

# ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA VACIADO DE ALUMINIO FUNDIDO EN HORNO DE CRISOL

(1) **Roberto Armijos**

(2) **Ernesto Quishpe**

(3) **Daniel Valdivieso**

<sup>(1)</sup> betooth.29@hotmail.com

<sup>(2)</sup> qshernest\_eim@hotmail.com

<sup>(3)</sup> ldvaldiviosos@gmail.com

Instituto Superior Tecnológico Central Técnico- Ecuador

## Resumen

La fundición de aluminio en Ecuador es utilizada para elaborar piezas metálicas, así como también utensilios de cocina, el mismo que contribuye a disminuir la contaminación de sólidos de aluminio al medio ambiente al volverlos a reutilizarlos. El Instituto Superior Tecnológico Central Técnico no cuenta con la maquinaria necesaria para ésta tarea, puesto que sus costos son elevados. El objetivo del presente artículo es implementar un horno de crisol basculante que cumpla con las normas de seguridades respectivas, además que sea de bajo costo, eficiente y que beneficie al I.S.T. Central Técnico. Para la recopilación de información se utilizó referencias bibliográficas y encuestas realizadas a estudiantes, educandos de la institución, dueños de fundidoras y operarios de las mismas. El resultado obtenido permitió escoger el diseño del sistema de seguridad que permita el vaciado de aluminio fundido y hacer un análisis más profundo para disminuir los costos de fabricación. Se realizaron pruebas de vaciado y tiempo de calentamiento, con lo que se concluyó que la máquina está en condiciones adecuadas para ser usada.

**Palabras clave-** basculante, contaminación, fabricación, maquinaria, seguridad.

---

## Abstract

Aluminum smelting in Ecuador is used to make metal parts, as well as kitchen utensils, which contributes to reduce the contamination of aluminum solids to the environment by reusing them. The "Instituto Superior Tecnológico Central Técnico" does not have the necessary machinery for this task, since its costs are high. The objective of this article is to implement a tilting crucible furnace that complies with the respective safety standards, in addition to being low cost, efficient and benefits the I.S.T. Technical Central. For the collection of information, bibliographic references and surveys were taken from students, professors of the institution, owners and operators of foundries. The result obtained allowed to choose the design of the safety system that allows the casting of molten aluminum and make a deeper analysis to reduce manufacturing costs. Emptying tests and heating time were carried out, where it was concluded that the machine is in suitable conditions to be used.

**Keywords-** Tilting, Pollution, manufacturing, machinery, security.

## INTRODUCCIÓN

La fundición de los metales marco una etapa decisiva en el desarrollo de la humanidad, las antiguas civilizaciones utilizaron tecnologías del fuego, llamadas piro tecnologías que proporcionaron las bases del desarrollo de la fundición, durante los periodos de conquista se buscaba mejores materiales para la creación de herramientas y armas que satisficieran las necesidades de supervivencia.

Con el tiempo se han creado infinidad de diseños y construcciones de hornos que permitieron fundir elementos metálicos, los cuales han ido mejorando con el tiempo, entre los que se cita:

Hornos por combustible llamados de alto horno, utilizan carbón de coque. Según F.H.Norton (1972), separan todas las sustancias que acompañan al hierro. Reduce el mineral de hierro a hierro, la carga que es una mezcla de mineral de hierro y piedra caliza, recibe por inyección una corriente de aire precalentado que genera calor y forma así el monóxido de carbono, de esta manera reduce el mineral a hierro fundido y escoria.

El avance industrial permitió crear los hornos de crisol que utilizan como combustible gas propano, diésel, son especialmente utilizados para fundir metales no ferrosos como latón, bronce, aleaciones de zinc, aluminio y otras más, por lo general son de forma cilíndrica, en su estructura interna está introducido un recipiente llamado crisol, el cual es fabricado a base de grafito siendo este un material refractario que soporta altas temperaturas. (Proceso de fundición, 2017)

El crecimiento tecnológico ha permitido diseñar y construir hornos eléctricos de resistencias de reverberos, siendo muy eficaces para fundir

hierro de bajo contenido de carbono menos del 2,8 %. La aplicación especialmente para fundir metales féreos y no féreos como el latón, cobre, bronce y aluminio. (Tito., 1981).

La inventiva no se ha detenido y se crearon hornos de arco eléctrico, empleados de dos formas, como horno de fundición independiente y hornos dúplex, es decir, se pueden combinar con otros tipos de hornos, por ejemplo, horno de cubilote más horno eléctrico, horno eléctrico más horno de inducción, teniendo como resultado una fusión de hierro colado limpio aplicado para la fabricación de molduras específicamente de paredes finas y geometrías complejas. (Tito., 1981).

En el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico los hornos de fundición que permiten a los estudiantes experimentar en la asignatura de Metalurgia, se encuentran técnicamente defectuosas, una revisión exhaustiva da como resultado final que los hornos han cumplido su tiempo de vida útil, y su mantenimiento saldría más costoso, además se corre el riesgo de que docentes y estudiantes puedan tener algún accidente. Para continuar con una educación de excelencia y experimental se hace necesario construir un horno de crisol que cumpla normas de diseño y seguridad, para lo cual se utilizaron conocimientos técnicos, software de diseño y fórmulas que permitieron la construcción de la carcasa y la medida cilíndrica idónea que permite una circulación de calor permanente, para asegurar a docentes y estudiantes se diseñó un sistema de transmisión piñón tornillo sin fin de doble entrada permitiéndole al horno ser maniobrable y por lo tanto seguro al distanciarse de la carcasa que en su momento se encuentra a una elevada temperatura

evitando de esta manera salpicaduras al momento de colar la colada del material fundido, además se diseñó la estructura y ejes de apoyo que soportaron altas temperaturas procurando mantener costos asequibles, y se determinó el material refractario que soporte una temperatura de 600°C.

En otros países se han desarrollado hornos de crisol para fundición de aluminio y bronce, pero su diseño es estático, es decir para obtener la colada se utilizan pinzas para sacar el crisol del horno generando en cualquier momento inseguridad al momento de manipular, aunque llegan a

las temperaturas deseadas su diseño es empírico técnicamente poco satisfactorio.

En el mercado se pueden encontrar hornos de fundición que trabajan con electricidad e hidrocarburos, su costo de adquisición y funcionamiento es elevado como se puede ver en la (Tabla 3), por tanto, se quiere dar a conocer que en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico la investigación desarrollada permite construir hornos de crisol a un bajo costo y totalmente seguros permitiendo mejorar el medio ambiente al utilizar materiales reciclados para la fundición.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener información y desarrollar el proyecto se utilizaron dos tipos de encuestas. La primera dirigida a estudiantes de la institución utilizando un sistema de preguntas cerradas y la segunda encuesta fue dirigida personal técnico con conocimientos del tema que trabajan en empresas ligadas con procesos de fundición.

Las encuestas realizadas a los estudiantes fueron para determinar el conocimiento de la construcción de un horno basculante de crisol, así como las características de la formación del mismo; mientras que las encuestas desarrolladas a las empresas ayudaron con los conocimientos técnicos y funcionamiento reales de los hornos, puesto que esa es su labor diaria.

También se investigó en varias fuentes bibliográficas para obtener resultados de diseño de hornos en otros lugares, dentro o fuera del país. Como se describe a continuación:

En la tesis de Sebastián Andrés Trujillo Roldan (2005), publicado en la Universidad San Francisco de Quito, cuyo tema se refiere al "Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural" se dio la siguiente conclusión técnica: el ingreso de oxígeno debe ser permanente para obtener un resultado óptimo de

combustión, permitiendo controlar la temperatura con el flujo de aire.

Según Hernández B. (2014) en su estudio "Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición escultora de Bronce" concluye que: el horno está en la condición de fundir bronce y aluminio, el punto de fusión es rápido debido a las dimensiones del horno que es pequeña, su uso es adecuado por su dimensionamiento y el mantenimiento es fácil por ser un horno que permanece en el piso y se puede trabajar en sitios reducidos.

Según el artículo escrito por Víctor Chura Ura-chi (2014) publicado en la Revista Tecnológica Boliviana, cuyo tema se refiere al "Conformado de una pieza de aluminio", dice que la temperatura obtenida fue de 800°C y que la fusión en el interior del crisol fue rápida para fundir aluminio.

Se utilizaron dos encuestas, la primera fue utilizada a estudiantes y docentes del IST Central Técnico con el objetivo de conocer acerca de los hornos de crisol y determinar la necesidad de implementar un horno realizado en el mismo instituto. La segunda encuesta se la utilizó en dos empresas privadas y el instituto con el objetivo de determinar el funcionamiento y medidas de seguridad utilizadas e implementarlas en la investigación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la encuesta realizada a 35 estudiantes de la Carrera de Mecánica Industrial se muestran a continuación en la siguiente tabla:

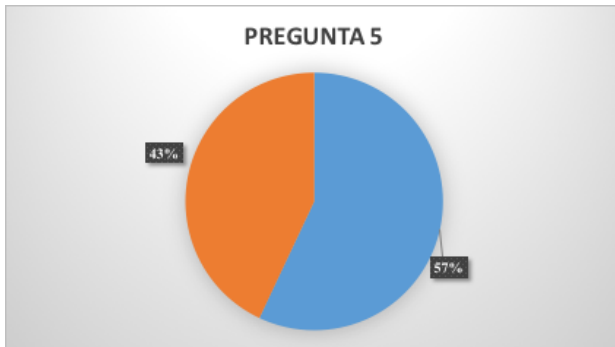
Tabla 1: Resultados de encuesta a estudiantes de Mecánica Industrial.

N°	PREGUNTA	SI	%	NO	%	ANALISIS
1	¿Conoce usted los tipos de hornos existentes para fundir materiales férreos?	24	69%	11	31%	El 69% conocen de hornos para fundir metales no férreos y 31% desconocen.
2	¿Conoce usted qué tipos de combustibles se utilizan en los hornos de fundición?	19	54%	16	46%	El 54% conocen los tipos de combustibles que se utilizan en los hornos, el 46% desconocen.
3	¿Conoce usted la estructura interna de un horno de crisol basculante?	7	20%	28	80%	El 20% conocen la estructura interna de un horno de crisol basculante, mientras que el 80% desconocen.
4	¿Conoce usted el término "material refractario"?	31	89%	4	11%	El 89% conocen el término "material refractario", el 11% desconocen.
5	¿Conoce usted la fundición del sistema basculante en el horno de crisol?	15	43%	20	57%	El 43% conocen la fundición del sistema basculante en el horno de crisol, el 57% desconoce
6	¿Tiene conocimiento del proceso de fundición del aluminio?	23	66%	12	34%	El 66% tienen conocimiento del proceso de fundición de aluminio, el 34% lo desconoce.
7	¿Conoce usted la temperatura de fusión del aluminio?	29	83%	6	17%	El 83% conocen la temperatura de fusión del aluminio, el 17% lo desconoce.
8	¿Conoce usted las aplicaciones del aluminio?	32	91%	3	9%	El 91% conocen las aplicaciones del aluminio, el 9% desconocen.
9	¿Actualmente en la carrera de Mecánica Industrial existe un horno de crisol basculante para fundir aluminio?	6	17%	29	83%	El 83% asegura que carece de un horno de crisol basculante para fundir aluminio, el 17% cree que si existe este horno.
10	¿Cree usted que con la implementación del horno de crisol basculante para fundir aluminio, contribuirá con la formación técnica que necesita un profesional en el área de Mecánica Industrial?	31	89%	4	11%	El 89% afirma que si habrá contribución en la formación si se utiliza un horno de crisol basculante, el 11% piensa que no contribuirá en la formación.

Fuente: Autor

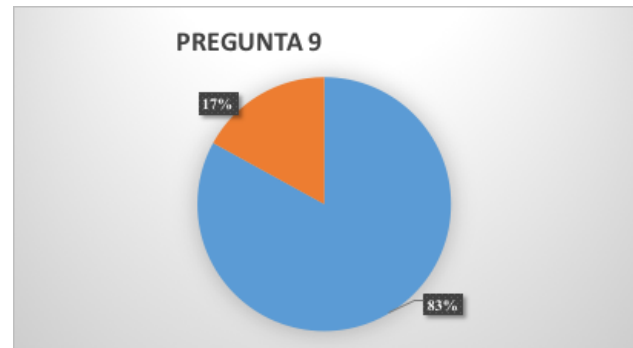
En la tabla 1 se puede observar la divergencia al contestar las diez preguntas de conocimiento referente a los hornos de crisol y sus características. Tomando como base las preguntas 5, 9 y 10 se determinó la necesidad de realizar este proyecto que beneficiará a la institución. De la encuesta realizada a los estudiantes, los resultados de las siguientes preguntas fueron los más importantes.

**Pregunta N. 5:** ¿Conoce usted la fundición del sistema basculante en el horno de crisol?



Como se puede observar el 57% desconocen de la fundición del sistema basculante en el horno de crisol.

**Pregunta N. 9:** ¿Actualmente en la carrera de Mecánica Industrial existe un horno de crisol basculante para fundir aluminio?



El 83% confirma que en la institución no cuentan con un horno basculante mientras que el 17% se confunde con los hornos estacionarios.

**Pregunta N. 10:** ¿Cree usted que con la implementación del horno de crisol basculante para fundir aluminio, contribuirá con la formación técnica que necesita un profesional en el área de Mecánica Industrial?



Los resultados indican que los estudiantes quieren mejorar su formación técnica y realizarlo experimentalmente, para lo cual se requiere de máquinas que cumplan con las normas de diseño y construcción establecidos.

Los resultados de la encuesta realizadas al personal técnico de las Empresas Metalmecánica "JR" y Tecno Fundición se describen en la Tabla 2. Estos datos sirvieron para realizar comparaciones con los obtenidos en el IST Central Técnico.

Tabla 2: Resultados comparativos entre empresas e I.T.S. Central Técnico.

N°	Pregunta	Metalmecánica "JR"	I.S. Tecnológico Central técnico	Tecno Fundición
1	¿La empresa en la que usted se encuentra posee un horno de crisol basculante para fundir aluminio?	SI	NO	NO
2	¿Considera usted que es necesario poseer un horno e crisol basculante para fundir aluminio?	SI	SI	SI
3	Qué tipos de horno de fundición posee la empresa en la cual labora?	Horno de crisol Horno de cubilote Horno de inducción	NINGUNO	Horno de crisol Horno de cubilote Horno de reverbero
4	¿El combustible que utilizan para los hornos de fundición de que tipo es?	Resistencia eléctrica Gas	NINGUNO	Diesel y Gas
5	¿Qué tipos de material refractario utilizan en los hornos que poseen?	Ladrillo refractario Cemento refractario	Ladrillo refractario Cemento refractario	Ladrillo refractario Cemento refractario
6	¿Cuáles son los tipos de aislantes térmicos que utilizan en los hornos de fundición?	Papel cerámico Fibra de cerámica	Papel cerámico	Papel cerámico
7	¿Qué tipo de mantenimiento ejecuta la empresa para prolongar la vida útil y el funcionamiento adecuado en los hornos de fundición que poseen?	Mantenimiento Preventivo	NINGUNO	Mantenimiento preventivo
8	¿En el plan de mantenimiento que posee su empresa existe un presupuesto específico destinado al mantenimiento de los hornos?	SI	NO	SI
9	¿La capacidad para fundir material que poseen los hornos de su empresa en que rango se encuentran?	10Kg a 50Kg	NINGUNO	50Kg a 100Kg
10	¿La empresa en la que se encuentra brinda EPP adecuado para realizar trabajos de fundición?	SI	SI	SI

Fuente: Autor

La Tabla 2 muestra que las empresas están equipadas y cuentan con los recursos necesarios para ser competitivos mientras que al compáralas con el instituto se puede observar que no se cuentan con recursos, delimitando los conocimientos técnicos prácticos al momento de estudiar el tema referente a fundición. En Ecuador y países internacionales existen empresas que se encargan

de construir y comercializar hornos de diferentes características entre las que se citan: Gracomaq, Horno de gas Basculante WSPR, HORNOSALFERIEFF, etc. Sus precios son elevados, aunque las dimensiones de las mismas son para tonelajes industriales es decir para grandes empresas. En la Tabla 3 se observa los precios de algunos hornos basculantes.

**Tabla 3. Precios de hornos basculantes**

Tipo	Precio en dólares
Horno de fusión por inducción de 50Kg horno de crisol	2000 a 15000
Hidráulica crisol basculante de horno de fusión de aluminio	4100 a 18000
Horno de crisol de fundición de aluminio inclinable	2200 a 18000
Crisol Horno Basculante para metales no ferrosos de fundición	2500 a 1500

**Fuente:** Catálogo Gracomaq

En la tabla 4 se determinan el valor económico de los materiales que permitieron la construcción del horno de crisol basculante, permitiendo demostrar el costo total y compararlo con precios de otros hornos que se encuentran en el mercado.

Tabla 4. Precios de materiales para horno de crisol basculante

Material	Descripción	Proveedor	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Ejes acero bonificado 705	∅ 32 mm x 270 mm	Aceros Industriales	1	\$16,63	\$16,63
Ejes acero bonificado 705	∅ 90 mm x 25 mm	LB Mecánica Industrial	1	\$14	\$14
Ejes acero bonificado 705	∅ 50 mm x 100 mm	LB Mecánica Industrial	1	\$10	\$10
Eje acero transmisión	∅ 7/8" x 1000 mm	Aceros Industriales	1	\$6,10	\$6,10
Eje acero transmisión	∅ 1/2" x 1500 mm	LB Mecánica Industrial	1	\$8	\$8
Eje acero transmisión	∅ 5/8" x 300 mm	LB Mecánica Industrial	1	\$5	\$5
Eje acero transmisión	∅ 2" x 25 mm	LB Mecánica Industrial	1	\$6	\$6
Eje acero transmisión	∅ 4" x 10 mm	Aceros Industriales	1	\$3,34	3,34
Eje acero transmisión	∅ 1" x 130	LB Mecánica Industrial	1	\$6	\$6
Tubo de vapor	∅ 7/8" x 1000 mm	Aceros Industriales	1	\$3,84	\$3,84
Perfil estructural	Canal U 80mm x 40mm x 4mm	DIPAC	2	\$27,11	\$54,23
Plancha negra	∅ 540mm x 3mm de espesor	DIPAC	1	\$10,58	\$10,58
Chumacera de piso	De piso ∅ 30mm	Aceros Industriales	2	\$7,26	\$14,52
Chumacera de piso	De piso ∅ 7/8"	Aceros Industriales	2	\$5,94	\$11,88
Pernos, rodela, tuercas	Pernos, rodela, tuercas	Imporpernos	1	\$3,37	\$3,37

Electrodos	AGA E 7018	LB Mecánica Industrial	3 kg	\$6	\$18
Electrodos	AGA E 6011	LB Mecánica Industrial	3kg	\$6	\$18
Crisol	13 Kg grafito	Gutiérrez Navas	2	\$125,35	\$250,7
Ladrillo refractario	250mm x 125mm x 60 mm	Constructora Quiroz	37	\$5	\$185,00
Ladrillo refractario	250mm x 125mm x 30 mm	Constructora Quiroz	6	\$2,50	\$15,00
Cemento refractario	Funda de 10Kg	Constructora Quiroz	5	\$10	\$50
Blower	∅ 2" 1/2	Ferretería "Lourdes 2"	1	\$35	\$35
Cilindro de gas	15 Kg	Metálicas Moreta	1	\$55	\$55
Soplete	Soplete 3"	Metálicas Moreta	1	\$9	\$9
Manguera	2 m manguera	Metálicas Moreta	1	\$2,90	\$2,90
Válvula industrial	Válvula industrial	Metálicas Moreta	1	\$4,50	\$4,50
Abrazaderas metálicas	Abrazaderas metálica	Metálicas Moreta	2	\$0,50	\$0,50
Pintura esmalte	Pintura alta temperatura	Pintulac	1gl.	39,50	39,50
				Total	\$855,89

Fuente: Propia.

Como se observa en la tabla 4 el costo no supera los 900 dólares permitiendo amenorar los costos en la construcción.

En La figura 1 se puede observar el horno de crisol basculante con el sistema de seguridad que se lo diseño y entrego en el I. S. T. Central Técnico el mismo que empezó a trabajar inmediatamente.

Figura 1 Horno de Crisol Basculante



Fuente: Autor



En la Tabla 3 se hace referencia a los precios de hornos de tipo basculantes que van desde los 18000 a 1500 dólares, estos dependen de la capacidad en kilogramos a fundir, por tal motivo el horno diseñado en el I.S.T. Central Técnico como se lo puede ver en la Figura 1 que su precio es bastante asequible al abaratar los costos.

La Tabla 4 indica algunas características de comparación donde se puede ver que la investigación desarrollada en el IST Central Técnico cumple con parámetros de seguridad y maniobrabilidad.

Tabla 5.- Tabla comparativa de artículos vs estudio realizado en I.S.T. Central Técnico

	Horno estacionario	Horno dinámico	Seguridad al vaciado del crisol	Diseño del horno circular	Movimiento basculante	Tornillo sin fin
Estudio realizado en el ISTCT	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Tesis de USF de Quito	SI	NO	NO (Utilizan pinzas para sacar el crisol del horno)	NO (es cuadrado)	NO	NO
Tesis U. de Costa Rica	SI	NO	NO (Utilizan pinzas para sacar el crisol del horno)	NO (es cuadrado)	NO	NO
Artículo de Bolivia	SI	NO	NO (Utilizan pinzas para sacar el crisol del horno)	SI (estático)	NO	NO

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

El diseño del sistema de transmisión piñón tornillo sin fin de doble entrada, permite que la carcasa se lo pueda girar sin dificultad, asegurando que docentes y estudiantes se encuentren alejados al momento de vaciar el material fundido.

La estructura y los ejes de apoyo no presentaron deformación al momento de realizar las pruebas de funcionamiento y maniobrabilidad

Los materiales refractarios soportan una temperatura de 1800°C, el aluminio para fundirse re-

quiere una temperatura de 600°C y la temperatura a la que llegó el horno de crisol basculante con un cilindro de 15 kg de GLP fue de 800°C demostrando ser una máquina de alto rendimiento, eficiente, bajo costo de fabricación y funcionamiento.

La forma cilíndrica del horno fue esencial, pues el calor circula por toda la cámara de combustión sin estancarse, evitando que exista pérdida de calor en el proceso de fundición del aluminio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aulestia, D. Paredes R, Martin J., (2014), Estructuras de Acero. Editorial Dirección de Comunicación Social, MIDUVI
- Askeland, D. R. (2016), Ciencia e Ingeniería de materiales. México: Cengage Learning.
- Cortés, J. (2018), Seguridad y Salud en el Trabajo. Madrid, España: Editorial Tóbar: 11va Ed.
- Distrito Metropolitano de Quito, (2017), Reglamento a la Ley de defensa contra incendios.
- Flores E, y Orellana N. (2014), Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas. Editorial Del Salvador, Universidad de el Salvador
- Graboski, H. (2018), Advanced modelling for CAD/CAM systems. Berlin u.a.: Springer.
- Keyser, C. (2016), Técnicas de laboratorios para pruebas de materiales. Ediciones Limusa.
- Mikell, P. Groover (2014), Fundamentos de Manufactura Moderna, Cuarta Edición.
- Morer, P. (2015), Libro Digital de Dibujo Técnico, Universidad de la Coruña.
- Pinto J, Terán H, Mena E, Navas E, (2015), Cálculo de Fusión en metalurgia. Editorial Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Rodríguez C, López J, (2016), Diseño Gráfico con SOLIDWORK.
- Trujillo S, (2005). Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural. Editorial Quito: USFQ
- Hernández, E. Martínez M. (2014), Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición escultórica de bronce. Licenciatura tesis, Universidad de el Salvador.
- Agudo, M. De Asis, A. Meléndez, F. (COORD) (2015), Manual de ayuda para la Formación de proyectos sociales, Fundación Luis Vives, Madrid.
- Ecuared. (2010-2018). Ecuared: conocimientos con todos y para todos. Recuperado de [http://www.ecured.cu/Hornos\\_de\\_cubilote](http://www.ecured.cu/Hornos_de_cubilote).
- Proceso de fundición. (2017). Proceso de fundición. Recuperado de <https://processefundision1111.weebly.com/index.html>.
- Slideshare. (2006-2018). slideshare. Recuperado de <http://slideplayer.es/slide/3172578/>
- Slideshare. (2009), Diseño, cálculo y construcción de un horno de fundición de aluminio tipo basculante y sus moldes. Recuperado de <https://es.slideshare.net/JorgeCastilloCobeas/horno-basculante>
- Google académico, (2005), Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural, Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/843/1/75990.pdf>
- Google académico, (2014).Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición escultórica de bronce. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5577/1/Diseño%20y%20construcción%20de%20un%20horno%20de%20crisol%20para%20fundición%20escultórica%20de%20bronce.pdf>
- Revista Tecnológica (2014). Conformado de una pieza de aluminio: Moldeo en arena verde fundición y colada. Recuperado de [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v10n16/v10n16\\_a03.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v10n16/v10n16_a03.pdf)