

Fundición de preformas de aluminio reciclado/ Recycled aluminum preform foundry

RODRÍGUEZ BRAVO-Jorge Luis †, ALEJO TREJO-Daniel †, SÁNCHEZ TORRES-Mónica Alejandra †, ZAMORA RODRÍGUEZ -Juan Antonio

jorge.rodriguez@upamozoc.edu.mx

Universidad Politécnica de Amozoc

Av. Ampliación Luis Oropeza No. 5202, San Andrés las Vegas, Ira. Secc, 72980, Amozoc de Mota, Pue., Mex.

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Las prácticas de laboratorio en el área de manufactura son actividades que forman parte del plan curricular de cualquier ingeniería, con el propósito de evidenciar los conceptos teóricos estudiados y al mismo tiempo, proporcionar habilidades y competencias a los ingenieros en formación. Sin embargo, no siempre es posible realizar dichas prácticas debido a la presencia de grupos numerosos, falta de laboratorios equipados o falta de insumos y consumibles específicos para la realización de éstas. El presente artículo establece una metodología de tecnologías de fundición de latas de aluminio recicladas, con el objetivo de elaborar preformas metálicas; las cuales puedan ser utilizadas como insumo en las prácticas de Laboratorio de Manufactura, y así lograr una mejor comprensión de los conceptos teóricos y el desarrollo de las competencias propuestas. Lo anterior supone una oportunidad para la carrera de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura de convertirse en su propia proveedora, teniendo como resultado colateral la reducción de costos de las prácticas y la movilización de competencias de diversas asignaturas de los programas de estudio.

Fundición, aluminio reciclado, preformas, tecnologías de manufactura.

Abstract

Lab practices are activities part of the curricular plan in any engineering, with the purpose of providing evidence of the studied concepts and provide abilities and capabilities to engineers in formation. However, it is not always possible to perform such practices due to numerous groups, lack of equipment or lack of material and specific consumables to perform them. The following paper establishes a recycled aluminum can foundry methodology which objective is to elaborate metallic preforms that can be used as input materials in Manufacturing Lab practices, therefore, achieving a better comprehension of theoretical concepts and developing the proposed competencies. The above supposes an opportunity for the program of Manufacturing Technology Engineering of becoming its own supplier, having collateral results such as practices cost reductions and use of several professional skills from the study programs.

Foundry, recycled aluminum, preforms, manufacturing technologies.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: *jorge.rodriguez@upamozoc.edu.mx*)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

© **ECORFAN**

Introducción

La formación de ingenieros implica que el alumno se puede involucrar en actividades de forma innovadora, tanto en lo metodológico como en lo conceptual; es por ello que, varios autores establecen que las prácticas de laboratorio son actividades de aprendizaje dentro de la argumentación científica (Castiblanco, y Vizcaíno, 2008; Barolli, Laburú y Guridi, 2010; López, y Tamayo, 2012; Pesa, Bravo, Pérez, y Villafuerte 2014). Dentro del plan curricular de las universidades, específicamente en ingenierías, se proponen las actividades de laboratorio como parte experimental, integral y dinámica del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Las actividades experimentales en todas las universidades del mundo, son actividades altamente reconocidas como parte de la formación básica de científicos e ingenieros (Pesa, et al., 2014). Tales actividades permiten crear un ambiente donde los estudiantes pueden desarrollar competencias al identificar, plantear, investigar, modelar, usar instrumentos y diseño de experimentos que, le permitan resolver problemas, y para lograr evidenciar los resultados deben justificar, evaluar y valorar los conocimientos científicos. De esta manera es posible potenciar las capacidades del alumno, así como la construcción del conocimiento conceptual y procedimental a través de una metodología científica.

Salinas (1996) señala que los aspectos como los antes mencionados, son fundamentales para formar ingenieros con la capacidad de adaptar tecnologías a diferentes contextos y/o generar nuevas tecnologías; Lugo (2006) menciona que, además los estudiantes

pueden desarrollar habilidades de comunicación oral y escrita, cooperación y liderazgo.

La prueba que demuestra la importancia de las actividades experimentales para la formación básica de ingenieros, es la inversión que las universidades efectúan para mantener su equipamiento a la vanguardia en cuanto a la tecnología; así como, contar con docentes expertos en el manejo de los equipos y capaces de desarrollar competencias profesionales en el alumnado para poder responder a las necesidades de la sociedad actual.

Sin embargo, no siempre se cuentan con laboratorios completos en las universidades, dificultando la planeación de prácticas de laboratorios por parte de los docentes. Otra de las razones frecuentes que generan dificultad en el desarrollo de las prácticas, tanto para docentes como para alumnos es la falta de condiciones idóneas, por ejemplo, “la disponibilidad de espacios y recursos adecuados y el mantenimiento apropiado de los laboratorios” (López y Tamayo, 2012, p. 149), la disponibilidad de materiales para el uso de los equipos, la cantidad de alumnos por grupo, así como “el desconocimiento por parte de los maestros de estrategias de enseñanza adecuadas que relacionen la teoría con la práctica” (op. cit., p.149), resultado de lo anterior, justifica la falta actividades para desarrollar dentro de los laboratorios y al mediano plazo genera una mala práctica docente.

Dificultades para desarrollar prácticas de manufactura por maquinado

La Universidad Politécnica de Amozoc cuenta con un Laboratorio de Manufactura altamente equipado, con el propósito de poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en las

clases, así como, proporcionar a los estudiantes herramientas experimentales como simulación de los procesos industriales de manufactura más comunes. Para el desarrollo de prácticas dentro de los laboratorios de manufactura se utiliza cualquier metal, ya que en la industria de la manufactura los productos siderúrgicos son los más utilizados, en especial los derivados del acero y del hierro; este predominio se debe al costo relativamente económico, pero principalmente a sus insuperables propiedades mecánicas. Por ejemplo, las propiedades de los aceros como son la dureza, tenacidad y su resistencia, permiten una adaptación fácil a los requerimientos de la industria.

Pese a esto, en ocasiones, es difícil abastecer los laboratorios con materiales metálicos de práctica, para que cada alumno pueda realizar las prácticas propuestas en cada una de las materias. Una situación recurrente en el laboratorio de Manufactura en la UPAM es la falta de material para maquinado, principalmente para el uso del torno y el centro de maquinado de control numérico por computadora (CNC); lo que provoca que los docentes no propongan ni lleven a cabo prácticas con el alumnado, o el uso de materiales no metálicos como la madera o materiales comprimidos los cuales restan carácter a la práctica. El problema radica la dificultad para que cada alumno compre su propio material metálico para cada una de las prácticas de manufactura propuestas en el transcurso de la ingeniería, esto se debe a que la economía de la mayoría de los alumnos sólo les permite cubrir sus gastos básicos, en segundo lugar, la universidad no alcanza a cubrir de forma recurrente el abastecimiento de este tipo de materiales dentro de los laboratorios.

Cuando es el caso que los laboratorios cuente con piezas metálicas para utilizar en las

prácticas de manufactura, el docente opta por trabajar una pieza para casi todo el grupo, si el docente no logra coordinar adecuadamente la práctica para que el aprendizaje se lleve a cabo de forma grupal, puede influir de forma negativa en el aprendizaje de cada uno de los estudiantes. Otra de las dificultades observadas es que, al utilizar materiales de aleaciones a base de hierro y acero, estos se ven afectados significativamente por la corrosión, debido a los factores ambientales; además una vez utilizados estos materiales en los procesos de práctica de manufactura, no se pueden volver a utilizar y mucho menos reciclar las piezas que se han maquinado.

En el presente documento se establecen las acciones docentes y tecnologías que han permitido elaborar preformas para las prácticas del Laboratorio de Manufactura, a un costo relativamente bajo. Esto con el objetivo de mejorar la calidad de las prácticas de laboratorio de la UPAM y que le permitan al alumno desarrollar de forma autónoma las competencias educativas propuestas en las prácticas de ingeniería en Tecnologías de Manufactura.

Propuesta de elaboración de preformas a través de la fundición de latas de aluminio reciclado

Para implementar una tecnología que permita conseguir de forma sencilla preformas metálicas que tengan la función de elementos para las prácticas de manufactura por maquinado, es necesario establecer una actividad en la cual el estudiante establezca una relación entre lo que sabe, “lo que debe saber y la experiencia, en función del logro de aprendizajes profundos” (López y Tamayo, 2012, p.149); esto se refiere a que los conceptos teóricos expuestos a los estudiantes en clase,

evolucionen a conceptos más elaborados y de carácter científico.

Después del análisis de varias propuestas, se optó por el proceso de fundición de latas de aluminio. Dado que la fundición es uno de los procesos más versátiles en manufactura, ya que el metal fundido puede generar una diversidad de geometrías susceptibles de maquinarse en torno y CNC. En la UPAM la fundición se realiza con dos propósitos: la fundición de formas y la fundición de lingotes; la fundición de formas consiste en realizar piezas complejas de cualquier forma deseada, mientras que la fundición de lingotes genera geometrías simples, diseñados para tratamientos secundarios como fresado, torneado y barrenado. Estas opciones de fundición permiten muchas ventajas puesto que, puede realizarse en cualquier metal que al calentarse pasen a estado líquido, pueden crear cualquier forma hasta con geometría compleja, formas de pequeña y gran escala o peso, y muchos procesos de fundición son adaptables a la producción en masa (UMSS, s,f).

El motivo de elegir latas de aluminio como materia prima para la elaboración de preformas para su uso en prácticas de laboratorio, se debe a sus propiedades ingenieriles del aluminio, importantes para la industria tales como su baja densidad, “buena resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes naturales, debido a la película de óxido tenaz que se forma en su superficie, (...), aplicaciones en la industria eléctrica” (Smith y Hashemi, 2006, p. 410). Las propiedades mecánicas del aluminio también son atractivas por ejemplo su débil resistencia mecánica, gran ductilidad y maleabilidad, que permite forjarlo, trefilarlo en hilos delgados o laminarlo tan finamente como el oro. Además de que el

aluminio es el tercer elemento en cuanto a abundancia en la corteza terrestre, por detrás del oxígeno y el silicio. Además de que la obtención de aluminio, consistiría en la recolección y acopio de latas desechadas dentro de la UPAM; esta sería la actividad idónea, ya que tan sólo México es uno de los principales consumidores de refresco en el mundo, se puede inferir que gran parte de esta cifra son latas; una aproximación estima que se consumen 180 latas por habitante al año, arrojando 240 toneladas diarias (González, 2011), por lo que el acopio de latas de aluminio no genera costos considerables. Otra de las aportaciones que favoreció el desarrollo de este proyecto, es que, el laboratorio de manufactura posee un horno artesanal de fundición; éste fue construido en 2014 en un taller de herrería con material de chatarra y material reciclado (Figura 1), posteriormente se trasladó a la universidad para su uso.



Figura 1. Almacén de chatarra y elaboración de horno a partir de chatarra.

Metodología de la Tecnología fundición

En esencia se adaptaron las tecnologías ya existentes y se adaptaron las prácticas tradicionales de fundición al contexto de la universidad. El proceso de fundición es una propuesta didáctica centrada en el alumno que

le permitirá desarrollar de forma integral las principales competencias requeridas en la carrera de Ingeniería en Tecnología de Manufactura. Todas las actividades fueron diseñadas, organizadas y supervisadas por los docentes expertos en cada área, sin embargo, casi en su totalidad fueron por los alumnos, quienes trabajaron de forma colaborativa para completar el objetivo del proyecto.

El proceso de fundición adaptado para la universidad se dividió en cuatro procesos principales: 1. Moldeo, 2. Fusión y vertido, 3. Desmolde y limpieza, 4. Acabado. Como actividad previa a la propuesta de fundición, se inició la campaña de acopio de latas de aluminio dentro de la universidad, y con ayuda del alumnado también se recolectó de forma externa a la universidad; en dos semanas la cantidad recolectada total de aluminio fue de aproximadamente 70 kg.

Proceso de Moldeo

La tecnología de moldeo refiere a la elaboración de los cuerpos que contendrán y darán forma al aluminio fundido. Para el presente proyecto se procuró obtener piezas fundidas de manera económica, con base en el material a fundir y las condiciones de trabajo; de tal manera que para el diseño y elaboración del molde se consideraron las opciones siguientes:

Moldes con desecho de herrería

Se elaboraron unos moldes con pedacería de herrería (Figura 2) que se encontraba en el almacén de material de construcción. Se eligió esta pedacería de acero de 1.5 pulgadas, considerando que es un material que soporta las condiciones de temperatura del aluminio fundido, sin sufrir ninguna alteración. La

pedacería seleccionada fue de forma cilíndrica y cúbica, esto, con la intención de facilitar el desmolde y la manipulación de las preformas.



Figura 2. Moldes de pedacería de herrería.

Moldes de arena de sílica

En el proceso de fundición, para el moldeo comúnmente se utilizan arenas para fundición; ya que estas resisten la temperatura del metal fundido, además de que son permeables al aire y a otros gases que se generan dentro del molde; especialmente se utiliza la arena de sílice por su facilidad para adoptar geometrías complejas y su propiedad de reusabilidad. La primera fase de este tipo de moldeo, es realizar un cajón de madera (Figura 3), el cual da soporte al molde de arena. Debido a que sólo hemos planteado fundir piezas geométricas sencillas, se utiliza la técnica de molde abierto, por lo que no es necesario generar la otra parte del molde; para nuestro caso hemos ocupado también madera de desecho o de baja calidad en la realización del cajón.



Figura 3. Cajón de madera para molde arena.

La mezcla utilizada para la realización del molde de arena es de trece unidades; diez unidades de arena sílica, unidad y media de bentonita, y unidad y media de agua; cuidando que la arena y el agua no contengan impurezas o grumos para asegurar la durabilidad y resistencia necesaria para que el molde no se fragmente.

El molde de arena se elabora con la forma de la pieza que se desea obtener de la fundición; para ello se crea una plantilla de madera y algunos casos se utilizó una pieza real (Figura 4), se utiliza como patrón para que el molde de arena adopte la forma de dicha pieza.



Figura 4. Molde hecho con una pieza real como patrón.

Esta plantilla patrón se coloca dentro del cajón de y se vierte la mezcla de arena al rededor y encima del patrón (Figura 5); para evitar deformaciones en la geometría del molde, la arena se reafirma con un apisonador, el cual también fue manufacturado en el CNC con madera de desecho. Posterior al apisonamiento se retira la plantilla patrón para dar inicio a la etapa de fundición.



Figura 5. Vertido de arena sobre la plantilla.

Proceso de Fundición

Para éste proceso se rehabilitó y dio mantenimiento al horno de fundición, revestido, también con material de desecho encontrado en la universidad, como ladrillos y barro extraído de los alrededores, de igual manera se rehabilitaron los crisoles (Figura 6), ya que, desde su construcción, no había recibido ningún mantenimiento. Una vez rehabilitado el horno se usó carbón mineral y vegetal como combustible para alcanzar la temperatura de fusión del aluminio (660 °C).



Figura 6. Rehabilitación y mantenimiento del horno.

Una vez alcanzada esta temperatura, se alimenta el crisol con las latas de aluminio (Figura 7), permitiendo que cada volumen de latas agregado se funda antes de agregar más; por razones de manejo y seguridad el crisol nunca debe ser llenado a su máxima capacidad, el crisol tiene una capacidad neta de 4000 cc aproximadamente.



Figura 7. Crisol cargado de latas de aluminio para fundir.

Después de haber removido la escoria visible del aluminio, se agrega desgasificante, el cual tiene la función de llevar a la superficie impurezas, las cuales se recolectan con una espátula improvisada (Figura 8). El objetivo es purificar el metal líquido lo mejor posible, y minimizar los gases al momento de fundir, mejorando las propiedades y la calidad de la pieza fundida.



Figura 8. Recolección de la escoria.

Una vez que se tiene el volumen requerido de aluminio fundido libre de escorias, se preparan los moldes para el vertido. El vertido depende en gran medida de las características de diseño del crisol como: una boquilla y agarraderas para verter el metal líquido, es necesario que éste mantenga la temperatura de fusión y el volumen sea

adecuado para un manejo seguro del crisol. Una vez controladas estas condiciones, se retira el crisol del horno usando las agarraderas y con cautela de se vierte el aluminio líquido dentro del molde (Figura 9).



Figura 9. El aluminio líquido se vierte en los moldes.

Desmolde y limpieza

Solidificado el aluminio, se extraen las piezas del molde con ayuda de pinzas y se vierte agua para remover residuos de arena. En éste punto la preforma queda lista para ser maquinada.



Figura 10. Desmolde y limpieza de las piezas.

Procesos de acabado de las piezas

Con las preformas generadas se llevan a cabo las diversas prácticas con torno y CNC. Los procesos de remoción de material no solamente mejoran el aspecto físico, también generan las geometrías deseadas para un uso particular, procurando un buen acabado superficial y en ocasiones el pulido de la pieza. (Figura 11).

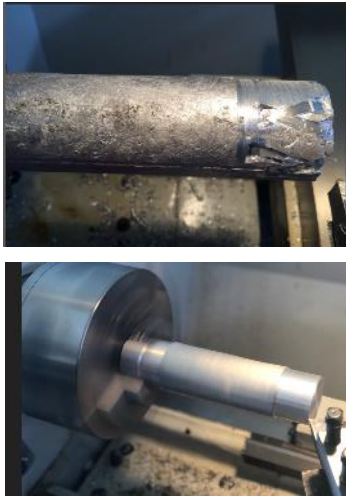


Figura 11. *Pieza antes y en el proceso de torneado.*

Otra de las intenciones de éstos procesos fue que, los alumnos aprendieran a usar el torno y pusieran en práctica algunos trabajos de éste, como carear las piezas, utilizar chaflanes, uso y afilado de buriles (Figura 12), manufactura de cuerdas con diferentes diámetros, así como las medidas de seguridad requeridas en esta tecnología. Cada alumno participante se hizo cargo de darle acabado a su pieza fundida, para después presentarla en alguna de las prácticas de laboratorio preestablecidas para el proyecto.



Figura 12. *Uso de buriles para el trabajo de carear.*

Resultados

Se logró la colaboración de los grupos de V, VI, VIII y IX semestres de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura (ITM), y de los grupos II y VIII semestres de Ingeniería Automotriz; y como resultado del proyecto de fundición de aluminio, cada uno de los alumnos participante obtuvo por lo menos una pieza de aluminio fundido. Una vez terminadas las piezas del proceso de torneado y pulido, los alumnos presentaron las piezas para desarrollar prácticas de manufactura, en materias de los planes curriculares de ingenierías como: Ciencia e ingeniería de materiales, Metrología, Procesos primarios de Manufactura, Diseño de experimentos, Procesos de fabricación, Manufactura automotriz CAD/CAM, Simulación de procesos, Manufactura asistida por computadora.

Los trabajos aplicados dentro de estas materias, además de los ya mencionados en el torno (Figura 13), también incluyeron algunas actividades propuestas en el *Mastercam 2017 for SOLIDWORKS Tutorial (Mill)*; en las cuales se practicó Contorneado: actividad para hacer corte de contornos de cualquier figura geométrica; Taladrado: barrenado de huecos, los cuales pueden ser superficiales, medios o completo (perforan el material por completo); Pocket: se refiere a realizar huecos de cualquier forma en la piezas, sin perforar por completo; Careo: alisar las caras de una pieza; Hybrid: es un método nuevo que puede seguir trayectorias irregulares de superficies complicadas.

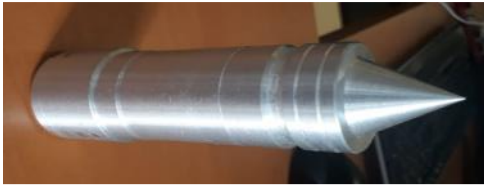


Figura 13. *Pieza con trabajo de torno: careo, cuerdas y punta.*

Durante la realización de este proyecto surge la secuela de realizar el molde de adoquín para la inyectora de plásticos del laboratorio de Manufactura; la cual no se ha utilizado a falta del molde para manufacturar adoquines. Sin dejar de lado los objetivos principales para la elaboración de las preformas, estos se alinearon para la elaboración de las placas que conformaran el molde para la inyectora. Se tomaron las medidas de un molde original (Figura 14), se construyó el molde de arena, se fundieron preformas que se habían obtenido en las fundiciones anteriores, de la cual se obtuvieron placas de 25 x 25 x 5 cm (Figura 15); posteriormente las placas fueron maquinadas en CNC con el proceso de careo (facing) para darle una apariencia lisa a la placa (Figura 16). Este subproyecto tiene la finalidad de recrear moldes utilizables en la inyectora de plástico, y con esto poder producir en masa piezas plásticas.



Figura 14. *Molde para inyectora de plásticos.*



Figura 15. *Réplica de la placa del molde de la inyectora de plásticos*



Figura 16. *Placa en el proceso de careo (facing).*

Conclusiones

Nuestro primer objetivo era cubrir la demanda de materiales metálicos en las prácticas del laboratorio de manufactura, con la finalidad de facilitar el aprendizaje de los alumnos y el desarrollo de habilidades procedimentales propias de la industria de la manufactura. Sin embargo, en el transcurso del proyecto se observaron tres logros propuestos, no sólo en las prácticas desarrolladas en los laboratorios, sino también en la planeación y aplicación de las tecnologías de fundición:

Integración de lo conceptual y lo experimental. Previamente al proyecto las prácticas de laboratorio carecían de interés y sentido para los estudiantes, pero la realización del proyecto permitió a los alumnos relacionar de una mejor forma los contenidos teóricos con las prácticas de manufactura; por tal motivo el aprendizaje se

volvió significativo ya que los alumnos se familiarizaron con los procesos y fenómenos descritos teóricamente en las clases. En cada una de las actividades expuestas en este proyecto se promovieron los objetivos conceptuales, procedimentales y actitudinales requeridos en las materias del plan curricular de ITM e IA, por lo que, los docentes relacionados en el proyecto, dejaron de evaluar el aprendizaje de conceptos y lo hicieron a través de una evaluación integral, en la cual los alumnos verificaron y comprobaron la teoría por medio de habilidades y destrezas aplicadas a lo largo de todo el proyecto.

Cambio de rol docente-alumno. Antes del proyecto, las clases de ingeniería se regían por una enseñanza tradicional, en las cuales el docente era quien dominaba todo en las actividades experimentales y los alumnos eran simples oyentes en la enseñanza. Los futuros ingenieros de ITM tuvieron que generar y desarrollar las metodologías para resolver la problemática propuesta en este proyecto. En la realización de éste el docente sólo fue un guía que orientó las actividades, mientras que el alumno adoptó el rol de un “investigador activo”; porque tuvo que investigar y contrastar hipótesis para poder proponer estrategias innovadoras, tomar decisiones consensuadas y justificadas, en la planeación y ejecución de las tecnologías implicadas en el proceso de fundición.

Aprendizaje por habilidades procedimentales de manufactura. La implementación de las tecnologías de fundición y el aporte de preformas de aluminio permitió la realización de actividades prácticas, las cuales fortalecieron la formación de ingenieros dejando atrás los problemas de lápiz y papel. Las actividades efectuadas en el proyecto fueron descritas por los alumnos como atractivas, ya que implicaron

un conocimiento más específico en cuanto a las tecnologías de manufactura, por la comprensión de conceptos por medio de la experimentación, por el uso de herramientas y equipos. Como resultado de este proyecto los alumnos participantes del proyecto, trabajaron de forma colaborativa en la resolución de problemas, lograron el diseño de actividades innovadoras, desarrollaron habilidades en el manejo de instrumentos, ampliaron sus prácticas en la interpretación y tratamiento de datos, realización de mediciones, validación de resultados, elaboración y manufactura de preformas aluminio.

Como conclusión se puede verificar el aporte que tienen las prácticas de laboratorios en los alumnos, desde la implementación de las tecnologías de fundición y uso de las preformas de aluminio en procesos de manufactura de forma sostenible; se logró integrar los conceptos teóricos expuestos en las materias de plan curricular de ITM con las actividades experimentales realizadas en el presente proyecto. Además de que todas las actividades prácticas realizadas, reforzaron la enseñanza-aprendizaje de las principales tecnologías de manufactura requeridas por la industria, de esta manera se le ha proporcionado al alumno una serie de competencias establecidas en el perfil de egreso de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura.

Referencias

Barolli, E., Laburú, C. E., y Guridi, V. M. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *En Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 88-110. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART6_VOL9_N1.pdf

- Castiblanco, O. L., y Vizcaíno D. F. (2008). La experiencia del laboratorio en la enseñanza de la física. En *Revista Educación en Ingeniería*, (5), 68-74. Recuperado de <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/151/130>
- “Fundición, Moldeo y Procesos Afines”. (s, f). UMSS-Facultad de Ciencias y Tecnología. En Biblioteca Virtual de Cataluña, Bibliotecnia, España. Recuperado de: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia/PDF/cap-21.pdf>
- González, P. D., (2011, marzo, 15). RECICLA ALUMINIO, *Revista El Topo*. Recuperado de: <https://revistaeltopo.com/2011/03/15/recicla-aluminio/>
- López, A. M., y Tamayo, Ó. E. (2012, enero-junio). LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* (Colombia), 8 (1), 145-166. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1341/134129256008.pdf>
- Lugo, G. (2006, diciembre). La importancia de los laboratorios. *Revista Construcción y Tecnología*. Recuperado de: www.imcyc.com
- “Mastercam 2017 for SOLIDWORKS Tutorial (Mill)”. (2016). Recuperado de: http://colla.lv/wp-content/uploads/2016/08/MCfSW_Tutorial.pdf
- Smith, W. F. y Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Recuperado de: <https://chirinossilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/fundamentos-de-la-ciencia-e-ingenieria-de-materiales-4ta-edicion-william-f-smith-javad-hashemi.pdf>
- Pesa, M., Bravo, S., Pérez, S., y Villafuerte, M. (2014). Las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros: propuesta para el aprendizaje de los fenómenos de conducción eléctrica. En *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(3), p. 642-665. doi: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n3p642>
- Salinas, J. (1996) *Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios*. Tesis (Doctoral) Universidad de Valencia, España. Disponible un resumen en: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21415/93375>
- Smith, W. F. y Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Recuperado de: <https://chirinossilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/fundamentos-de-la-ciencia-e-ingenieria-de-materiales-4ta-edicion-william-f-smith-javad-hashemi.pdf>