
Diseño de bobina de calentamiento por inducción para alimentación de material metálico en impresora 3D

Mauricio Alejandro Solís Rodríguez¹, David Atayde Campos¹,
Enrique Barrón López¹, Javier Molina Salazar¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Los impulsos en los avances de la tecnología siguen sorprendiendo al mundo, permitiendo que toda la sociedad se beneficie de ella mejorando las condiciones de vida y facilitando cada vez más las actividades del ser humano. Un ejemplo se presenta con la era digital, donde la era analógica permitió el descubrimiento de las primeras computadoras sirviendo como lanzamiento para el factor digital en donde se desarrollan las computadoras de escritorio y personales. Ahora bien, el proceso de fabricación en el sector industrial también se vio beneficiado al implementar máquinas controladas por computadora capaces de ser programadas para realizar sus tareas, dando origen al control numérico.

Tal es el caso de las máquinas controladas por computadora para impresión de prototipos rápidos, que si bien apenas está iniciando, ya está llamando mucho la atención y la demanda está creciendo en proporciones desmesuradas. La tecnología innovadora surgida por el desarrollo de las impresoras 3D ha sido una gran contribución para el diseño del producto, análisis de ingeniería, flexibilidad en mejoras de diseño, disminución en los plazos de producción, entre otros aspectos. Además, propicia la creación de modelos de mecanismos o estructuras complejas, difíciles y costosas de fabricar con las técnicas convencionales.

El proceso de impresión en 3D es similar al de las impresoras de papel, debido a que se va depositando material fundido capa por capa para obtener un objeto tridimensional. El método por adición que ofrece la mayoría de las impresoras 3D utiliza polímeros para sus piezas destacando el ABS y PLA, siendo fáciles de maniobrar, con una baja temperatura de fusión. Sin embargo, se limita su uso a la fabricación de prototipos o diseño, sin la posibilidad de utilizar la pieza en el entorno para el cual se pensó crear. Por lo tanto, en este artículo, se presenta una propuesta de un método para diseñar una bobina de calentamiento por inducción con la intención de poder implementar materiales metálicos en la impresión 3D. Para resultados de ésta investigación, se llevaron a cabo pruebas con el estaño, teniendo interés para trabajar con aluminio en futuras investigaciones.

Palabras clave: impresora 3D, bobina de calentamiento, campo electromagnético, mosfet, temperatura.

Introducción

Las impresoras 3D son máquinas que tienen la capacidad de fabricar en tres dimensiones los modelos diseñados por software de CAD

(Computer Aided Design), con la finalidad de poder visualizar la pieza realizada. Sin embargo, las impresoras 3D dependen de

una computadora, ya que son ellas las que contienen el archivo digital obtenido del CAD con extensión STL (STereoLithography), para su uso en la impresión como prototipo rápido; inclusive, existen máquinas en el mercado que pueden imprimir en código G, generado mediante un equipo CAM (Computer Aided Manufacturing) (Bak, 2003).

Una de las grandes ventajas de las impresoras 3D es poder realizar un prototipado rápido, el cual consiste en un proceso de fabricación donde se va agregando material capa por capa, hasta llegar a construir una pieza diseñada mediante CAD (ARTURO, 2014). La técnica de impresión en 3D opera en similitud con los métodos convencionales como el proceso de extrusión o el proceso de moldeo por inyección, aunque sin la necesidad de elaborar los moldes para producir la pieza; de esta forma, se puede inferir una reducción de costos en lo que a la necesidad de moldes se refiere, lo que implica un proceso más rápido, flexible y preciso (MakerBot, 2014).

El material, en las máquinas más recientes para la impresión en 3D, es de la rama de los termoplásticos por sus características de rigidez, durabilidad y resistencia al calor. El polímero, es un plástico que se vuelve deformable y de fácil manejo a temperaturas altas; es decir, se derrite cuando se calienta y se endurece cuando se enfría. El método de implementación del material es en forma de filamento. El filamento, generalmente proporcionando como rollo en carrete, es introducido a un sistema de alimentación por

medio de un extrusor encargado de elevarlo a altas temperaturas para llevar a cabo la formación del objeto. Los polímeros que se emplean con mayor demanda son: ABS y PLA. El ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un termoplástico duro, resistente a los impactos y uno de los polímeros más utilizados en la manufactura de adición. Se utiliza en varios productos industriales debido a que sus propiedades mecánicas se mantienen después de haber pasado por altas temperaturas. El PLA (Poliácido Láctico) es un poliéster alifático termoplástico biodegradable. Este material es destacado por su susceptibilidad a la degradación hidrolítica que al combinarse con otros polímeros, resulta ser un material muy resistente (Impresoras 3D.com, 2013).

Por otra parte el empleo de polímeros como material de alimentación para las impresoras 3D se limita solo a la producción de prototipos, y en la industria manufacturera el uso de polímeros, limita la utilización de estas impresiones como se mencionó, a ser un diseño, el cual posteriormente se convertirá en un componente definitivo (Bak, 2003). Debido a que las impresoras 3D actuales están limitadas a la impresión de piezas con polímeros, se presenta un prototipo para impresoras 3D, que sea capaz de generar diseños con materiales metálicos. En esta propuesta, el material a utilizar es el estaño, puesto que es un material de fácil moldeo y bajo punto de fusión, para realizar las pruebas necesarias con las cuales se pueda en un futuro utilizar aluminio como material de extrusión. El propósito de esta investigación, consiste en poder imprimir en

3D, componentes definitivos que incluso puedan ser empleados en etapas de procesado y no solo para la etapa de diseño como se hace en la actualidad.

Este artículo está diseñado por secciones. La sección 2 presenta la teoría referente al uso de inducción electromagnética para calentamiento; también, hace mención de los materiales que se utilizaron para llevar a cabo la investigación. La sección 3 expone

la metodología del desarrollo y la estructura del trabajo realizado. La sección 4 muestra los resultados obtenidos en relación a la respuesta del sistema implementado dando lugar a la demostración del cumplimiento del objetivo plasmado. La sección 5 da lugar a las conclusiones obtenidas al finalizar la investigación después de haber obtenido los resultados de la sección anterior. Por último, la sección 6 lista las referencias empleadas en la elaboración del documento.

Materiales

2.1 Impresora 3D

El modelado sólido 3D ofrece la visualización de un diseño en forma y espacio, facilitando la interpretación mental del esquema; y sobretodo, llegar directamente del modelado tridimensional a la manufactura del producto sin la necesidad de dibujar planos descriptivos de la geometría del cuerpo mejorando en aspectos de productividad, calidad y precisión de dibujo. De esta manera, el individuo podrá experimentar la etapa de diseño desde su generación hasta la representación y creación de un prototipo rápido de forma visual y táctil. (DARIO, 2009)

Las impresoras 3D pueden variar en su forma de operar, dentro de las cuales se destacan las siguientes: método por compactación de una masa de polvo por estratos, que funciona de manera que se inyecta tinta aglomerante al polvo para compactarlo, impresoras 3D láseres, que polimerizan el polvo mediante una

transmisión de energía, posteriormente, al acabar la impresión, se introduce la pieza en líquido para solidificarse, impresoras que se basan en la inyección de polímeros, donde la inyección de resinas líquidas son tratadas con luz ultravioleta, y las que operan por medio de extrusión en caliente de un filamento de plástico. Ésta última, consiste en empujar un hilo de polímero a través de un dispositivo, conocido como extrusor, que se calienta hasta una temperatura capaz de fundir ligeramente el material de plástico utilizado, sin llegar a derretirlo por completo. De tal manera, que al llegar a la boquilla del dispositivo, se expulsa un hilo más fino, de menor diámetro, y lo va depositando en una base. Posteriormente, al encontrarse la base a una temperatura caliente, el material extruido se adhiere y así la máquina puede ir creando la pieza capa a capa. (MARCO, 2012)

Existe en el mercado, una gran oferta de impresoras 3D que varían tanto en su modo de operación, estructura y software. Para

fines de esta investigación, se optó por trabajar con la máquina “Geeetech Prusa I3 X”, ya que fue diseñada para proporcionar facilidad de uso redefinido, calidad, rendimiento y una gran accesibilidad en el área de impresoras 3D de escritorio. La impresora está fabricada con un marco de acrílico negro cortado con láser. Además, es un kit dentro de lo que se conoce como “hazlo tú mismo”, proporcionando una experiencia de aprendizaje inolvidable paso a paso desde cero. (Geeetech, n.d.)

2.1.1 Extrusor

El extrusor es el ensamble de componentes encargado de alimentar la impresora 3D con el filamento de plástico, para fundirlo y empujarlo a través de la boquilla con la finalidad de acumular el material sobre la base a alta temperatura para formar la pieza capa a capa. La parte básica de un extrusor es un husillo o tornillo que gira dentro de un barril o cilindro, y es capaz de empujar el material, a una velocidad específica. Cuando el termoplástico se alimenta al extrusor, el tornillo lo empuja hacia delante a lo largo del barril, donde existe un proceso de calentamiento y lo transforma en fluido, para pasar a la etapa de dosificación que sucede al momento de la salida del hilo de plástico. (MakerBot, 2014)

2.2 TERMOPLÁSTICOS

2.2.1 ABS

El ABS es un polímero termoplástico compuesto por tres monómeros que se combinan para dar como resultado una de las sinergias más usadas en el comercio. El

acrilonitrilo aporta una gran resistencia química, buena resistencia a la fatiga, dureza y rigidez. El butadieno, agrega buena tenacidad y resistencia al impacto. Por otro lado, el estireno contribuye con resistencia al calor, aumenta su procesabilidad, dureza, rigidez y permite la adición de color. (ALBERTO, 2013)

2.2.2 PLA

El PLA es un poliéster termoplástico alifático que procede de recursos renovables como pueden ser los restos de maíz, las raíces de tapioca, trozos de madera o de caña de azúcar. Es un termoplástico rígido que puede ser semicristalino o totalmente amorfo. Se caracteriza por sus excelentes condiciones organolépticas y es que está fabricado por un proceso de fermentación con la totalidad de los materiales provenientes de recursos renovables siendo un polímero biodegradable. (ALBERTO, 2013)

2.3 Calentamiento por inducción

La producción de calor mediante inducción electromagnética es un método eficiente y sin contacto, suministrando un incremento de temperatura oportuno y localizado. En este sentido, la geometría de la bobina de inducción determina el patrón de calentamiento, por lo que su diseño es de suma importancia en relación a las formas y volúmenes de materiales que pueden ser usados bajo su acción. (Science, Science, Unipd, Rfx, & Uniti, 2013)

El proceso de calentamiento por inducción ocurre cuando un conductor es alimentado

por una fuente de fuerza electromotriz capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos para inducir una corriente eléctrica que a la vez genera un campo magnético. De esta manera, se hace referencia a la Ley de Ampere, que dice: si en un inductor (bobina enrollada de un conductor), se aplica una corriente eléctrica, se generará un campo magnético con cierta amplitud y distribución (1). Por lo que la intensidad del campo magnético dependerá de la cantidad de vueltas o enrollado del conductor.

$$N \cdot I = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H \cdot l \quad (1)$$

Al mismo tiempo, los fenómenos electromagnéticos pueden ser representados por las ecuaciones de Maxwell (2), (3), (4) y (5).

$$\epsilon_0 \cdot \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q \quad (2)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (3)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (4)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(\epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt} + i \right) \quad (5)$$

Considerando que la corriente aplicada al conductor es variante en el tiempo, por consecuencia el campo generado también lo es dando como resultado un flujo magnético variable. Aplicando la Ley de Faraday en un conductor sometido a un flujo magnético variable se generará una fuerza electromotriz (6).

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\phi_B}{dt} \quad (6)$$

La fuerza electromotriz inducida en el interior del conductor, genera una corriente inducida (corriente de Foucault) responsable del calentamiento, por efecto de Joule (7).

$$P = i_f^2 \cdot R_{eq} \quad (7)$$

En un arreglo para calentamiento por inducción, se tiene una fuente de alimentación encargada de generar una corriente que atraviesa al inductor (bobina de cobre) y la pieza a calentar se coloca dentro de la bobina. De este modo, la bobina de inducción es el equivalente al primario del transformador, mientras que la pieza a calentar es el equivalente al conjunto núcleo-secundario. Al secundario se suma una resistencia en paralelo equivalente a la resistencia de la pieza a calentar. El efecto se da cuando la pieza metálica tiene contacto con el campo magnético, induciendo las corrientes de Foucault en la pieza. La relación de transformación será igual al número de espiras que tenga la bobina de inducción, debido a que el objeto a calentar se comporta como un secundario de una sola espira que alimenta a una resistencia. (WINDER, 2008)

2.3.1 Inductor

Los inductores son componentes diseñados para ser empleados en determinadas aplicaciones con el propósito de oponerse a cambios bruscos en la corriente que los atraviesan y así efectuar una función de control. Un inductor primario consiste en una o varias espiras de alambre conductor, las cuales son atravesadas por una corriente, reaccionando ante cualquier variación de

ésta. La inductancia es la propiedad que las posee y el coeficiente de autoinducción a la velocidad de variación de la corriente se expresa en Henry (H). (CLAUDIO, 2001)

2.3.2 Toroide

Un toroide permite mantener las oscilaciones a alta frecuencia fuera de fuente de alimentación, y limita la corriente a valores aceptables. El valor de inductancia del toroide debe de ser muy alto para soportar toda la corriente proporcionada, ya que si no es suficiente, las oscilaciones en el circuito no serán posibles. Un toroide tiene un campo magnético en el interior de sí mismo, y la fuerza de este campo magnético depende de la cantidad de vueltas aplicadas sobre él. (RMCybernetics, n.d.)

2.3.3 Banco de Capacitores

El capacitor es un dispositivo capaz de almacenar una carga eléctrica. Su estructura básica consiste en dos placas metálicas que poseen cargas iguales pero de signo opuesto separadas entre sí y aisladas una de la otra por un material aislante llamado dieléctrico. Las cargas eléctricas opuestas se atraen entre sí por una fuerza cuya intensidad se calcula mediante la ley de Coulomb, cuya fuerza dependerá de la intensidad del campo eléctrico y del voltaje entre las cargas. Por lo tanto, la capacitancia es la cantidad de carga que una determinada configuración puede almacenar por cada volt de diferencia de potencial que existe entre los cuerpos. Su unidad de medida es el Faradio (F). (SERWAY, n.d.)

2.3.4 Mosfet

El FET de semiconductor óxido metal (MOSFET), tiene un gatillo, fuente y drenador, y los de tipo de enriquecimiento se utilizan como interruptores de potencia, que significa conectar y desconectar corrientes grandes. Cuando la tensión del gatillo es nula, la corriente entre la fuente y el drenador es nula, por esta razón está normalmente en corte cuando la tensión del gatillo es cero. La única manera de obtener corriente es mediante una tensión del gatillo positiva, cuando la tensión del gatillo es lo suficientemente positiva, todos los huecos próximos al dióxido de silicio desaparecen y los electrones libres empiezan a circular desde la fuente hacia el drenador. (PAUL, 2000)

2.3.5 Diodos Schottky

Al conmutar un diodo de directa a inversa, las cargas almacenadas podrán circular en la dirección inversa durante un breve periodo de tiempo, permitiendo una conducción apreciable llamada colas cerca del comienzo del semiciclo inverso a altas frecuencias, y si la frecuencia continua aumentando, el rectificador se hace inservible. Por lo tanto, el diodo Schottky, usa un metal en un lado de la unión y silicio dopado en el otro. El metal a un lado de la unión provoca que el diodo Schottky no tenga zona de depleción, y dicha carencia significa que no hay cargas almacenadas en la unión. La ausencia de almacenamiento de carga implica que el tiempo de recuperación inverso tienda a cero, por lo cual puede cortarse más rápidamente que un diodo ordinario, permitiendo que el gatillo del mosfet se

Método

La industria manufacturera es considerada como la base de la economía nacional de diversos países para el desarrollo de su riqueza y poder adquisitivo. Las exigencias y evolución de la humanidad, han hecho de la manufactura una actividad primordial para sustentar los bienes y artículos que se usan día a día, siendo el maquinado de metales una de las divisiones con mayor demanda para la fabricación de piezas, equipos o herramientas. Sin embargo, el proceso para obtener la pieza deseada sigue dependiendo de la realización de un dibujo, interpretación de los planos, validación y aceptación, desarrollo y liberación del diseño, implementación del prototipo, modificaciones en caso de ser necesario, y por último, la fabricación del objeto, viéndose afectados los parámetros de mayor importancia para una empresa como son la productividad y la calidad. Es por ello, que al contar con la oportunidad de imprimir una pieza en 3D del material que debe ser, en este caso material metálico, se podría utilizar ese objeto para su propósito final favoreciendo a la industria en disminución de tiempos en su proceso. Es decir, la impresión en 3D con materiales metálicos ofrecería muchas ventajas de las que se ofrecen actualmente.

En ese sentido, la metodología aplicada se basó en el modo de operación de un transformador de corriente alterna para

lograr obtener un modelo eléctrico equivalente entre la bobina de cobre y la pieza. Como se mencionó anteriormente, la relación de transformación de energía depende únicamente de la relación de vueltas del primario, que en este caso sería la bobina, ya que el secundario que es la pieza se considera con una relación de una vuelta. Por esta razón, el tipo de fuente de poder debe de tener la capacidad de entregar la suficiente potencia y frecuencia de trabajo exigida por el circuito para lograr el desempeño esperado.

3.1 Generación de Calor

Para lograr incrementar la temperatura de un material, es necesario determinar la energía en forma de calor Q demandada por un cuerpo de masa m y capacidad calorífica c , capaz de aumentar su temperatura desde una temperatura inicial T_i hasta una temperatura final T_f (8).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = m \cdot c \cdot (T_f - T_i) \quad (8)$$

Donde la masa m de la pieza a calentar, está dada por la relación que existe entre la densidad y volumen del objeto (9).

$$m = \rho \cdot v \quad (9)$$

La cantidad de calor Q expresada en (8), puede ser representada por medio de la Ley de Joule, como la tasa de potencia eléctrica

entregada a la pieza durante un período de un segundo (10).

$$Q = i_f^2 \cdot R_{eq} \cdot t = P \cdot t \quad (10)$$

3.2 Fuente de alimentación

La potencia para la operación del circuito depende directamente de la energía entregada por la fuente de poder o transformador encargado de proveer la corriente inducida a la bobina con la intención de generar el campo magnético necesario para llegar a la temperatura propuesta de la pieza introducida. En este proyecto, se utilizó una fuente de poder existente en el mercado que suministra 24V de corriente directa con una capacidad de 15A, logrando obtener una potencia de 360Watts de potencia, esto sin considerar las pérdidas de potencia. La cantidad de corriente proporcionada varía con la temperatura y el tamaño del objeto a calentar.

3.3 Diseño de bobina como inductor

En cuanto al diseño de la bobina de inducción se refiere, la información teórica entre las diversas fuentes bibliográficas no se puede plasmar tal cual debido a que varios aspectos pueden variar para cada una de las aplicaciones, a lo cual se puede experimentar para obtener el resultado esperado. No obstante, las dimensiones para la geometría de la bobina se pueden calcular en relación al diámetro del conductor, el diámetro y la longitud de la bobina. Debido a la capacidad de concentrar flujo magnético en su interior y a la factibilidad de construcción, la geometría elegida fue de

tipo solenoide con 10 espiras y sección transversal circular sólido, con un diámetro de 2.588mm, conocido como alambre de cobre calibre 10. El conductor elegido fue de cobre gracias a la baja resistividad eléctrica, maleabilidad y bajo costo comercial. La longitud del alambre de cobre para la bobina, se calculó en base al diámetro interno del inductor (11).

$$l_{alambre} = \pi \times D \times \text{Numero de espiras} \times 1.2 \quad (11)$$

El valor de 1.2 en (11) se debe a que se agrega un 20% de alambre para las conexiones de las terminales al circuito, por lo que con un diámetro interno de 2.54cm se determinó una longitud de 95.76cm de alambre de cobre para la bobina.

3.4 Desarrollo de Esquemático Eléctrico

El circuito utilizado es un tipo de resonancia colector oscilador que tiene las ventajas de simplicidad y operación de resonancia propia. El circuito es similar a los aplicados en circuitos inversores comunes que se usan para la alimentación de la iluminación fluorescente como la luz de fondo de LCD. Pero en este circuito calentador de inducción se requiere de un toroide devanado para poder crear un campo de corriente alterna de una sola fuente de alimentación de corriente directa y dos transistores de tipo N. El centro de la bobina está conectado a la alimentación positiva por medio del toroide, mientras que cada extremo del inductor de cobre esta alternativamente conectado a tierra por los transistores de manera que la corriente fluirá de atrás y adelante en ambas direcciones, el

circuito se observa en la figura 1.

(RMCybernetics,

n.d.)

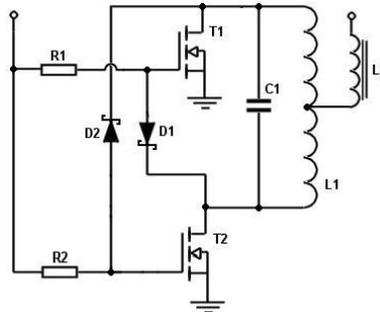


Figura 1. Esquemático eléctrico

El circuito consiste en dos resistencias R1 y R2 de 270ohms, es un valor de resistividad bajo para permitir que los mosfet se puedan activar rápidamente pero no tan bajo que para que vaya a tierra por medio del diodo cuando el transistor contrario se active. Al igual se usaron componentes como dos diodos Schottky 1N5819, dos transistores Mosfet de canal N FDP51N25 y un banco de capacitores con un total de 6.68mf.

3.5 Carga (Pieza)

Las condiciones del estaño son muy favorables para considerarlo como material de carga en el proceso de fundición, ya que es dúctil, se le puede dar forma fácilmente a temperaturas normales, se mezcla fácilmente con otros metales para formar aleaciones, y sobretodo un punto de fusión bajo de 231°C.

3.6 Pruebas de laboratorio

Una vez construido el circuito, se realizaron diversas pruebas para validar el incremento

de temperatura en el sistema debido al campo magnético y la interacción entre la pieza colocada dentro de la bobina y ésta misma. Los ensayos llevados a cabo mostraron la efectividad de la respuesta y por consiguiente, si se tuvo un cambio en la temperatura del material a fundir, midiendo los datos con dos instrumentos: por medio de un termopar conectado a un multímetro de medición de temperatura tope de 450°C y una pistola de cámara térmica marca Fluke Ti-400 cuyo rango llega a los 1500°C. Aunque la adquisición de la información con el multímetro fue buena, la temperatura excedió su nivel máximo y es por ello que se tuvo que utilizar la cámara térmica, que no tiene una gran resolución dado el amplio rango que maneja, pero que si proporcionó los datos necesarios para llegar a una conclusión. Los resultados obtenidos se presentarán en la sección 4.

Resultados

Teniendo en cuenta, la respuesta del sistema y conociendo que la fuente de poder proporciona una potencia de 360watts, sin considerar las pérdidas de energía que se pudieran tener, y aplicando la alimentación por 30 segundos, se puede asegurar la

cantidad necesaria de energía para llevar a cabo la fundición de estaño. Por consiguiente, el circuito es capaz de elevar la temperatura en la carga para lograr el objetivo, como se muestra en la figura 2.

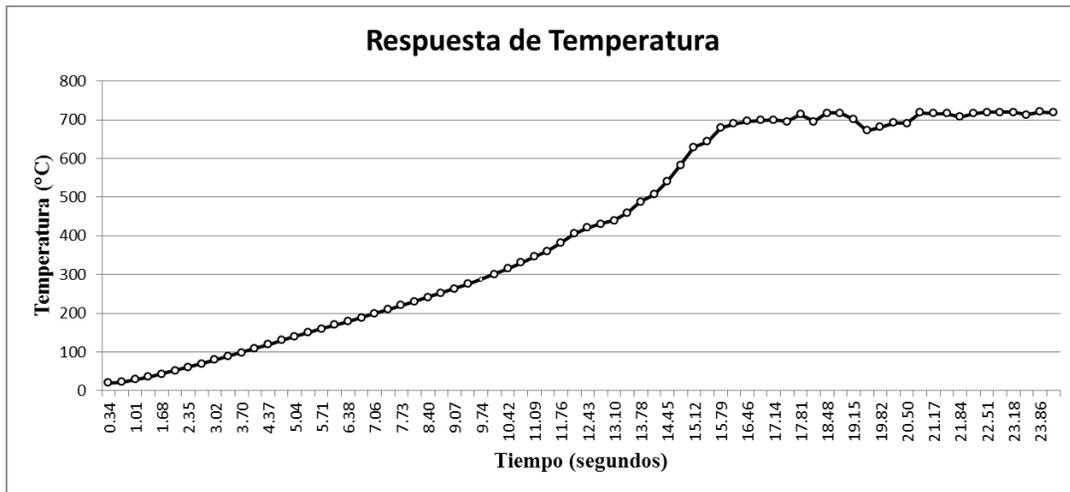


Figura 2. Gráfica de temperatura en la carga

La temperatura máxima alcanzada en la carga fue de 720°C, lo que significa que se logró llegar y sobrepasar el punto de fusión del estaño de 231°C, y también se puede verificar que el punto de fusión de aluminio de 660°C se encuentra dentro de éste rango. A pesar de los resultados, la energía en

forma de calor se encuentra limitada por la cantidad de masa introducida en la bobina; esto es, solo pequeñas cantidades de masa pueden ser empleadas y materiales como el aluminio exigen una fuente de poder de alimentación mayor a la utilizada en esta investigación, puesto que se necesita más potencia.

Conclusiones

Existimos en una época en donde el nuevo descubrimiento que está revolucionando

todo en ese instante, rápidamente podrá quedar en desuso o ser obsoleto por el

surgimiento de algo más innovador, quedando en el pasado sin relevancia, ya que el hombre es el encargado de seguir adelante ofreciendo nuevas ideas o proyectos. De la misma forma, las técnicas empleadas en la actualidad por las impresoras 3D y los materiales utilizados pueden irse modificando para desarrollar nuevos avances que cumplan con las exigencias del mercado en ese instante.

Así pues, los resultados obtenidos en la investigación realizada, muestran que el diseño de la bobina de calentamiento por inducción presentada si cumple con el objetivo, y se concluye en base a la gráfica de temperatura que se tiene la suficiente información para determinar que la propuesta es viable para fundir pequeñas masas de estaño.

Recomendaciones

En el sentido de continuar adentrándose en el tema de ésta investigación y seguir trabajando para desarrollar nuevas propuestas, se hacen las siguientes recomendaciones:

La fuente de poder debe de ser de mayor capacidad para poder entregar una corriente inducida de mayor valor y poder llevar a cabo la fundición de masas de mayor escala.

Al momento de colocar una masa considerable, se pudo visualizar como se caía el voltaje para tratar de compensar la exigencia de corriente que demandaba el circuito, siendo imposible inducir el campo magnético. Aunado a esto, se encuentra el inconveniente de no considerar las pérdidas de energía de la fuente por radiación o el entorno. Por lo tanto, se hace la sugerencia de emplear un transformador con devanados para altas corrientes en lugar de emplear una fuente de poder de alimentación.

También se hace la observación de utilizar tubería de cobre en lugar de alambre de cobre, para la bobina de inducción, ya que al tener una tubería hueca, se puede implementar un sistema de refrigeración basado en agua pasando a través de ella, eliminando una gran pérdida de calor por calentamiento de la bobina.

Por último, es importante tomar en cuenta el aislamiento de la bobina al momento de su funcionamiento, porque después de fundir el material, se debe tener un recipiente que mantenga el metal fundido, ya que su proceso de solidificación a temperatura ambiente es casi inmediato. Por lo tanto, es necesario implementar un mecanismo que integre la bobina con el método de inyección del material para la formación del objeto físico.

Referencias

alberto, R. P. A. (2013). Estudio Comparativo De Piezas De Abs Y Pla Procesadas Mediante Modelado Por Deposicion Fundida.

Arturo, M. G. M. (2014). Impresora 3d Por Extrusion De Plastico. Instituto Tecnologico Metropolitano.

Bak, D. (2003). Rapid Prototyping Or Rapid Production. 3d Printing Processes Move Industry Towards The Latter. Assembly Automation, 23(4), 340–345. [Http://Doi.Org/10.1108/01445150310501190](http://doi.org/10.1108/01445150310501190)

Claudio, R. P. (2001). Componentes Electronicos Teoria Constructiva, Montajes Y Circuitos Tipicos.

Dario, M. R. (2009). Prototipos Rapidos Y Reflexion Critica Como Herramientas Para Enseñar El Diseño Cad 3d-2d. Graphica'09, 1–13.

Geeetech. (N.D.). Geeetch Prusa I3 X. Retrieved September 11, 2015, From [Http://Www.Geeetech.Com/Wiki/Index.Php/Prusa_I3_X](http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Prusa_I3_X)

Impresoras 3d.Com. (2013). Abs Y Pla: Diferencias, Ventajas Y Desventajas. Retrieved From [Http://Impresoras3d.Com/Abs-Y-Pla-Diferencias-Ventajas-Y-Desventajas/](http://impresoras3d.com/abs-y-pla-diferencias-ventajas-y-desventajas/)

Makerbot. (2014). Replicator 2- Desktop 3d Printer. Makerbot, 9. Retrieved From [Https://Store.Makerbot.Com/Replicator2](https://store.makerbot.com/replicator2)

Marco, E. I. (2012). Cosntruccion De Una Impresora 3d Open Source.

Paul, M. A. (2000). Principios De Electronica.

Rmcybernetics. (N.D.). A Diy Induction Heater. Retrieved From [Http://Www.Rmcybernetics.Com/Projects/Diy_Devices/Diy-Induction-Heater.Htm](http://www.rmcybernetics.com/projects/diy_devices/diy-induction-heater.htm)

Science, M., Science, F., Unipd, A., Rfx, C., & Uniti, C. S. (2013). Design And Construction Of Coils For, 28–37.

Serway, R. A. (N.D.). Electricidad Y Magnetismo.

Winder, G. (2008). Diseño Y Construcción De Bobina De Calentamiento Por Inducción Para Fundición De Titanio.