

De la investigación a la práctica: Calentamiento de polímero por microondas y su aplicación al rotomoldeo

Joel Pozos Osorio¹, Abraham Luna Castellanos², Nicolás Juárez Rodríguez³, Ernesto Castellanos Velasco¹, José Pedro Sánchez Santana¹, Salvador Antonio Arroyo Díaz¹

¹Universidad Politécnica de Puebla
Cuerpo Académico: Tecnología e Ingeniería para la Innovación (TI²)
Tercer Carril del Ejido "Serrano" s/n, San Mateo Cuanalá. Juan C. Bonilla, Puebla,
México. C.P. 72640
Tel.: +52 222 7746664
Fax.: +52 222 7746648
jpozos@uppuebla.edu.mx

²Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Luis Enrique Erro # 1, Tonantzintla, Puebla, México. C.P. 72840
aluna@inaoep.mx

³Rotoinnovación S.A. de C.V.
Callejón Santo Domingo 208, Col. Loma Bonita Terán,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C.P. 29050
juarez1@hotmail.com

Eje temático III: Desarrollo académico, científico y tecnológico: tendencias y perspectivas.

RESUMEN

Se presenta una novedosa forma de colaboración en México que involucra la participación de un centro de investigación, una universidad joven y una empresa dedicada al desarrollo tecnológico de la industria del plástico a través del proceso de rotomoldeo, bajo un modelo de gestión tecnológica de la Oficina de Transferencia de Conocimiento (OTC) de la Universidad Politécnica de Puebla (UPPue). Se resuelve el calentamiento volumétrico de polímero por microondas y su aplicación al rotomoldeo. Se promueve la sinergia de tres entidades: la primera es el entendimiento de ciencia básica en el área de electromagnetismo; la segunda es el desarrollo tecnológico y la gestión tecnológica de un dispositivo y proceso de microondas para rotomoldeo y la tercera es la aplicación industrial. La ventaja competitiva de este desarrollo es el menor consumo energético a comparación de los procesos tradicionales ya que el calor se dirige en forma más directa al polímero.

Palabras clave: Microondas, calentamiento volumétrico, polímero, gestión tecnológica, rotomoldeo.

ABSTRACT

We present a new form of collaboration in Mexico that involves the participation of a research center, a young university and a company dedicated to the technological development of the plastics industry through rotational molding process, under a model of technological management of the Office Knowledge Transfer (OTC) of the Polytechnic University of Puebla (UPPue). It was resolved polymer volumetric heating by microwaves and its application to rotomoulding was resolved. It promotes the synergy of three entities: the first is the understanding of basic science in the field of electromagnetism, the second is technological development and technological management of a microwave device and process for rotational molding and the third is the industrial application. The competitive advantage of this development is the lower energy consumption compared to traditional processes as heat goes more directly to the polymer.

Keywords: Microwave, volumetric heating, polymer, technology management, rotational molding.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La tendencia actual, es la innovación en el diseño y fabricación de nuevas máquinas con el objetivo de optimizar sus recursos de funcionamiento o de especialización. El uso de tecnologías precompetitivas desarrolladas en la industria dificulta su implementación práctica, por lo tanto, la fase de diseño e investigación es importante para trascender el nivel de ese tipo de tecnología. La evaluación de un proceso de calentamiento volumétrico implementando el uso de microondas para un escalamiento industrial, ha sido muy poco desarrollada, ya que requiere conocimiento de trasfondo que permita su óptima aplicación y aprovechamiento [1]. Para lograr entender las leyes físicas del electromagnetismo que rigen el comportamiento de calentamiento dentro de una caja de resonancia, así como generar el modelo matemático que describa la transferencia de calor, tomando como fuente un radiador de microondas a 2.42 GHz, implica el uso de matemáticas avanzadas. Aunado a esto, conocer la energía que absorbe el material dentro de la caja de resonancia dependiendo de la interacción que tiene con los campos electromagnéticos producidos por el radiador, implica un análisis profundo en ésta área. Lo anterior frena el uso industrial de esta tecnología, ya que las empresas están enfocadas en resolver problemas emergentes y no todas cuentan con un centro de desarrollo tecnológico que les permita resolver el problema de fondo.

Mediante la colaboración sinérgica de quién posee el conocimiento de la ciencia y entendimiento de la física, con quién tiene la capacidad de relacionar ese conocimiento con la tecnología existente y transformarlo en ingeniería; es necesario transferir ese conocimiento a una empresa de base tecnológica para su explotación comercial. En este caso, la aplicación del calentamiento volumétrico de polímero por microondas, consiste en fabricar productos plásticos de geometría compleja mediante el proceso de rotomoldeo.

Entre los principales objetivos se destaca el establecimiento de vínculos de colaboración estrechos entre las universidades, centros de investigación y empresas, para atender la solución a problemas técnicos, mediante la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación. Es relevante mencionar que la UPPue ha creado una OTC que cuenta con un modelo de gestión tecnológica que promueve la aplicación de la ciencia,

la protección intelectual y la comercialización de tecnologías, con la misión de incrementar la competitividad de sus aliados y de la propia institución.

2 MÉTODO

La UPPue es una Institución de Educación Superior dedicada a la formación de recurso humano en las áreas de ingeniería y que atiendan necesidades de la sociedad mediante la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación. En ese contexto, se ha promovido la vinculación efectiva a través de la creación de una OTC y en la cual se ha desarrollado en colaboración con la Alianza Estratégica y Red de Innovación en Rotomoldeo (AERI Rotomoldeo) un modelo de Gestión Tecnológica (ver Figura 1), el cual plantea un ciclo continuo para generar, proteger, promover y comercializar las tecnologías desarrolladas en la institución. El modelo planteado, no necesariamente debe iniciar con la generación de conocimientos básicos, la idea es que aplique en cualquier estatus en que se encuentre algún proyecto de investigación, sea de ciencia básica o de desarrollo tecnológico, incorporando las capacidades adquiridas mediante la asesoría y consultoría de una incubadora de empresas de base tecnológica con que cuenta la UPPue llamada INCUPOLS y que recientemente ha sido reconocida por la Secretaría de Economía. La vinculación Universidad-Empresa-Gobierno, promueve la generación de nuevos productos y satisfacción de mercado, mediante acuerdos y convenios de la propiedad intelectual, pero sobre todo fomenta el acompañamiento para lograr competitividad de la institución y de sus aliados a través de la reinversión y el flujo permanente de creación de tecnologías.

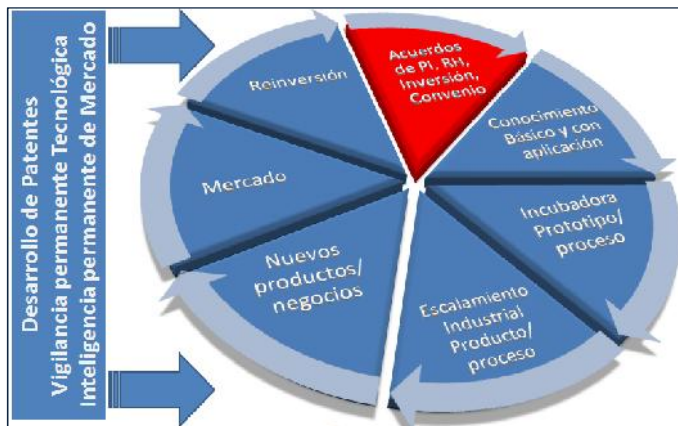


Figura 1. Modelo de Gestión Tecnológica de la Oficina de Transferencia de Conocimiento de la Universidad Politécnica de Puebla.

El Cuerpo Académico “*Tecnología e Ingeniería para la Innovación (TI²)*” de la UPPue ha participado en la creación de la AERI Rotomoldeo a la cual pertenecen Instituciones de Educación Superior, Centros de Investigación y Empresas, para desarrollar un mapa de ruta que atienda la gestión tecnológica de la industria del rotomoldeo.

Siguiendo los resultados obtenidos a través del mapa de ruta, se ha generado la tecnología para el calentamiento de polímero por microondas, a través de la metodología propuesta en el Modelo de Gestión Tecnológica que se observa en la Figura 1.

2.1. Conocimiento básico.

La aplicación de conocimiento básico se basa en electromagnetismo y el desarrollo de métodos numéricos que permiten resolver las ecuaciones de Maxwell con las condiciones de frontera necesarias para el modelado de un sistema de calentamiento volumétrico a través de microondas y dependientes del tiempo a altas frecuencias, lo que aumenta considerablemente la dificultad en el modelado numérico. La comprensión del problema se llevó a cabo por el Dr. Abraham Luna, quién es astrónomo del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en Puebla, México. El Dr. Luna es especialista en el estudio de microondas a nivel teórico por sus múltiples investigaciones del efecto que producen en la astronomía.

En electromagnetismo, el desarrollo de métodos numéricos permite resolver las ecuaciones de Maxwell con las condiciones de frontera necesarias para el modelado de un sistema de calentamiento volumétrico a través de microondas. Los métodos numéricos son comúnmente conocidos para resolver problemas termodinámicos, deformaciones mecánicas y campos electrostáticos en ingeniería eléctrica; para el análisis de microondas es indispensable la solución de las ecuaciones de Maxwell dependientes del tiempo a altas frecuencias, lo que aumentan considerablemente la dificultad en el modelado numérico.

Para modelar el calentamiento volumétrico con microondas se requiere comprender la propagación de las ondas electromagnéticas de un medio, a través de la solución de las Ecuaciones de Maxwell. El gráfico de la Figura 2 permite visualizar de manera práctica la configuración de los campos eléctrico (\vec{E}) y magnético (\vec{H}) de la solución de las ecuaciones de Maxwell en el vacío. Muestra la composición de un campo vectorial eléctrico en un plano complementario con el campo magnético en un plano ortogonal al anterior [3].

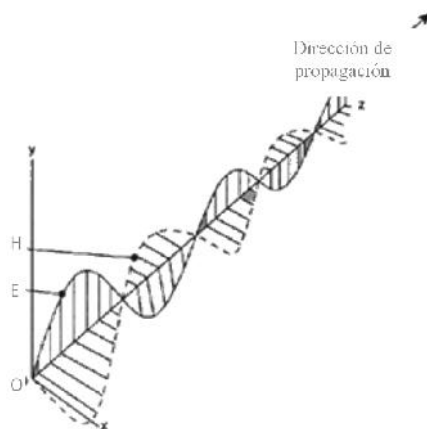


Figura 2. Campos electromagnético resultante de la solución a las ecuaciones de Maxwell

Las Ecuaciones que describen el gráfico (Figura 2) están dadas por (1) y (2):

$$E_y = E_0 \sin(\omega t - \beta z) \quad (1)$$

$$H_x = \frac{E_0}{Z_0} \sin(\omega t - \beta z) \quad (2)$$

Dónde:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \Omega \quad (3)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (4)$$

Siendo Z_0 la impedancia característica para el espacio libre (vacío) y β la constante de propagación.

Para el uso de materiales dieléctricos, la impedancia característica presente en la Ecuación (3), modifica su valor, la cual ahora se puede calcular por la Ecuación (5):

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (5)$$

Con respecto a la permitividad relativa en el medio, si éste tiene pérdidas, el valor de la Ecuación (5) se torna a un valor complejo.

El software permite acoplar diferentes físicas y resolverlas en forma simultánea, para este caso intervienen dos fenómenos: la radiación electromagnética y calor. Para el caso preciso del calentamiento volumétrico a través de microondas, el software resuelve las Ecuaciones (6) y (7) respecto al tiempo de simulación [7]:

$$\nabla \times (\mu_r^{-1} \nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2 (\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0}) \mathbf{E} = \mathbf{0} \quad (6)$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (7)$$

Dónde μ_r es la permeabilidad relativa, ϵ es la permitividad relativa, k es la conductividad térmica, σ es la conductividad eléctrica, ρ la densidad del material y C_p es la capacidad de calor a presión constante.

A su vez, el funcionamiento del puerto que suministra la radiación de ondas electromagnéticas también está gobernado por la Ecuación (8):

$$S = \frac{\int_{\partial\Omega} (\mathbf{E} - \mathbf{l}) \cdot \mathbf{n} \, d\Omega}{\int_{\partial\Omega} (\mathbf{E} \cdot \mathbf{E}_1)} \quad (8)$$

Dónde \mathbf{E} es el campo eléctrico que irradia el generador de ondas.

Ahora, al haber comprendido las leyes físicas que rigen el comportamiento del calentamiento volumétrico por microondas, se procede a desarrollar el prototipo.

2.2. Desarrollo del prototipo.

Primeramente, se realiza la exploración del efecto de la generación de puntos calientes en forma numérica utilizando el método del elemento finito. El problema de ingeniería planteado busca la implementación mecatrónica en dónde se calentará un molde con movimientos rotacionales independientes en dos ejes, a diferencia de los sistemas convencionales que poseen un solo eje. La investigación de éste tipo de casos, concibiendo el sistema para la aplicación específica, se busca explorar mediante un modelo factible a la aplicación requerida mediante los materiales adecuados. Se trata de modelar una caja de resonancia, una geometría esférica de una mezcla cerámica que contiene un agente absorbente de energía en microondas que lo convierte en un material con una constante dieléctrica compleja alta y un radiador de ondas electromagnéticas con frecuencia de 2.42GHz fundamentalmente.

2.2.1. Simulación numérica.

La caja de resonancia está representada por una geometría prismática de dimensiones semejantes a las reales para aproximar aún más el modelo matemático. El software de análisis multifísico necesita como datos de entrada para el modelado las propiedades físicas y químicas del objeto, como los son el tipo de material, constantes de conductividad eléctrica, transferencia de calor y permeabilidad relativa como datos de entrada. Estas propiedades son significativas ya que establecen la manera en que se distribuye el flujo electromagnético vectorial y la manera en que infieren los campos vectoriales para producir los llamados puntos de calor o hotspots. Éstos varían dependiendo de las propiedades eléctricas y magnéticas tanto de la caja resonante como del material a calentar.

En un horno de microondas convencional el radiador de flujo electromagnético es de tipo multimodo, lo que significa que no está emitiendo radiación en una sola frecuencia como lo es un caso ideal, sino en un ancho de banda, lo cual provoca que la posición e intensidad de los puntos de calor varíe de acuerdo a las frecuencias emitidas. Esto implica pérdidas de concentración de calor cuando el objeto a calentar está localizado en un hotspot. Para este caso de estudio se utilizará el radiador con frecuencia ideal (fija) a 2.42 GHz para facilitar la aproximación en el análisis.

La distribución de los puntos de calor dentro de la caja de resonancia está en función de la frecuencia del radiador y las propiedades químicas del material a calentar, como se describió anteriormente. Por sí solo, el radiador crea un patrón de puntos de calor dentro de la caja de resonancia. Al introducir un material con constante dieléctrica elevada, alguna geometría y en alguna localización dentro de la caja (por ejemplo, la altura a la que se encuentre dentro de la caja resonante), los hotspots se distribuyen de manera distinta con respecto a la posición de los puntos de calor sin el cuerpo adicional, provocando un aumento o disminución de la cantidad e intensidad de los hotspots [5].

Se usará un cuerpo con geometría esférica a calentar, se propone como material una mezcla cerámica con propiedades dieléctricas, la importancia en la elección del material radica principalmente en la propiedad: permisividad relativa o constante dieléctrica. Esta propiedad debe ser un valor elevado dado en forma compleja; ya que el valor elevado permite saber si son buenos absorbentes de la energía producida por el flujo

electromagnético y debe ser compleja para que permita obtener un resultado válido del sistema de ecuaciones de Maxwell. El resultado esperado es la localización de los puntos calientes respecto a los elementos del sistema, ya que la geometría está situada en uno de ellos para lograr un aumento de la temperatura en menor tiempo.

Para conocer el comportamiento de las ondas electromagnéticas en una caja de resonancia con fines de calentamiento volumétrico, se procede a realizar un análisis multifísico a través de elemento finito. En primera instancia, se busca conocer la distribución de las microondas como suministro de calor a través de su distribución en un gráfico, el cual mostrará dónde se concentra “el calor” que permitirá el calentamiento del objeto, cuyas propiedades aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del material dieléctrico

Propiedad	Valor
ϵ_r	1
ϵ_i	65-5*j
σ	175 [W/m*K]
τ	10e-8 [s/cm]
ρ	1770[kg/m ³]
C_p	C(T[1/K]) [J/(kg*K)]

Primordialmente, conocer la temperatura en el centro de la geometría en función del tiempo, permitirá la aplicación mecatrónica, con ello se determina si el calentamiento volumétrico es validado o no para el caso de la aplicación. Simultáneamente, se busca conocer la posición adecuada para la colocación del objeto a través de la distribución de los puntos de calor que, que resultan de la solución de las ecuaciones de Maxwell del campo de radiación y con la interacción del material a calentar [5].

En la simulación, se definen los siguientes elementos: la esfera con material dieléctrico, aire como el medio interno de la caja de resonancia, el puerto que emite radiación (magnetron) y la superficie de metal que delimitan a la caja. Como valores iniciales se tiene la temperatura inicial de la esfera a 25°C, mientras que los campos eléctrico y magnético se mantienen sin valor para denotar que se parte desde cero.

Mediante el software utilizado, se establece la ecuación que se ha de resolver, en tanto, la Ecuación (1) determina el comportamiento del campo eléctrico vectorial que tendrá el puerto radiador con potencia de 500 W.

2.2.2. Interpretación de los resultados de la simulación numérica.

La implementación de un software de análisis multifísico utilizando el método de elemento finito permite mostrar los resultados mediante vectores, líneas de flujo o superficie, lo cual facilita su interpretación. En la Figura 3, se muestra la temperatura resultante a los 5 minutos tanto en el interior como en el exterior del objeto. Con este resultado se denota que el método de calentamiento resulta eficiente, ya que en poco tiempo se logran temperaturas elevadas hasta 685.43°C. Además se logra percibir una de las características

importantes del calentamiento volumétrico a través de microondas, y consiste en que el calentamiento se transmite desde el centro del objeto hacia su exterior.

La aparición de los puntos de calor es una característica significativa en este método de calentamiento, para este caso, su importancia radica en que al conocer su localización, es posible determinar la posición en la cual el objeto alcanzará la mayor temperatura producida por la interacción del campo eléctrico y las propiedades eléctricas del material dieléctrico. En la Figura 4, se muestra los puntos de calor como resultado de la simulación, la escala muestra el campo eléctrico en V/m . La posición del objeto dentro de la caja resonante también modifica el patrón de los puntos de calor.

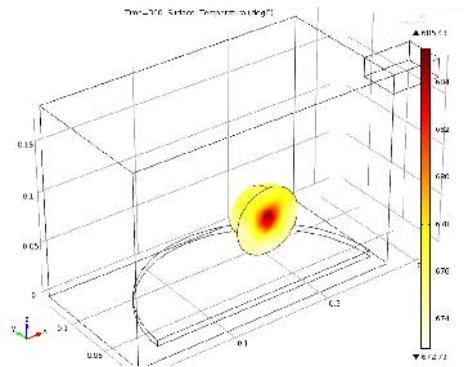


Figura 13. Calentamiento volumétrico mediante microondas, después de 5 minutos

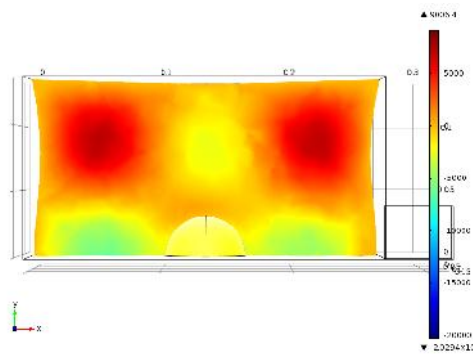


Figura 24. Puntos de calor producidos por el calentamiento volumétrico por medio de microondas

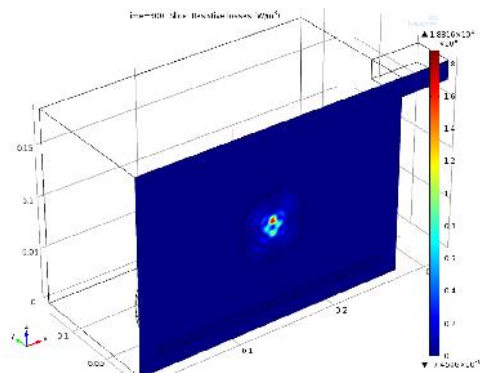


Figura 35. Distribución de la absorción de ondas electromagnéticas

También es importante determinar cuál es la distribución de la fuente de calor por medio de microondas, para ello, en la Figura 5 se muestra el patrón que se obtiene, dando como resultado un incremento en el centro del objeto, indicando que funciona como una cavidad resonante.



Figura 7. Dispositivo mecatrónico de calentamiento volumétrico por microondas y el producto plástico de prueba terminado.

Finalmente, se realiza el diseño y la selección de los diversos sistemas mecatrónicos que permitirán su construcción, implementación y pruebas. En la Figura 6 se pueden observar

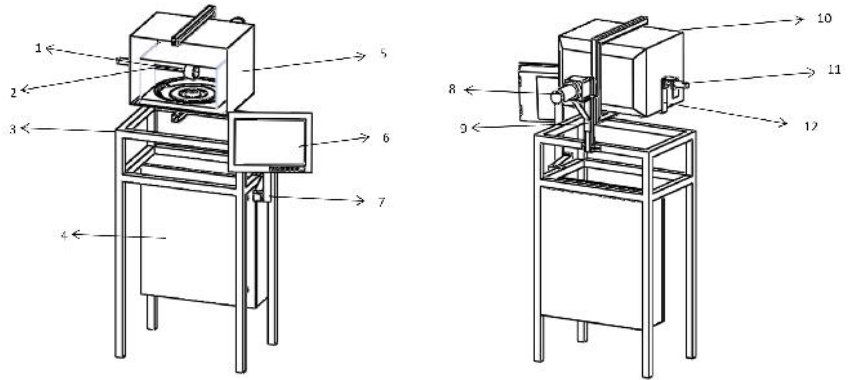
el dispositivo instrumentado y las piezas obtenidas, evidenciando la eficacia de la aplicación de la ingeniería.

2.2.3. Protección intelectual.

La tecnología desarrollada mediante la colaboración tripartita: Centro de Investigación-Universidad-Empresa, ha sido protegida mediante una solicitud de registro de patente en el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial IMPI [4]. En la Figura 7 se puede observar las partes del dispositivo de rotomoldeo por microondas.

Las ventajas que presenta el dispositivo de la Figura 2, es que utiliza una fuente de calentamiento diferente a las existentes en el mercado. Las formas tradicionales de calentamiento a través de flama abierta o calentamiento a través de hornos tienen el problema de altos consumos energéticos debido a que el 98% del calor suministrado se pierde por el contacto con la estructura, el aire y los moldes [6].

En este caso el calor se dirige en forma más directa hacia el polímero.



- | | | |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|
| 1. Molde | 5. Horno de microondas | 9. Soporte del motor |
| 2. Flecha molde | 6. Pantalla táctil | 10. Soporte microondas |
| 3. Base | 7. Soporte pantalla | 11. Soporte motor molde |
| 4. Tablero de control | 8. Motor baseulante | 12. Soporte de motor del molde |

Figura 7. Dispositivo de rotomoldeo por microondas.

Esta tecnología ha sido adoptada por la empresa Rotoinnovación S.A. de C.V. y la UPPue a través de su OTC ha desarrollado los acuerdos de Propiedad Intelectual y de Conflictos de Interés que permitan una Transferencia Tecnológica pertinente y el acompañamiento futuro para promover un flujo de tecnologías en este campo.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Su futura aplicación industrial, busca diseñar dispositivos que acoplen de manera funcional un objeto con geometría compleja, que se mantenga en movimiento de rotación sobre dos

ejes independientes desde el centro del horno y que lo posicione con respecto a los puntos de calor, con la finalidad de calentar eficiente y homogéneamente el objeto.

La transferencia tecnológica se llevará a cabo mediante la adopción de la tecnología por parte de la empresa Rotoinnovación S.A. de C.V., quién posee a través de un contrato celebrado por la UPPue, la exclusividad para su explotación comercial.

El modelo de gestión dará la pauta para dar viabilidad a la transferencia de conocimiento, lo importante de este modelo es que representa un ciclo continuo, planteado en corto tiempo para que se considere como un círculo virtuoso [2].

Es importante mencionar los múltiples proyectos financiados a través del Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para la obtención de estos resultados, y que van desde ciencia básica, pasando por proyectos de desarrollo tecnológico hasta proyectos que permiten la gestión del conocimiento y la transferencia tecnológica. Además, se debe considerar que todos los proyectos, tanto los terminados como aquellos que aún están en ejecución, se han desarrollado en tiempo y forma, lo que ha promovido la apertura de un flujo de innovación de acuerdo al mapa de ruta planteado en un inicio.

4 CONCLUSIONES

El modelo de gestión tecnológica presentado en este artículo, permite la gestión de cuatro aspectos importantes desarrollados en este proyecto: Investigación científica, desarrollo tecnológico, propiedad intelectual y comercialización de tecnologías hacia el sector industrial, lo que representa mejorar la competitividad de la comunidad universitaria y de sus aliados.

Se obtuvieron valores satisfactorios del calentamiento volumétrico utilizando microondas, así mismo se corroboró que efectivamente, la geometría comienza a calentarse desde el centro hasta el exterior. Se comprobó la formación de los puntos de calor, así como su distribución dentro del horno, lo que permitió conocer el lugar en el cual la geometría tendría el mayor flujo de calor.

Con respecto a los puntos de calor, cabe mencionar que se forman a partir de la interacción entre las propiedades eléctricas que tiene el material a calentar y la caja de resonancia de flujo magnético, la frecuencia con la que se emiten las ondas electromagnéticas del radiador y la posición del mismo. Es importante denotar que, sí el objeto a calentar está en rotación en más de un eje, provocará que el patrón de puntos de calor se modifique, así como su intensidad.

La presente investigación permite conocer parámetros para su implementación práctica, así como ayudar a determinar características físicas que permiten optimizar el proceso.

Se logró conocer el comportamiento del calentamiento en la geometría de manera multifísica permitiendo incluir un mayor número de parámetros, los cuales se pretenden sensorlos en un prototipo experimental e ir afinando el modelo en un trabajo futuro.

La implementación del método de elemento finito permite mostrar los resultados del calentamiento volumétrico mediante vectores, líneas de flujo o superficie, lo cual facilita su interpretación. En la Figura 3, se muestra la temperatura resultante a los 5 minutos tanto en el interior como en el exterior del objeto. Con este resultado se denota que el método de calentamiento resulta eficiente, ya que en poco tiempo se logran temperaturas elevadas hasta 685.43 °C. Además se logra percibir una de las características importantes del calentamiento volumétrico a través de microondas, y consiste en que el calentamiento se

transmite desde el centro del objeto hacia su exterior [3]. Se desarrolla el prototipo mostrado en la Figura 2, el cual posee una solicitud de registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial [4].

Por último la transferencia tecnológica se realiza mediante la OTC de la UPPue con la empresa Rotoinnovación S.A. de C.V., quién será la encargada de explotar comercialmente la tecnología considerando los acuerdos establecidos en el convenio correspondiente.

Como trabajo futuro la empresa Rotoinnovación S.A. de C.V., pretende seguir colaborando bajo este modelo de Gestión Tecnológica para incorporar nuevas tecnologías en el proceso de fabricación de productos plásticos mediante rotomoldeo.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero por parte de Conacyt a través de los proyectos: Ciencias Básicas No. 132461, Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación No. 175990 y Fondo de Innovación 178949.

Formatted: Spanish (Mexico)

6 REFERENCIAS

Formatted: English (United States)

[1] Meredith, Roger. *Engineers' Handbook of Industrial Microwave Heating*. England: Short Run Press Ltd., Exeter, 1998.

[2] Pozos Osorio J. et. al. *Oficina de Transferencia de Conocimiento de la Universidad Politécnica de Puebla, Plan de Desarrollo Estratégico*. Universidad Politécnica de Puebla. 2013.

Formatted: Spanish (Mexico)

[3] Pozos Osorio J., Flores Galindo F. J., Luna Castellanos A., Juárez Rodríguez N. *Análisis Multifísico del Calentamiento Volumétrico con Microondas*. SOMI XXVII Congreso de Instrumentación. ISBN: 978-607-02-4363-9. Culiacán, Sinaloa, México. 2012.

[4] Pozos Osorio J., Juárez Rodríguez N., Luna Castellanos A. *Proceso y Dispositivo de Rotomoldeo por por Microondas*. Solic. Pat. MX/E/2012/092315. México. 2012.

[5] Smyth, N. F. *The Effect of Conductivity on Hotspots*, J. Austral. Math. Soc. Ser. B 33, págs. 403-413. 1992.

[6] Pozos Osorio, Joel; Juárez, Nicolas; Sánchez Pedro. *A new focus on temperature evaluation for gas saving in a rototational moulding oven*. Journal ANTEC 2011. ISBN: 0-9753707-9-0. Boston, Massachusetts, USA. 5 de mayo de 2011.