emisiones. Para la fabrica de botes de Eduardoño S.A. es importante adelantarse a este fenómeno buscando nuevas tecnologías que le permitan fabricar productos de calidad y cumplan con las regulaciones establecidas.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS TOMADAS DE LIBROS

- BJOORKSTEN, J. Poliéster and their aplications. Reinhold Publishing, Co., New York, 1976.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS T CERTIFICACIÓN. Documentación presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. 5 Edición, Bogotá.
- Memorias Seminario. MOLDEO CERRADO: DISEÑO DE MOLDES Y TECNICAS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS. Andercol. Bogota, Colombia. Agosto 23 y 24 de 2005.
- MODERN PLASTIC ENCYCLOPEDIA . Mac Graw Hill. Vol. 56, number 10A. New York 1979.
- ORREGO BUSTAMANTE, Nicolas Ramiro. VELEZ URIBE, Rafale Ignacio. El poliéster insaturado reforzado con fibra de vidrio y no reforzado. Andercol S.A., Medellín.
- PARRILLA, F. Resinas poliéster, plásticos reforzados. Editorial La ilustración. Villa Azcapotzalco, Mexico 1993.
- PROFESIONAL BOAT BUILDER. Infusion. Revista número 32, pag 28-34.

- QUINN, J. A. Composites- Design Manual U.S. Edition. James Quinn Associates Ltd. Liverpool
- RUTZ, CT. Cook Composites and Polymers (CCP). Lesson learned while designing low-volume closed-mold processes to replace open mold lamination. Kansas City.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS DIGITALES

- @ale
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
<http://www.ale.nl/ale/index.php?cid=75>
- @DanKimmel
Contiene artículos y foros sobre temas como pesca y construcción naval. Disponible en:
<http://hometown.aol.com/djkimmel/fishing/buildboat3.htm>
- @Encarta
Plásticos. Última actualización 2002. Disponible en:
http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761553604/Pl%C3%A1sticos.html
- @jjmechanic
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
http://www.jjmechanic.com/process/v_bag.htm

- @netcomposites
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
<http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=81>
- @owenscorning
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
http://www.owenscorning.com.br/processos_e.asp
- @plastech
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
<http://www.plastech.co.uk/Mtrtm.html>
- @.tifac
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
<http://www.tifac.org.in/news>
- @turkcam
Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en:
<http://www.turkcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/spray-up.jpg>
- @woodweb
Contiene información acerca de los diferentes equipos y presiones requeridas para el moldeo por bolsa de vacío. Disponible en:
http://www.woodweb.com/knowledge_base/Vacuum_application_FAQ.html