

Análisis del proceso de manufactura mediante proceso CAD-CAM de un molde para materiales compuestos para la industria automotriz.



Analysis of the manufacturing process by CAD-CAM process of a mold for composite materials for the automotive industry

Edgar Fabián Sánchez Carrión.¹, Edison Marcelo Castillo Cárdenas.², Victor David Bravo Morocho.³, Edison Patricion Abarca Pérez.⁴ & Paúl Montufar.⁵

Recibido: 28-02-2019 / Revisado: 27-02-2019 / Aceptado: 24-03-2019/ Publicado: 05-04-2019

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.469>

The present work analyzes a construction process and the variables of a mold for an extrusion process for the composite material, the mold must comply with specific characteristics and tolerances and that this is a process for obtaining profiles of constant section in base to composite materials by means of glass fiber reinforcement and thermostable matrix, when these molds are used to obtain constant sections it is necessary that the mold in its construction complies with the working conditions. It is an experimental study of the best processes of construction of the mold of the constant section of virtual manufacturing processes, the position that the constitution must take into account the variables of work such as heat transfer, the friction of the fibers of glass, and the speed of work.

Keywords: CAD-CAM, fiber reinforced plastic (FRP), fiberglass, molds.

.Resumen

El presente trabajo se analiza un proceso de construcción y las variables de un molde para un proceso de extrusión para material compuesto, el molde debe cumplir con características y tolerancias específicas ya que este es un proceso para la obtención de perfiles de sección constante en base a materiales compuestos por medio refuerzo de

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, esanchez_c@epoch.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, edison.castillo@epoch.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, victor.bravo@epoch.edu.ec

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, edison.abarca@epoch.edu.ec

⁵ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, paul.montufar@epoch.edu.ec

fibra de vidrio y de matriz termoestable, al servir estos moldes para la obtención de secciones constantes es necesario que el molde en su construcción cumpla con las consicioines de trabajo. Se estableció un estudio experimental de los mejores procesos de construcción del molde de sección constantes aplicando procesos de manufactura virtual, puesto que la constitución debe soportar las variables de trabajo como son la transferencia de calor, la fricción de las fibras de vidrio, y la velocidad de trabajo.

Palabras Claves: material compuesto, CAD-CAM, fiber reinforced plastic (FRP), fibra de vidrio, moldes.

Introduccion.

Introduccion al problema

Un material compuesto está conformado por dos o más materiales que son diferentes entre si, para lo cual existen diferentes métodos de fabricación. Dentro del proceso de fabricación de materiales compuestos de sección constante tenemos que una parte fundamental es el molde donde las fibras de vidrio entran en contacto con la resina y ahí es donde toman la sección constante deseada. Cuando la resina que en varias ocasiones está cargada de rellenos que en la mayoría de ocasiones son alúmina o carbonato de calcio, aumentan la fricción entre las paredes internas del molde, es por ello que necesitamos garantizar una superficie totalmente lisa. Un punto muy alto es que debemos garantizar un molde en que este perfectamente mecanizado para poder garantizar que la sección sea constante dentro de todo el proceso, es por ello que las zonas de calefacción dependen del acabado superficial interior del molde.

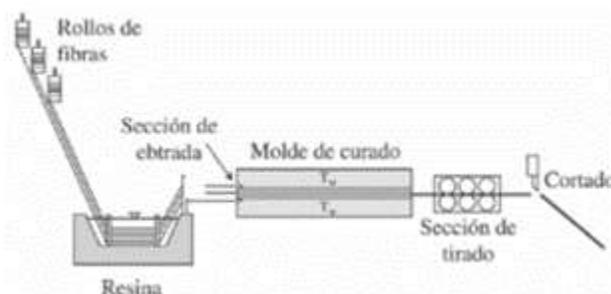


Figura 1. Proceso de extrusión de material compuesto

El desarrollo de este tipo de materiales nace de la necesidad de tener productos resistentes mecánicamente, resistentes a la corrosión, y de peso ligero. En la actualidad los procesos de obtención de perfiles de sección constante son muy difundidos y con aplicaciones en todos los campos de la ingeniería. Es por ello que al debemos tener, moldes mecánicamente resistentes y con las tolerancias adecuadas para puedan soportar la transferencia de calor y

los esfuerzos dentro del mismo, por lo cual tenemos diferentes formas y materiales en su uso. Una forma muy usual es como la que tenemos en la figura 2 en la cual el molde es dividido en dos partes iguales.

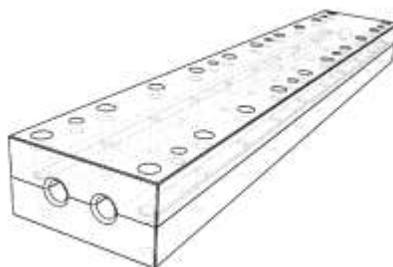


Figura 2. Molde para material compuesto extruido.

Importancia del problema

La importancia que tiene el molde en un proceso de extruido es importante ya que el mismo define la sección que debe garantizar la estabilidad dimensional el elemento deseado. Es por ello que al ser el elemento central del proceso que sirve para eliminar el aire, la humedad, el exceso de resina, cambios de temperatura para lograr un proceso de curado del material compuesto, y que el arrastre no genere fricción excesiva como se puede ver es un elemento importante en el proceso antes descrito. Con lo anteriormente expuesto es importante tener un molde que cumpla estos requerimientos, la mecanización del mismo va de la mano con los costos que implica el proceso es por ello que al tener procedimientos optimizados garantizamos costos a mayor calidad del molde.

Este tipo de perfilería se usa en países de la unión Europea a través de proyecto como COALINE el cual lleva a cabo nuevos procesos de fabricación para reducir costos y que el perfil cumpla las exigencias para que sea utilizado en dicha área. Así como CQFD COMPOSITES que lleva este material estos materiales como absolvedores de impacto en automóviles

La importancia de dichos materiales y de su forma radical en el uso que se está llevando a reemplazar a las estructuras hechas con materiales tradicionales por este tipo de perfilería.

Metodología

En el proceso de ingeniería en la actualidad se procede a realizarlo por medios de CAD/CAM que no es nada más que proceso de diseño y manufactura asistida por computadora, la que nos permite tener los procesos para fabricación con el fin de entregar producto que cumpla con los requerimientos deseados.

Material

El molde necesita un material que este acorde a los requerimientos necesarios para poder tener un buen desempeño y que su vida útil óptima. Se necesita un molde que sea razonablemente duro para que la fuerza abrasiva de los refuerzos, resina y fibras sean compensados.

Hemos seleccionado un bloque de acero AISI 4140 con una dureza Rockwell 28, por lo que su dureza nos permitirá alcanzar tiempo de mecanizados coherentes, y su posterior tratamiento superficial.

Tabla 1. Propiedades AISI 4140.

Propiedades mecánicas AISI 4140			
Dureza (HRc)	Esfuerzo a la fluencia (Kg/mm2)	Esfuerzo a tracción (Kg/mm2)	la Elongacion (%)
28-34	60-74	95-105	10-18

El molde debe cumplir requerimientos de trabajo que permitan extruir el elemento. Este molde esta soportando diferentes condiciones de trabajo en los cuales se aplica el sistema de calentamiento para que la resina en su interior se pueda solidificar, asi como las fuerzas de tracción en las cuales la mezcla fibras y resina que se producen por el arrastre de las mismas.

Sistema de transferencia de calor.

La ecuación de transferencia de calor dentro del molde en coordenadas cartesianas esta descrito en la ecuación 1:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \rho \Delta H_o w_r R_a \quad (1)$$

Donde ρ es la densidad del compuesto, ΔH_o es el calor de la reacción del polímero, W res la fraccion másica de la resina, R_a es la velocidad de reacción de la resina utilizada en este caso resina poliéster isoftalica, V_z es la velocidad de tirado de los hilos de fibra de vidrio. Con la

ecuación 7 es necesario obtener la velocidad de la reacción de la polimerización (curado) que viene expresada en la ecuación 8 que involucra la exoterminia.

$$R_r(\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} = k(T)f(a) \quad (2)$$

Dónde α es el grado de cura, t es el tiempo de reacción, K es la el parámetro de temperatura de acuerdo a la ecuación de Arrhenius:

$$K(T) = k_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) \quad (3)$$

y

$$\frac{d\alpha}{dt} = R_r(\alpha) - V_z \frac{\partial \alpha}{\partial z} \quad (4)$$

Resolviendo las ecuaciones 10 y 7 obtenemos las temperaturas en las cuales los iniciadores para el proceso de polimerización son óptimos lo que nos impide que la polimerización se de en el tanque de resina.en la tabla 2 obtenemos dichas temperaturas con las que se trabaja.

Tabla 2. Zonas de calentamiento.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Temperatura (°C)	70	120	170
Longitud (mm)	280	220	200

Fuente: Adaptado

La transferencia de calor indicada en el molde se puede observar en la figura 3 con lo que se considera una temperatura ambiente de 20 °C.



Figura 3. Transferencia de calor en el molde.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Es por lo cual tenemos que el molde debe soportar temperaturas que van desde los 70 a 170 °C, la carga térmica que esta soportando se debe afectar al proceso de mecanizado es por lo cual debe garantizar que el molde después de esta carga no sufra afectaciones dimensionales, es decir garantizar su estabilidad dimensional.

El molde también debe soporte mezclas químicas de diferentes tipos de resina una concentración de la mezcla:

- Resina poliésteres isoftalica la que va a ser nuestro estándar en porcentaje de peso es decir en 1000g
- Iniciador para temperatura baja Percadox 16 la concentración recomendada es 0.5 a 1.5 %.
- Iniciador TBPO la concentración recomendada es 0.5 a 0.25 %.
- Iniciador TBPB la concentración recomendada es 0.5 a 0.25 %.
- Pigmento Amarillo para resina poliéster 0.5-2.5%
- Carbonato de calcio, se debe poner entre un 10 – 30 %.
- Talco industrial, las cantidades recomendad es 10 – 30 %.
- Alúmina como agente desmoldante 0.5 a 1.5%.

Para la velocidad de arrastre de los pullers.

- Velocidad: 0,1 – 0,4 m/min.

Los diferentes tipos de resina en los cuales va a trabajar el molde generan fricción por ello que necesitamos que el molde.

Diseño

Con todos estos parámetros en cuenta debemos asegurarnos que el diseño del molde sea en dos partes iguales con lo cual garantizamos que el proceso de mecanizado en ambas caras sea el mismo. En la figura 2 podemos ver la modelación del elemento. Debemos tener unos últimos puntos en cuenta como son que todas las superficies de molde en su interior debe tener un acabado SPI /SPE número 2, lo cuales en su dirección debe ser longitudinal

Todas las superficies de los moldes internos que consideran los materiales de FRP deben tener un SPI / SPE acabado 2 molde con el atenuante que el pulido final debería estar en la dirección longitudinal.



Figura 4. Molde de extruido de material compuesto.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Como ultima consideración debemos tener un espesor de 0,0015-0,002 pulgadas de espesor de cromado para tener una larga vida útil del molde o un tratamiento superficial.

Resultados

En el molde podemos ver que se tiene un bloque de acero AISI 4140 con lo cual necesitamos afinar las caras en la cual vamos a mecanizar porque este va a ser el punto de unión de las dos partes del molde.

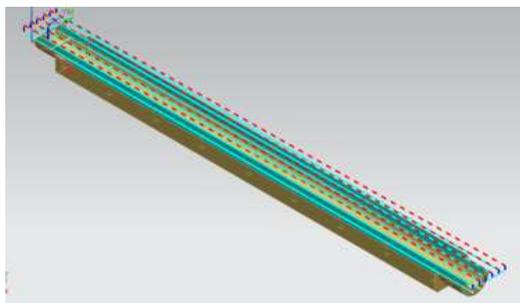


Figura 5. Mecanizado cara superior

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Cara en la cual a utilizamos una estrategia de zig-zag para no ejercer altos esfuerzos en el elemento con lo que tenemos un tiempo de mecanizado de 23.34 minutos. Y como se puede ver en al figura el material que nos deja este procedimiento.

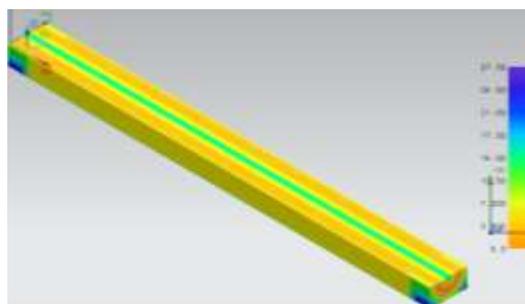


Figura 6. Grosor por espesor del mecanizado

Fuente: Adaptado de fuente propia.

El siguiente procedimiento es el necesario para poder unir las dos partes del molde, la unión la vamos a realizar mediante pernos M8x1.25; en este procedimiento podemos hacerlo en dos etapas primero con una perforación y luego con un machuelo macho que nos de la medida requerida, esto solo lo hacemos en la parte inferior ya que en el molde superior se va a realizar un procedimiento diferente.

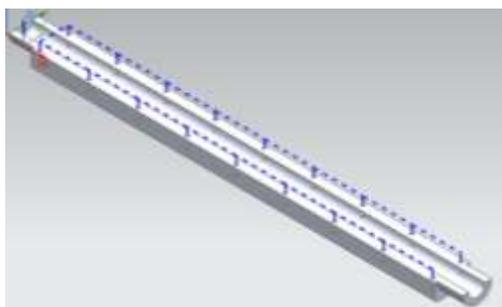


Figura 7. Perforado.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Para el mecanizado se han realizado las siguientes estrategias de trabajo en la perforación con rotura de viruta para poder garantizar la circularidad en la perforación, para en su posterior proceso poder hacer el roscado en con lo que obtenemos un tiempo de 8.5 min.

Para el proceso de roscado obtenemos mediante un machuelo macho con la medida, velocidades, tiempo de espera que se solicitada dentro de la norma para la construcción de este tipo de moldes.

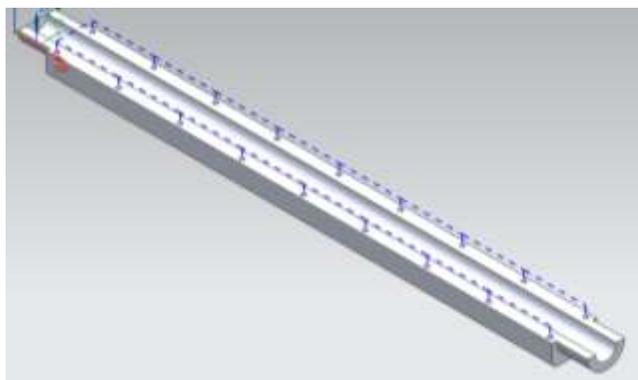


Figura 8. Roscado interno para unión del molde.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Se ha concretado los valores para que el machuelo tenga dos velocidades una de entrada y otras de salida ajustando la secuencia de trabajo para poder obtener la mejor calidad de la rosca. Con lo cual variando la estrategia tenemos que se ha reducido el tiempo de trabajo el cual se puede evidenciar en las figuras posteriores.

Una vez definido las caras externas de trabajo, es necesario concentrarnos en garantizar la circularidad del molde, para lo que vamos a comenzar a maquinar la superficie del semi-circulo mediante un contorno con una fresa 8.

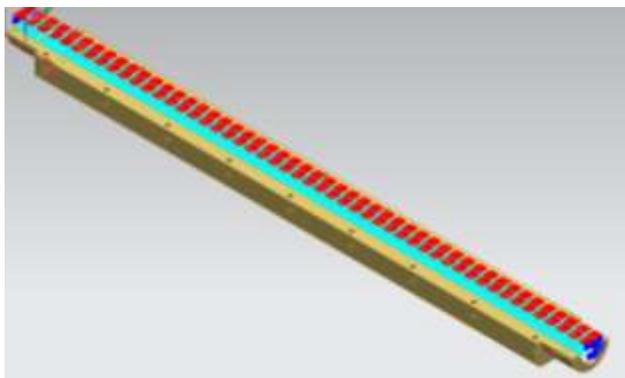


Figura 9. Roscado interno para unión del molde.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Con este tipo de mecanizado por la forma de la herramienta tenemos que ajustar la estrategia para que nos de la forma del semi-circulo, pues tenemos que notar por la forma quedan dientes de sobrematerial. Es por ello que se necesita un nuevo proceso con una herramienta diferente, el tiempo estimado para este proceso con el ajuste de 300 min.

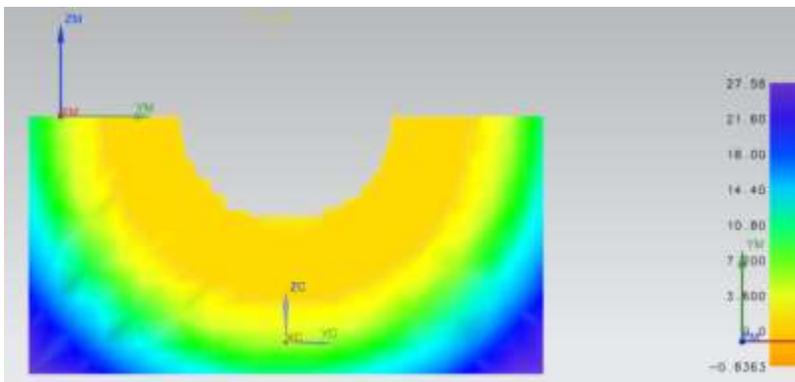


Figura 9. Desbaste y acabado del semi-circulo.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

En la nueva estrategia de proceso que tenemos es seguir el contorno con una fresa redonda de 8 mm con una estrategia sobre el contorno para eliminar los sobre-materiales, en esta proceso de mecanizado tenemos que ajustar las medidas al cono y al ajuste propio de la herramienta para poder tener un menor sobre-material. En a figura vemos el ajuste que se hizo en velocidad, trayecto y poder tener una forma adecuada.

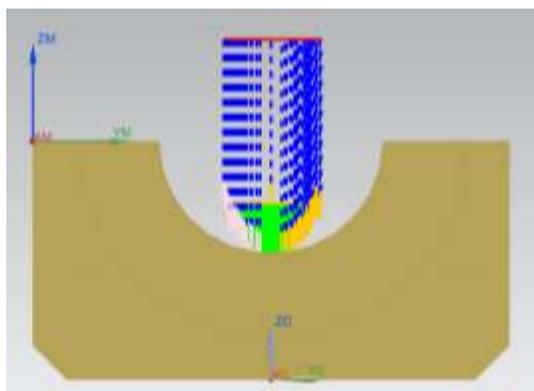


Figura 10. Estrategia de corte con fresa redonda.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Una vez terminado el mecanizado podemos ver que con este tipo de estrategia la herramienta que es necesario refinar las curva de mecanizado. Es por ello que utilizamos una estrategia de contorno de área que ajuste de velocidad, avance por diente y un afilado fino de la herramienta podemos obtener un seguimiento fino de la forma del molde.

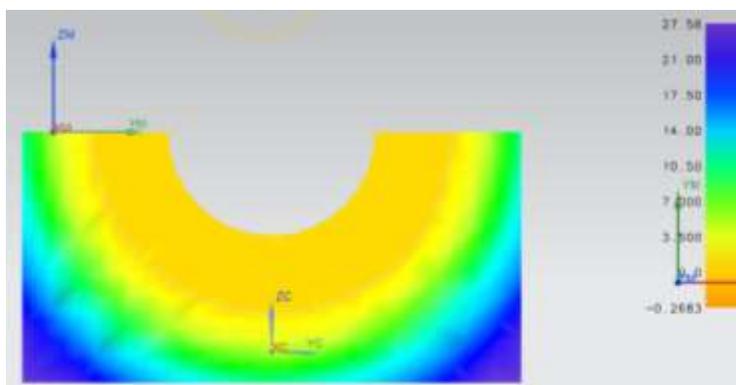


Figura 11. Material del proceso de afinado.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Con la estrategia de contorno de área vemos que por último seguimos a la curva de una forma adecuada y no tenemos picos de material lo cual no es adecuado por las condiciones de trabajo que sirven para tener un buen acabado superficial del elemento extruido.

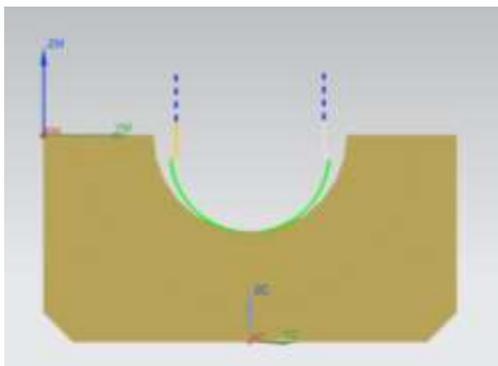


Figura 12. Trayectoria del mecanizado.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Con este tipo de mecanizado podemos observar que podemos ver que no existe ningún tipo de sobrematerial en el molde con lo que es necesario tener un buen acabado y con este mecanizado lo conseguimos por las condiciones de trabajo es importante tener un acabado superficial del molde fino para tener una mínima fricción. Tenemos que el material de la superficie es mínimo y se ajusta a la superficie deseada.

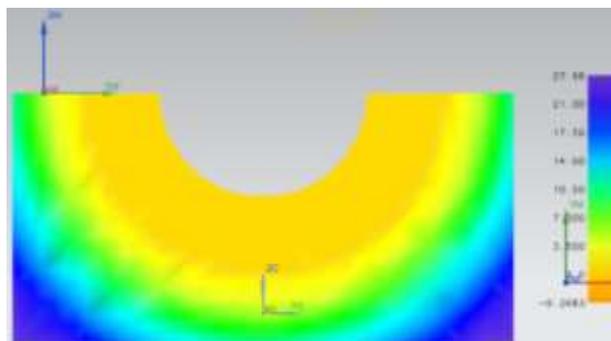


Figura 13. Material después del afinado.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Discusión

El material para la construcción para este tipo de molde es necesario que cubra las necesidades de las condiciones de trabajo. Con lo cual tenemos que garantizar su calidad superficial al producto final y el ajuste de las variables de trabajo para optimizar el proceso, es necesario que los tiempos de mecanizado versus calidad y prestaciones de trabajo de los mismos es importante para el costo del mecanizado y así poder amortizar su costo en la producción de perfiles extruidos.

Así en el primer mecanizado de elementos con un ajuste de los parámetros se puede ver la variación de la calidad con el tiempo de desarrollado del primer proceso. Para cada proceso fue necesario ajustar tiempos y calidad, es importante recalcar que por cada proceso se hizo cinco pruebas de mecanizado hasta llegar con la óptima que se ajusta a la máquina y herramientas disponibles para tener las prestaciones antes mencionadas.

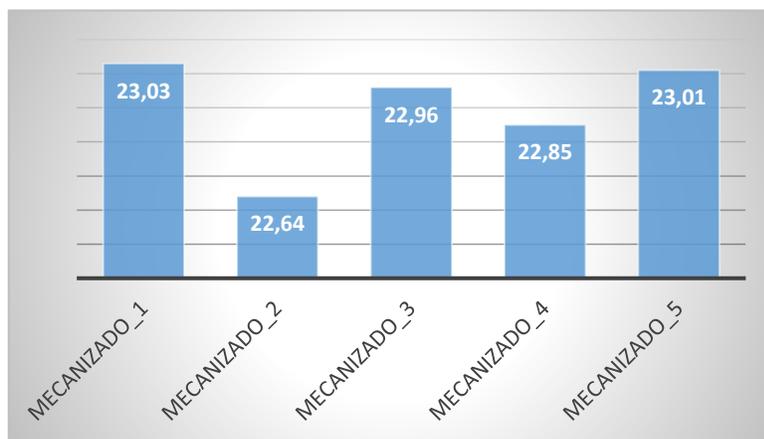


Figura 14. Tiempos de mecanizado desbaste.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

En el segundo mecanizado se procede al retiro de los picos de material que desarrolla el primer proceso los ajustes de los parámetros tenemos la siguientes tiempos

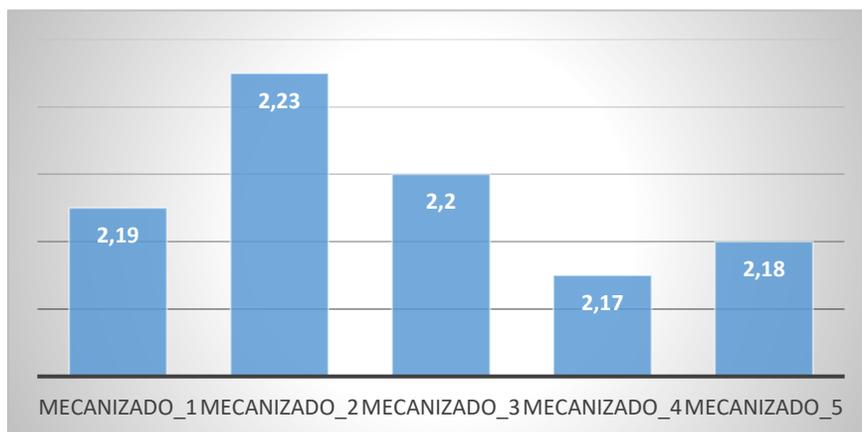


Figura 15. Tiempos de mecanizado de segundo desbaste.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

El siguiente proceso de mecanizado del elementose tiene un ajuste de parámetros se puede ver la variación de la calidad con el tiempo de desarrollado del segundo proceso.

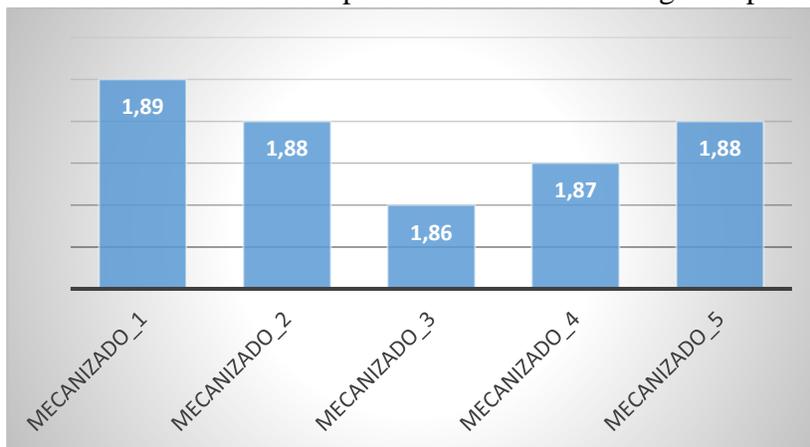


Figura 16. Tiempos de mecanizado de segundo desbaste.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Asi en el cuarto mecanizado que obtenemos el afinado de elementos es el que mas demanda tiempos y es por lo que es necesario tener un ajuste de los parámetros sin variar la calidad necesaria.

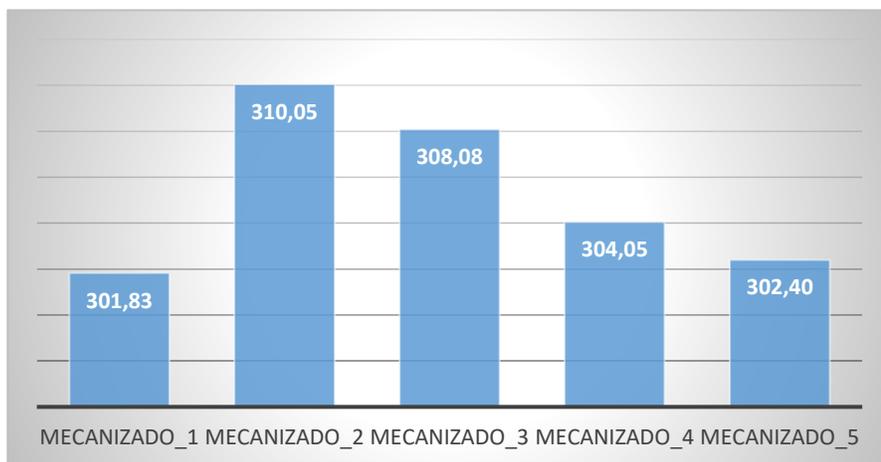


Figura 17. Tiempos de desbaste y afinado.

Fuente: Adaptado de fuente propia.

Conclusiones.

- El proceso es necesario utilizar optimización del proceso de mecanizado para obtener tiempos coherentes para garantizar la relación costo vs. calidad. Así también es

necesario que el diseño tenga en cuenta las variables del proceso de extruido como es la disposición de los hilos, concentración de resina, las temperaturas en el molde, y la velocidad de arrastre del proceso son determinantes en la obtención de un molde el cual garantice que estas variables puedan ser controladas de una manera recomendable. Es importante ajustar el modelo para que pueda utilizarse con otro tipo de resinas por lo que para aplicaciones industriales de alta carga que se utiliza una resina epoxica. Para una mayor durabilidad del mecanizado podemos darle un tratamiento superficial como un nitrurado o cambiar el material por lo que se puede ajustar velocidades y el tiempo variaría con lo cual a más tiempo mayor es el costo que se obtiene del molde.

Agradecimiento

Esta investigación no habría sido posible sin el apoyo de la empresa **AISA COMPOSITES** por lo que agradecemos la disposición por buscar mejoras tecnológicas por el bien de la sociedad. Además este trabajo investigativo es el fruto del esfuerzo conjunto de conocimientos y experiencias laborales de los Ingenieros involucrados en este trabajo. Con estas líneas queremos mostrar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que supieron orientar nuestra investigación de una manera exitosa.

Referencias bibliográficas

- Wen-Feng G; Jian-Zhong F; Hong-Yao S; Zhi-Yu C; Zhi-Wei L. Five-axis tool path generation in CNC machining of T -spline surfaces, *Computer-Aided Design* 52, 51–63, 2014
- Yusuf A. Virtual High Performance Machining, *Procedia CIRP* 46, 372 – 378, 2016
- Mikolajczyk T, Hubert Latos, Paczkowski T, Pimenov D, Szyuka T. Using CAD CAM system for manufacturing of innovative cutting tool, *Procedia Manufacturing* 22 (2018) 160–165
- Sahuquillo Navarro, O. (2012). Estudio de la degradación de materiales compuestos base poliéster reforzados con fibra de vidrio en medios neutros y alcalinos. Valencia: Tesis doctoral - UPV.
- Moschiar S. M.; Reboredo M. M.; Kenny J. M. and Vazquez A. Analysis of pultrusion processing of unsaturated polyester resin with glass fibers, *Polymer Composites*, v17, n. 3, p 478, 1996.
- Insausti Bello, A. (2007). Estabilidad global de elementos estructurales de polímero reforzado con fibra de vidrio. Donostia: Universidad de Navarra.

Moschiar S. M.; Santiago D.; Lombera G.; Urquiza S. Modelado numerico del proceso de pultrusion, Materials Research, Vol 6, No 4, 583-589, 2003.

Bendezú Reyes, J. (2002). Los plasticos reforzdos en fibra de vidrio (PRFV), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional. Lima- Peru: Universidad nacional Mayor de San Marcos.

Liu X. L.; Crouch I.; Lam Y.; Simulation of heat transfer and cure in pultrusion with a general purpose finite element package, Composites Science and Technology 60 (2000) 857-864.

Guerrero, V., Davila, J., & Galeas, S. (2011). Nuevos materiales. Aplicaciones estructurales e indsutria. Quito, Ecuador: ImpreFepp.

Raymond W. Meyer, B. (1985). Handbook of pultrusion technology. New York: Chapman and Hall.

Kim D.; Lee W.; Friedrich K. A model for a thermoplastic pultrusion using commingles yarns, Compositees Sciense and Technology 61 (2001) 1065-1077

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Sánchez E., Castillo E., Bravo V., Abarca E. & Montufar E. (2019). Análisis del proceso de manufactura mediante proceso CAD-CAM de un molde para materiales compuestos para la industria automotriz. *Revista electrónica Ciencia Digital* 3(2), 620-635. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/469/1072>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

