

OBTENCIÓN DE METALES CELULARES DE PORO ABIERTO UTILIZANDO MATERIALES CERÁMICOS COMO PREFORMA REMOVIBLE

Juan Fernando Díez*, Lucas Giraldo*, Patricia Fernández**†

**Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, Bloque 11, Medellín, Colombia*

***Facultad de Ingeniería Industrial, Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales, Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, Medellín, Colombia*

Recibido 06 Noviembre 2013; aceptado 10 Marzo 2014

Disponible en línea: 30 Julio 2014

Resumen: Este trabajo reporta un método novedoso para la obtención de esponjas metálicas tipo placa. Se proponen dos nuevas posibilidades dentro del proceso en el que se obtienen placas de esponjas gracias a la utilización de material cerámico como preforma soluble y en el que se obtienen esponjas metálicas tipo placa por infiltración positiva, con piel en una o ambas caras. Se describe la evolución del método desarrollado a partir del estudio de las propiedades de las esponjas de aluminio obtenidas por el método de infiltración de preformas solubles o IPS en la UPB.

Palabras clave: Metal celular, IPS, Infiltración positiva, Aluminio, Preforma cerámica

CELLULAR METALS WITH OPEN POROSITY OBTAINED BY CERAMIC MATERIALS AS REMOVABLE PREFORM

Abstract: This paper reports a novel method to obtain open pore cellular metals in plates. Two new possibilities for the process are proposed in which plates of metallic sponges are obtained through using ceramic material as a soluble preform, and the infiltration of it using positive pressure to obtain sponges in plates with a layer of solid skin in one or both faces. The evolution of this method is developed within the investigation in the UPB around obtaining and studying the properties of aluminum sponges manufactured by the Soluble Preform Infiltration method (SPI).

Keywords: Cellular metal, SPI, Positive infiltration, Aluminum, Ceramic preform

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales de ingeniería tales como los metales celulares, constituyen una nueva e interesante clase de materiales que ofrecen una gran variedad de posibilidades en aplicaciones estructurales y funcionales que de una u otra manera podrían reemplazar los materiales utilizados en la actualidad en muchas de ellas,

buscando mejorar algunas de sus características de desempeño. Estos materiales innovadores poseen una serie de propiedades físicas y mecánicas que los destacan frente a otros, entre ellas: su baja densidad, alta permeabilidad y gran capacidad de absorción de energía de deformación, lo que los clasifica como materiales multifuncionales ([Banhart, 2001](#)).

† Autor al que se le dirige la correspondencia:

Tel. (+57 4) 4488388 ext. 13291.

E-mail: patricia.fernandez@upb.edu.co (Patricia Fernandez).

En este trabajo se reporta un método novedoso para obtener metales celulares de poro abierto (esponjas metálicas) bajo la técnica de infiltración de preforma soluble y con el uso de materiales cerámicos como preforma para la infiltración. Este trabajo surge de las necesidades y dificultades encontradas en el desarrollo de la investigación para la obtención y estudio de las propiedades de las esponjas de aluminio obtenidas por el método de infiltración de preformas solubles o IPS realizada hasta la fecha en la UPB. Se describe el funcionamiento del sistema de infiltración y se reportan los resultados obtenidos, ilustrando las placas de esponjas luego de su mecanizado y remoción de la preforma. Se reportan algunas de las principales características estructurales del material obtenido, tales como: su densidad, tamaño promedio de poro y cantidad de poros por pulgada PPI.

Se realizan algunas observaciones al método a fin de establecer su potencial optimización y pronta expansión a escalas superiores de producción, así como algunas aplicaciones posibles para el material desarrollado.

2. GENERALIDADES DE LOS METALES CELULARES

Un metal celular es en esencia un metal que contiene poros en su interior, los cuales pueden o no estar interconectados entre ellos y en general está constituido por bordes que a su vez definen la geometría interna y tamaño de dicho poro. Cuando los poros no se conectan entre sí, significa que son poros cerrados y el metal celular se denomina espuma metálica, por el contrario, cuando sí se comunican entre ellos, significa que son poros abiertos y el material se denomina esponja metálica ([Simancik et al., 1997](#)). Tanto el tamaño de poro, la geometría del borde de celda así como el porcentaje de porosidad del material celular, determinan mayormente las propiedades físicas y mecánicas del mismo, así como el comportamiento ante diversas condiciones ([Fernández et al., 2007](#)).

Entre las décadas de los 40's y 60's, se desarrollaron las primeras investigaciones en torno a estos materiales, con infiltraciones de aleaciones de aluminio y níquel ([Zweben, 2002](#)). Las primeras aplicaciones de estos materiales eran de carácter estructural y buscaban mejorar aspectos como el consumo de combustible para

vehículos aéreos, navales y terrestres; reduciendo el peso de la estructura de estos vehículos, sin sacrificar, o muchas veces incluso incrementando las propiedades mecánicas de dicha estructura ([Degisher y Kriszt, 2002](#)). Observaciones y estudios posteriores con estos materiales han propendido por la expansión de su campo de aplicación y han impulsado nuevas soluciones ofrecidas por este versátil material.

Tanto las esponjas como las espumas metálicas presentan características físicas similares que las destacan entre otros materiales, tales como su baja densidad relativa, alta capacidad de deformación y absorción de energía de impacto, así como la capacidad de absorción de vibraciones mecánicas y acústicas ([Ashby et al., 2000](#)). Sin embargo, una de las características fundamentales que diferencian las esponjas de las espumas metálicas es la capacidad que tienen las primeras para ser permeadas por fluidos líquidos o gaseosos dada su condición de poseer poros abiertos, lo cual permite el transporte y manipulación de dichos fluidos en el interior de las esponjas, sin comprometer en gran medida aquellas ventajas compartidas con sus pares de poro cerrado. Esta característica permite vislumbrar aplicaciones para las esponjas metálicas en el campo de transporte de gases, intercambiadores de calor para líquidos y gases, catalizadores para tubos de escape, filtros, entre otras ([Chou y Song, 2002](#)).

En la UPB surge la primera investigación en este tema, obteniéndose esponjas cilíndricas fabricadas con sal común como preforma y utilizando presión negativa para la infiltración ([Fernández et al., 2007](#)). Con el fin de expandir las posibilidades de aplicación de este material, se inició con la tarea de fabricar placas de esponjas de aluminio bajo la misma técnica.

En la actualidad existen pocas técnicas de obtención de esponjas metálicas documentadas en estudios e investigaciones, sin embargo una de las más comunes como la Infiltración de Preforma Soluble o Removible IPS, está ampliamente detallada por varios autores, mientras que las técnicas de obtención de otros de materiales de ingeniería como los compuestos celulares o fibrosos ([Zweben, 2002](#)) pueden ser adaptadas a la fabricación de esponjas metálicas por IPS ([Daza y Oviedo, 2009](#)).

2.2 Técnicas de fabricación de esponjas metálicas por IPS

Algunas técnicas de fabricación para materiales celulares y compuestos se describen a continuación, ilustrando sus principios de funcionamiento básico.

2.2.1 Infiltración por gravedad

Se busca que el metal base fluya a través de la preforma por acción de la gravedad, desplazando los gases contenidos en las cavidades de la preforma y llenando los espacios vacíos dentro de ésta (Campbell, 2003). Se debe garantizar que tanto la fluidez del material base, la mojabilidad de éste sobre la preforma y el escape de los gases contenidos dentro de ésta, así como el tamaño de preforma sean los adecuados para garantizar un llenado completo (Tong et al. 2002). Esta técnica no se recomienda para la fabricación de esponjas metálicas con preformas granulares regulares en tamaños inferiores a 2mm (Daza y Oviedo, 2009). Ver Fig. 1 donde se esquematiza el proceso descrito.

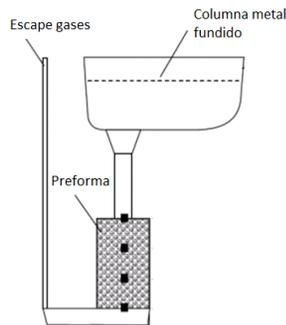


Fig. 1. Infiltración por gravedad y presión hidrostática (Daza y Oviedo, 2009)

2.2.2 Infiltración por Micro-fusión

Esta técnica involucra básicamente dos procesos de infiltración. El primero consiste en sumergir en barros refractarios, una estructura celular polimérica con una geometría interna definida, normalmente resinas fenólicas, yeso o bases de calcio. Luego de solidificar el cerámico, usualmente a altas temperaturas para que su rigidez le permita soportar los esfuerzos de la segunda infiltración, la cual se produce cuando se elimina la preforma polimérica para así dejar expuestos espacios vacíos entre la matriz

cerámica para luego ocuparlos con el metal fundido. Por último, cuando haya solidificado el metal, se remueve la matriz cerámica y así éste adopta la geometría de la estructura celular inicial. En la Fig. 2 muestra los pasos de ésta técnica, con la cual es posible controlar o adaptar arbitrariamente la geometría de la preforma polimérica y por ende la de la esponja finalmente obtenida (Banhart, 2001).

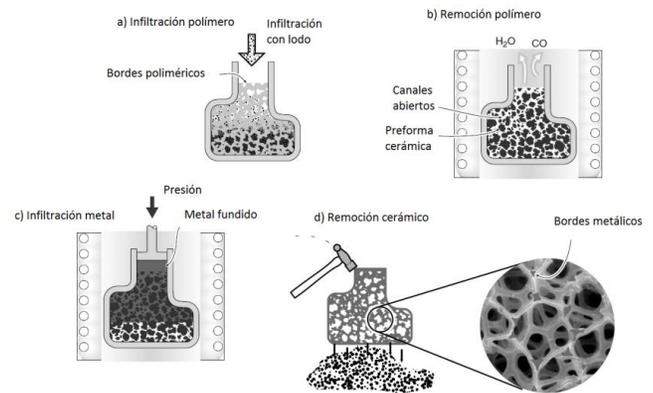


Fig. 2. Esquema proceso de obtención de esponjas metálicas por micro-fusión (Ashby et al., 2000).

2.2.3 Infiltración por aceleración centrífuga

Este método es aplicado a piezas de poco tamaño y geometría compleja donde la acción de la gravedad no es una opción válida. Consiste en inducir el paso del material base a través de la preforma por acción rotacional del molde, aprovechando la fuerza generada por la aceleración centrífuga del metal base que de esta manera se desplaza ocupando los espacios en la preforma (Banhart, 2001), tal como se muestra en la Fig. 3 (Nishida y Ohira, 1999).

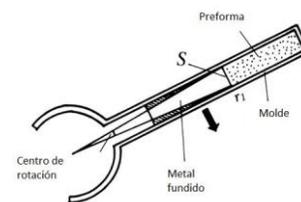


Fig. 3. Esquema de infiltración por aceleración centrífuga (Nishida y Ohira, 1999)

2.2.4 Infiltración por succión o presión negativa

Es un método utilizado en la fabricación de materiales compuestos, y ha sido implementado exitosamente en la fabricación de esponjas de aluminio (Daza y Oviedo, 2009), el cual consiste en llevar el material a su punto de fusión y luego gracias al diferencial negativo de presión, se logra que el líquido infiltre el refuerzo. El escape de los gases garantiza la infiltración completa de la preforma (Campbell, 2003), la Fig. 4 muestra el arreglo previo a la infiltración.

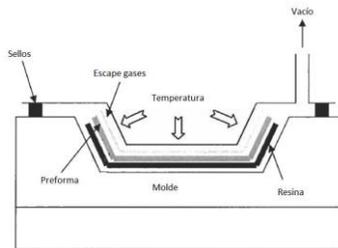


Fig. 4. Esquema principio de infiltración por RFI (Tong et al., 2002)

2.2.5 Infiltración con empuje o presión positiva

En esta técnica se ejerce presión sobre material matriz para obligarlo a penetrar el refuerzo. Principalmente se recurre a la energía mecánica en forma de tornillos o pistones, o a la neumática al confinar gas presurizado para generar el trabajo necesario que obligue al material matriz a infiltrarse. Este método es ampliamente utilizado en procesos como el de inyección de materiales celulares compuestos, impregnación de fibras de vidrio y en procesos de fabricación de espumas sintácticas de esferas metálicas (Palmer et al., 2007). En la Fig. 5 se esquematiza el proceso de infiltración con la técnica mencionada.

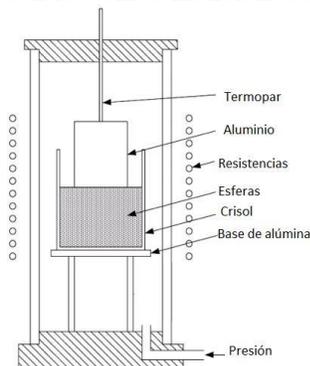


Fig. 5. Esquema montaje obtención de esponjas sintácticas (Palmer et al., 2007).

2.2.6 La preforma en la obtención de los metales celulares

Para la obtención de metales celulares, es necesario que la preforma cumpla ciertos requerimientos básicos que garanticen una infiltración exitosa y un producto final con las características deseadas. En ese sentido, dicha preforma debe soportar las condiciones de temperatura elevada presentes en los procesos de fundición, sin presentar cambios químicos y físicos que puedan afectar la calidad de la esponja resultante (Fernández et al., 2008).

Por otra parte, las condiciones superficiales de la preforma, así como la geometría de las partículas, determinan en mayor medida la facilidad con la que el fluido las infiltra y se adapta a su contorno (Degischer y Kriszt, 2002). La facilidad de la infiltración se verá afectada en diferente forma para partículas de forma esférica que en granos con caras angulares (Goodall y Despois, 2006), siendo más compleja para estas últimas.

Es absolutamente necesario que la preforma sea soluble en algún medio para su remoción, si comprometer la estructura de la esponja. Se espera que la preforma y sus solventes sean agentes poco contaminantes, de bajo consumo energético e idealmente reutilizables (Zweben, 2002). Las preformas más comunes utilizadas en los procesos de obtención de esponjas metálicas son la sal común la cual es altamente soluble en agua (Fernández et al., 2008), las preformas cerámicas de óxido de aluminio solubles en agua y removidas por ultrasonido (Chou y Song, 2002), y preformas de vidrio removidas con ácidos (Banhart, 2001). En este trabajo se propone el uso de una preforma a base de polvos cerámicos altamente solubles en agua y al que se le adicionan agentes también cerámicos como aglomerantes y plastificantes.

3. OBTENCIÓN DE ESPONJAS METÁLICAS CON MATERIAL CERÁMICO COMO PREFORMA

A continuación se describe el proceso planteado con el cual se obtuvieron placas de esponjas metálicas con piel, fabricadas con la técnica de infiltración positiva de una preforma a base de polvos cerámicos. Se describe el principio de funcionamiento del molde de infiltración así

como los pasos básicos en el proceso de obtención de la esponja en aluminio.

3.1 Planteamiento del sistema para el nuevo proceso IPS

Como parte fundamental del sistema, se debe mencionar que para llevar a cabo el proceso, se contó con el uso de los equipos y procedimientos ya existentes en la UPB para la obtención de esponjas metálicas mediante el uso de preformas de sal con presión de vacío. En ese sentido, se recurre entonces a la adaptación del nuevo diseño a los equipos existentes, entre ellos: un horno mufla de 360cm³ de capacidad interna y la red de aire comprimido. Lo siguiente a definir sería el método de infiltración para conseguir esponjas en forma de placas y con un espesor mínimo de 2.5 cm y que aprovechen al máximo las dimensiones internas del horno disponible.

El molde de infiltración y el principio de funcionamiento diseñados para el proceso se ilustran en la Fig. 6. Básicamente el molde funciona como un contenedor en el que el aluminio fundido que no es capaz por sí solo de penetrar la preforma, reposa sobre ella creando una superficie plana en la que el aire presurizado sobre ésta, ejerce una presión uniforme que obliga al líquido a llenar uniformemente los intersticios de los granos de la preforma. Se tiene una salida en la parte inferior del molde por la que se escapan los gases contenidos en la preforma a medida que sus espacios vacíos son ocupados por el metal fundido.

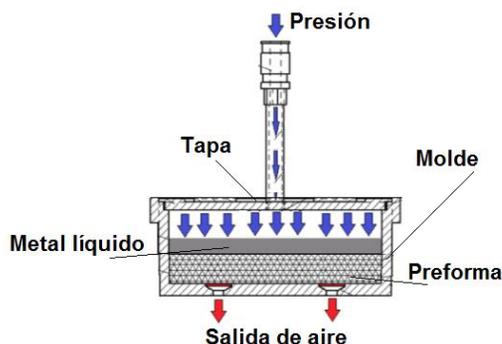


Fig. 6. Esquema molde de infiltración

3.2 Preparación y remoción de la preforma

Las dificultades presentadas con el uso de preforma de sal, tales como su alta corrosividad,

propensión a la aglomeración, y necesidad de tratamiento térmico, dieron lugar a la selección de una preforma alternativa, siendo seleccionado un material cerámico, teniendo en cuenta estudios referenciados en los que se fabricaron preformas cerámicas con polvos de óxido de aluminio plastificado (Chou y Song, 2002).

Para elaborar la preforma, se realizaron mezclas de polvos cerámicos impalpables, aglomerantes y plastificantes, los cuales facilitarían la conformación plástica y evitarían que se perdiera la geometría del grano una vez deshidratado (Chou y Song, 2002). Haciendo uso de la pasta cerámica, se fabricaron láminas de diferentes espesores, las cuales se dejaron secar y luego fueron reducidas y clasificadas en granos de tamaño deseado. En la Fig. 7 muestra diferentes tamaños de las partículas cerámicas utilizadas. Mediante un ensayo térmico, fue posible determinar la capacidad de la mezcla cerámica de soportar y mantener su integridad química y física a condiciones de alta temperatura. Se calificó como exitosa la prueba de temperatura y se prosiguió con la infiltración de metal en el molde.



Fig. 7. Preforma luego de la prueba de calentamiento

3.3 Proceso de infiltración

El proceso de infiltración consistió en agregar al molde, las partículas de cerámico a una altura de llenado de 2.5cm, ubicando el metal a fundir sobre dicha preforma, luego se realizó la conexión del molde a la red de aire comprimido para hacer la infiltración a una presión no mayor a 50kPa y con un tiempo de presurización menor a 10s. En este caso se utilizó aleación de aluminio 6061 como metal base, cuya temperatura de fusión e infiltración fue de 720 C.

3.4 Mecanizado de la esponja y remoción de la preforma

El material obtenido debe ser mecanizado previamente a la remoción de la preforma, a fin

de evitar daños a la estructura porosa (Fernández et al., 2007). A diferencia de la sal, la cual no puede ser lubricada ni refrigerada durante el mecanizado debido a su alta solubilidad en agentes a base de agua, lo cual acelera el proceso corrosivo de los equipos y herramientas, la preforma cerámica soporta por más tiempo los agentes refrigerantes y no constituyen un riesgo de corrosión. Por otra parte, los efectos abrasivos sobre la herramienta de corte no son tan notables como los observados con la sal, debido a la débil unión que existe entre las partículas de polvo previamente conformado. El mecanizado se realizó en fresadoras convencionales con herramientas de carburo de tungsteno.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis general de la placa obtenida

La Fig. 8 ilustra el resultado final característico en todas las muestras obtenidas, en las cuales la apariencia del aluminio es brillante y se aprecia una infiltración total de toda la preforma contenida en él. En este caso se realizaron esponjas en placas cuadradas con una capa de piel y dimensiones características de 22 cm x 22 cm x 2.5 cm. En la Fig. 9 se aprecia la capa de aluminio sólido o piel en la parte inferior de la esponja, la cual fue rectificada y dimensionada en el proceso de mecanizado.



Fig. 8. Esponja infiltrada sin remoción de preforma

4.2 Cálculo de la densidad absoluta, densidad relativa y PPI

Considerando la necesidad de determinar las principales características físicas de la esponja obtenida, se calcula la densidad absoluta (ρ) utilizando la ecuación 1, en la que se relaciona el peso (M) y el volumen físico (V) del cuerpo

esponjoso de acuerdo a la ecuación 2. También se realiza el conteo de la cantidad de poros por pulgada presentes en la esponja, lo cual indica de manera aproximada el empaquetamiento y porosidad del material.

$$\rho = M / V \quad (1)$$

$$V = \text{lado} * \text{lado} * \text{espesor} \quad (2)$$

Cabe destacar que si bien se fabricaron esponjas con tres tamaños de grano diferente, las densidades calculadas en promedio de todas las muestras fueron similares. Esto debido a que el empaquetamiento depende de las características geométricas y de la compactabilidad de la preforma, y dado que en las tres pruebas se utilizó el mismo material con geometría similar, dicho resultado era esperado.

Teniendo en cuenta el peso del aluminio sólido de la piel de la esponja con el fin de despreciarlo en los cálculos de la densidad de la esponja como tal, éste se determina también utilizando las ecuaciones 1 y 2, tomando un valor para la densidad absoluta del aluminio 6061 de 2.7g/cm³ (Delmetal, 2013). Con el mecanizado, se igualaron todas las dimensiones en cada una de las muestras con el fin de establecer un estándar para la obtención del volumen. Con base en la densidad absoluta, se determinó la densidad relativa en 0.32, lo cual significa un porcentaje de porosidad del 68%.

La Fig. 9 ilustra detalles desde diferentes vistas, del estado general de las esponjas luego del mecanizado y remoción de la preforma.

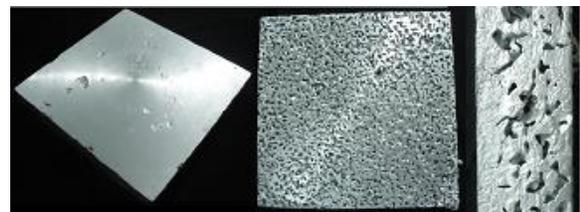


Fig. 9. Esponja mecanizada luego de remover la preforma

El conteo de los poros por pulgada o PPI para una de las esponjas cuyo tamaño de poro es de 6mm, muestra que existe un promedio de 4 poros por cada pulgada lineal y de 8 a 10 poros por pulgada cuadrada. Esta es una medida de tipo comercial

para este tipo de materiales, valores que se encuentran en 10, 20 y 40 PPI regularmente ([Degischer y Kriszt, 2002](#)).

5. CONCLUSIONES

Se presentó un método novedoso a partir del cual se obtienen esponjas metálicas tipo placa fabricadas por el método de infiltración positiva con preforma cerámica removible, en el que la utilización de materiales cerámicos presenta un avance significativo que impulsa el desarrollo en la investigación de la producción y propiedades de estos materiales a escalas comerciales y de ingeniería.

Mediante el proceso de infiltración de preformas solubles por presión positiva, se brinda la posibilidad de obtener metales celulares fácilmente y con bajos costos; diferentes opciones de tamaño de poro y densidad relativa, las cuales brindan características relevantes en las propiedades mecánicas y físicas del material.

El uso de materiales cerámicos ofrece ventajas importantes tales como: mayor control de la geometría y características de los poros, bajo costo de la preforma, bajo desgaste en las herramientas y maquinaria de mecanizado, mínima cantidad de recursos requeridos en la remoción de la preforma, y posibilidad de recuperar y reutilizar los polvos cerámicos, son las principales novedades que propone el método descrito en este trabajo, y con las cuales se expande el abanico de posibilidades en el desarrollo e investigación de las esponjas metálicas en la UPB.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CIDI por su apoyo mediante la financiación del proyecto Rad: 023B-02/13-18.

A los organizadores del evento “XX Feria Internacional de Ingeniería INGENIAR UPB 2013, Septiembre 30 – Octubre 4 de 2013, Medellín – Colombia” por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A. y Gibson, L.J. (2000). *Metal Foams: A Design Guide*, Butterworth-Heinemann: USA.

- Banhart, J. (2001). Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams. *Progress in Materials Science*, **46**: 559-632.
- Campbell, J. (2003) Castings, Elsevier Butterworth-Heinemann: Great Britain.
- Chou, K.S. y Song, M.A. (2002). A novel method for making open-cell aluminum foams, *Scripta Materialia*, **46**: 379-382.
- Daza, M. y Oviedo, E. (2009). Diseño y puesta en marcha de un Equipo para la Fabricación de Esponjas Metálicas por el método de infiltración de preformas solubles (IPS). *Proyecto de grado Ingeniería Mecánica*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Degischer, H-P. y Kriszt, B. (2002). *Handbook of Metal Foams*, Wiley VCH: Viena.
- Delmetal, (n.d.). Aluminio 6061. Retrieve: Septiembre 11, 2013, From: <http://www.delmetal.com.ar/productos/aluminio/6061.pdf>.
- Fernández, P., Torres, G. y Cruz, J. (2007) Fabricación de metales celulares de aluminio, *Scientia et Technica*, **36**: 677-682.
- Fernández, P., Cruz, L.J. y Coletto, J. (2008). Procesos de Fabricación de Metales Celulares: Parte I, Procesos Por Vía Líquida. *Revista de Metalurgia de Madrid*, **44**: 540-555.
- Goodall, R. y Despois, J. F. (2006). The effect of preform processing on replicated aluminum foam structure and mechanical properties, *Scripta Materialia*, **54**: 2069-2073.
- Nishida, Y. y Ohira, G. (1999). Modelling Of Infiltration Of Molten Metal In Fibrous Preform By Centrifugal Force, *Acta Materialia*, **47**: 841-852.
- Palmer, R.A., Gao, K., Doan, T.M., Green, L., Cavallaro, G. (2007). Pressure infiltrated syntactic foams—Process development and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, **464**: 85-92.
- Simancik, F., Jerz, J., Kováčik, J. y Minár, P. (1997). Aluminum foam - a new light weight structural material, *Kokové Materiály: Metallic Materials*, **35**: 265-277.
- Tong, L. Mouritz, A. y Bannister, M. (2002). *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*, Elsevier: Oxford.
- Zweben, C. (2002) Metal Matrix Composites, Ceramic Matrix Composites, Carbon Matrix Composites and Thermally Conductive Polymer Matrix Composites, in *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*, McGraw Hill, New York.

SOBRE LOS AUTORES

Juan Fernando Díez

Estudiante de último año de Ing. Mecánica, UPB Medellín. Estudiante vinculado al semillero de Investigación de Nuevos Materiales. Ganador Beca Terpel® 2011-2012 a la excelencia académica. Ganador Beca UPB por mejor promedio académico 2012-I. Ganador de Postulación a Mención de Honor por trabajo de grado 2013.

Lucas Giraldo Gaviria

Estudiante de último año de Ing. Mecánica, UPB Medellín. Estudiante vinculado al semillero de Investigación de Nuevos Materiales. Postulación a Mención de Honor por trabajo de grado 2013. Monitor administrativo de actividades deportivas dirigidas por Bienestar Universitario para las facultades de Ingeniería Mecánica e Industrial 2011-2012.

Patricia Fernández-Morales

Ing. Metalúrgica, M.Sc. en Ing. Área Materiales, Ph.D. en Ingeniería Área Energía y Termodinámica de la UPB. Investigadora del Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales (GINUMA), en el cual coordina la línea de Nuevos Metales, el semillero de Nuevos Materiales y la Unidad de Transferencia Tecnológica del GINUMA. Actualmente, Profesora Titular de la Escuela de Ingenierías adscrita a la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana.