

UNIVERSIDAD CENTRO AMERICANA
"JOSÉ SIMEÓN CAÑAS"



DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREPARADO PARA LA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO MECANICO

POR
JOSÉ ALFREDO ALVAYERO HERNANDEZ
CARLOS ALEJANDRO HUEZO HUEZO

OCTUBRE 2009
ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.

1.1 Introducción.

El diseño final es la culminación de un complejo proceso de diseño que considera todas las variables involucradas y da respuesta a todas las interrogantes y detalles.

En el presente artículo, se presenta el diseño final de un horno para fundición de aluminio de 300 lb de capacidad. Dicho diseño consiste en la descripción de: los componentes definitivos del horno de fundición, la estructura de soporte del horno, así como el sistema de giro por medio de un sistema hidráulico. Por último se toma en consideración el diseño del vertedero de aluminio líquido para los moldes, así como los accesorios que dispondrá el horno.

1.2 Dimensionamiento del horno.

El dimensionamiento final del horno se realizó basado en un dimensionamiento preliminar que consideraba una serie de factores de importancia en el diseño [1]. En este artículo se mostrará el resultado final del diseño y las consideraciones finales tomadas para el dimensionamiento del horno.

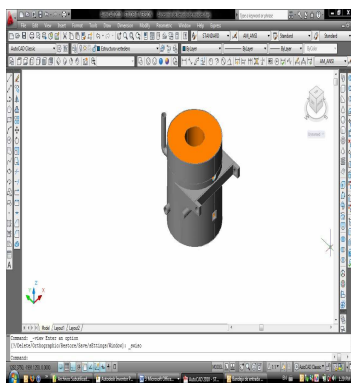


Fig.1 -Imagen 3D del horno

a) Crisol.

El crisol tipo spout (pico) se seleccionó de un catálogo obtenido de la compañía Morgan MMS [2]. En el catálogo se ofrecen recomendaciones para el manejo apropiado del crisol, que para el caso son consideraciones importantes de diseño y se mencionan a continuación:

Se requiere que el pico del crisol no esté apoyado en ninguna superficie, permitiendo como mínimo 38mm de distancia entre este y cualquier superficie. Para el caso se estimó esta distancia de 40mm.

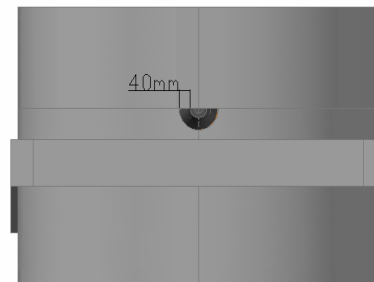


Fig. 2 -Imagen frontal mostrando distancia de separación del pico con otras superficies

Para sostener el crisol se recomienda colocar 3 cuñas equidistantes entre sí, 75mm por debajo del borde del crisol y permitiendo una separación mínima de entre 6-10mm entre estas y la pared del crisol; para el caso esta distancia se estimó de 10mm.

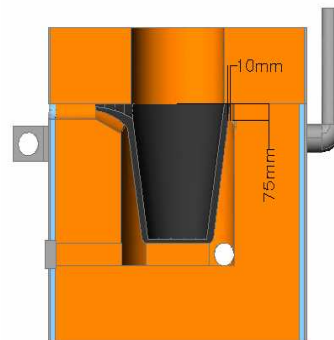


Fig. 3 -Corte lateral mostrando distancia de separación de cuñas de apoyo del crisol.

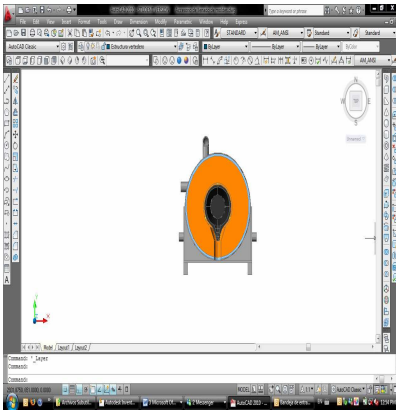


Fig. 4 -Imagen en planta mostrando la separación de cuñas de apoyo del crisol.

Finalmente el crisol debe estar colocado sobre una base en elevación, que se consideró de 100mm, el cual es el equivalente a la entrada de gases como se puede apreciar en la Fig. 3.

b) Aislamiento Térmico.

El aislante consta de dos partes, el aislante principal de cemento refractario y el aislante secundario de fibra cerámica. [3]

El aislante principal es de 325mm de espesor en sus paredes, en la base y en la tapadera del horno, cabe mencionar que el espesor de las paredes de la tapadera incluye el espesor del aislante secundario, pues la fibra cerámica no es parte de esta.

El aislante secundario de fibra cerámica únicamente está colocado en las paredes del horno y es de 1" de espesor [3].

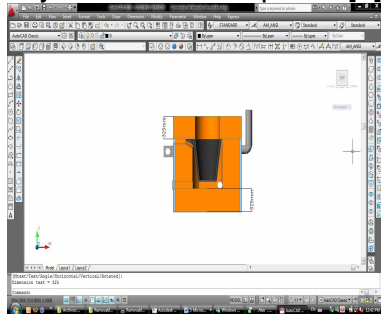


Fig. 5 -Corte lateral del horno, mostrando los espesores de los aislantes en la tapadera y base.

c) Carcaza del Horno.

La carcaza del horno rodea a los aislantes en la tapadera y el mismo horno. Esta se fabricará de lámina de hierro de 3/8". [3]

El horno cuenta con 2 tubos para el manejo de la entrada y salida de gases de combustión, cada una con un diámetro de 4" y se debe fabricar la salida de las cenizas que tendrá una sección cuadrada de 100mm alto y ancho, fabricada con lámina de hierro de 3/8" de espesor.

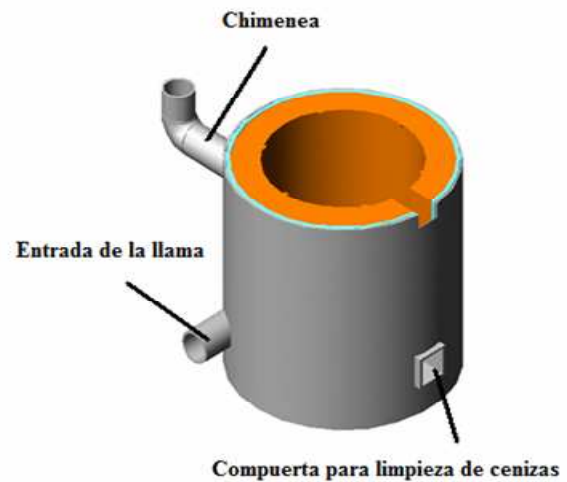


Fig.6 -Imagen 3D del horno, mostrando la entrada y salida de gases, y la compuerta de limpieza de cenizas de la carcaza.

Finalmente se debe considerar la interfaz de conexión entre el horno y la estructura.

Esta sección se fabricará con lámina de hierro de 1", debido a que esta debe soportar un gran esfuerzo. Sobre ésta interfaz se colocarán dos chumaceras en las cuales estarán montados dos ejes, uno a cada lado, que permitirán el giro del horno.

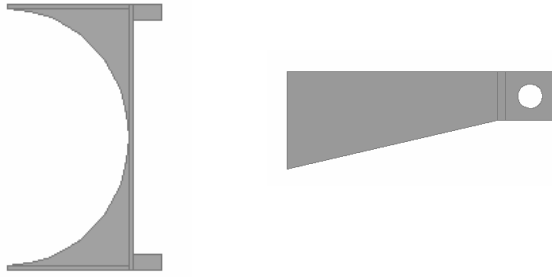


Fig.7 -Imágenes de la interfase de conexión con la estructura del horno.

3. Mecanismo de Giro.

El horno de fundición de aluminio propuesto funciona de forma estática mientras se está fundiendo, en donde el quemador está activo y los gases de fundición escapan por la chimenea, luego en la fase de colada el horno se balancea. Se ha pensado utilizar un sistema hidráulico con actuadores cilíndricos como la mejor opción para balancear dicho horno; principalmente por dos razones:

- Resulta bastante difícil mover por medios manuales el peso de cuatro toneladas (4 TON) que tiene el arreglo completo del horno (crisol, aislantes, recubrimiento y material a fundir).
- Por la manera en que se vierte el aluminio líquido del horno. Un horno basculante que se gira manualmente tiene la característica que su eje de rotación se encuentra en el centro de masa del horno, por lo que el pico del crisol tiende a realizar un movimiento de rotación y traslación a la vez. Este hecho a la hora de verter el aluminio fundido resulta ser una complicación, sobre todo si no se tiene un sistema auxiliar para la colada, ya que implica estar calculando adonde va a caer el chorro, puesto que dependiendo del grado de inclinación, el chorro caerá en una posición diferente. Por otro

lado al usar un sistema hidráulico para realizar el giro, el eje de rotación del sistema debe encontrarse justo debajo del pico (característica de diseño), lo que permite que este tenga únicamente un movimiento de rotación; de esta forma se puede saber con facilidad a donde caerá el chorro a cualquier ángulo (Fig. 8).

Comparación de Radio de Giro

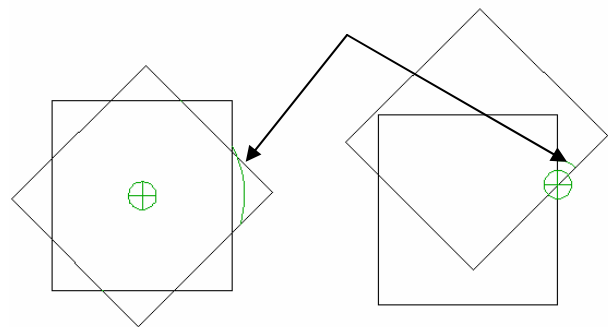


Fig.8 -Esquema de rotación de un horno con un eje ubicado al centro del horno, y un eje ubicado justo debajo del pico del crisol.

Si se piensa utilizar un sistema hidráulico para el balanceo del horno, es necesario primero hacer la selección del actuador cilíndrico, de tal forma que este cumpla dos requisitos básicos: que su longitud y carrera puedan ser utilizados en el movimiento del sistema; y que a su vez dicho actuador pueda suministrar la fuerza necesaria para hacer girar dicho sistema.

El proceso para determinar el cilindro adecuado depende principalmente de la geometría del cilindro, más que de la fuerza que este pueda suministrar (por el tamaño requerido de cilindro, este tenderá a quedar sobredimensionado respecto a la fuerza).

Se ha escogido una familia de cilindros existentes en el mercado (cotizados en la empresa Central Hidráulica [5]) y se ha

seleccionado el cilindro adecuado para la aplicación deseada.

Dicho cilindro tiene las siguientes características:

- Longitud Nominal del Cilindro: 810 mm
- Carrera del Cilindro: 600 mm
- Área Transversal Interna del Embolo: 0.005 m^2

Se obtiene de un cálculo de Diagramas de Cuerpo Libre del horno que la fuerza de diseño es de:

$$F_{Actuador} = 33,330 \text{ N}$$

a) Sistema Hidráulico.

Para que el sistema hidráulico funcione adecuadamente, se deben seleccionar los siguientes elementos básicos:

- Bomba
- Reservorio
- Válvula de Alivio
- Válvula Check
- Válvula Direccional
- Mangueras
- Actuadores

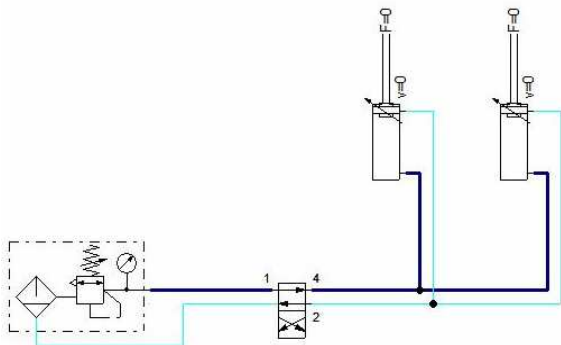


Fig.9 -Esquema del Sistema Hidráulico completo.

Se ha seleccionado una central hidráulica compuesta por los siguientes elementos:

- Tanque con capacidad para 2 galones
- Válvula antiretorno (check) de $\frac{1}{2}$ "

- Bomba de con capacidad de 0.75 GPM
- Motor Trifásico de 1 HP y 1750 RPM
- Válvula de alivio de 1500 a 3000 PSI.
- Filtro de succión y retorno incorporados



Fig.10 -Foto de la central hidráulica seleccionada [5].

b) Velocidad del Sistema.

Como parámetro de diseño, se debe establecer el tiempo deseado para verter las 300 lb de aluminio de manera continua al realizar el giro de 90 grados del horno. El tiempo de diseño es de 1 minuto.

Si la carrera de los cilindros es de 600mm para pasar de la posición inicial a la posición final del sistema, se espera entonces que la velocidad de extensión de los cilindros real es de 570 mm/min.

c) Fuerza Hidráulica.

La central hidráulica trabaja a 2000 PSI como valor nominal. Si se hace la conversión de presión, 2000 PSI equivalen a 13.78 MPA.

Al comprobar la fuerza de los actuadores cilíndricos se obtiene que será de 68,947.6 N, que sobrepasa la Fuerza de diseño por lo que será capaz de dar la fuerza necesaria para hacer girar el sistema:

Aparentemente este modelo de cilindro está sobredimensionado para casi el doble de la capacidad en la presente aplicación, sin embargo este modelo es el

único disponible en plaza que tiene la carrera necesaria que cumple con el parámetro de selección por geometría.

4. La Estructura.

El diseño de la estructura está basado en las dimensiones del mecanismo de giro del horno, pues la estructura sostendrá el horno por medio de ejes montados sobre chumaceras fijadas a la estructura.

Al diseñar la estructura se consideraron 2 pasos, primeramente se realizó un cálculo que permitió determinar el perfil de acero con el que se diseñará la estructura completa; segundo se realizó un modelo simplificado del horno para realizar una simulación de la estructura diseñada en el Software ALGOR.

a) Comparación de perfiles.

Para definir el perfil de acero que se utilizará en el diseño de la estructura, se realizó un cálculo de comparación entre distintos perfiles, considerando que los puntos más críticos de la estructura serán las columnas que sostendrán el eje de giro del horno. Por lo tanto la comparación de perfiles se realizará utilizando las ecuaciones para pandeo de columnas de Euler y Johnson [6].

Los perfiles comparados son:

- Perfil circular sólido.
- Perfil circular hueco.
- Perfil cuadrado sólido.
- Perfil cuadrado hueco.

De estos cálculos se puede concluir que el perfil cuadrado hueco es el que puede resistir mayores esfuerzos de alabeo, no importando si es columna “larga” o “intermedia”, por lo tanto el diseño de la estructura se realizará con este perfil.

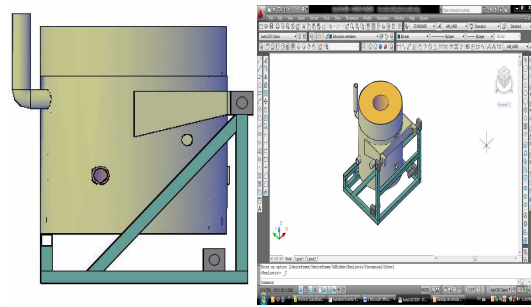


Fig.11 -Imagen de sistema horno – estructura, vista frontal e isométrica.

b) Simulación de la Estructura.

La simulación de la estructura se dividió en dos partes, la primera fue una simulación de esfuerzos estáticos (Static Stress Analysis) en la posición estática del horno (posición 1) como se muestra en la Fig. 12 y la segunda será una simulación de esfuerzos estáticos (Static Stress Analysis) en la posición de vertido de aluminio del horno (posición 2) como se muestra en la Figura 15.

Para realizar la simulación en el software ALGOR, primeramente se construyó un modelo simplificado del sistema horno – estructura, que se ha dividido en 2 partes principales, el horno y la estructura.

Posición 1

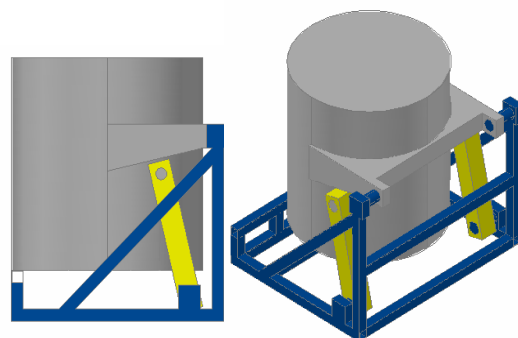


Fig.12 -Imagen de modelo del sistema horno - estructura en su posición estática.

En la simulación de esfuerzos estáticos se consideró únicamente la carga del peso del horno, y se estableció como condición

de frontera que la superficie inferior de la estructura estuviese anclada al suelo.

es capaz de soportar al horno en esta posición sin que sus elementos se deformen significativamente.

Resultados:

Esfuerzos

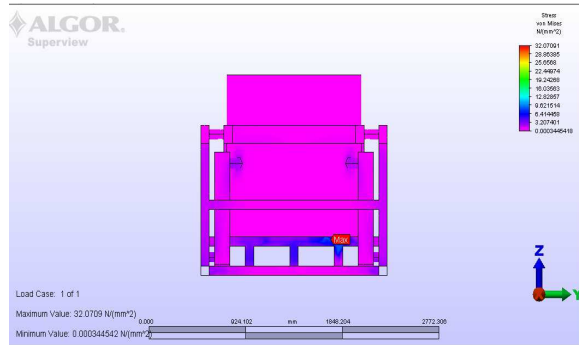


Fig.13 -Resultado de simulación del horno y estructura, en la que el esfuerzo de Von Mises máximo es de 32.07 MPa.

El esfuerzo de Von Mises máximo obtenido en la simulación se encuentra en una de las columnas que sirven de apoyo al horno en su posición 1 y es de 32.07 MPa, este esfuerzo es menor al esfuerzo de diseño de 73.75 MPa, por lo tanto la estructura es capaz de sostener al horno sin que el material falle.

Desplazamientos

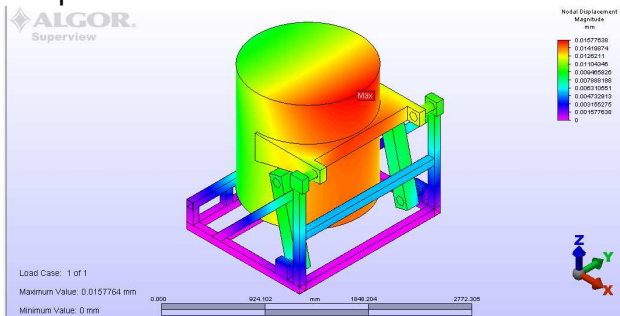


Fig. 14 -Resultado de simulación del horno y estructura, en la que el desplazamiento máximo es de 1.57×10^{-5} m.

El desplazamiento máximo encontrado en la simulación es de 1.57×10^{-5} m, el cual está en el rango de la centésima de 1 mm, por lo que este valor puede considerarse despreciable y de esta manera se comprueba que la estructura

Posición 2

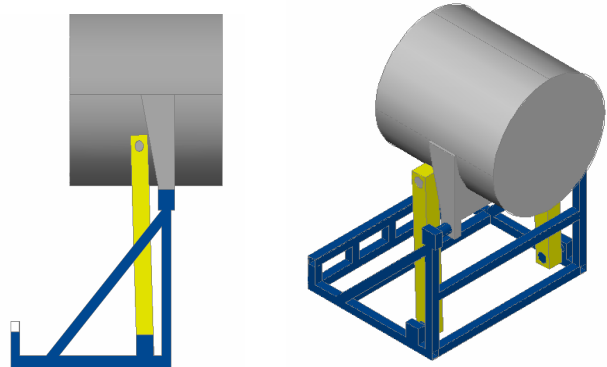


Figura 15 -Imagen de modelo del sistema horno - estructura en su posición de vertido de aluminio.

En la simulación de esfuerzos estáticos se consideró únicamente la carga del peso del horno, y se estableció como condición de frontera que la superficie inferior de la estructura estuviese anclada al suelo.

Resultados:

Esfuerzos

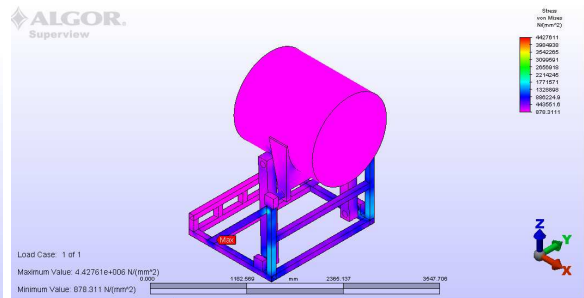


Fig.16 -Resultado de simulación del horno y estructura, en la que el esfuerzo de Von Mises máximo es de 4.43 MPa.

El esfuerzo de Von Mises máximo obtenido en la simulación se encuentra en la sección de unión de los elementos diagonales con la base de la estructura en su posición 2 y es de 4.43 MPa, este esfuerzo es menor al esfuerzo de diseño de 73.75 MPa, por lo tanto la estructura

es capaz de sostener al horno sin que el material falle.

Desplazamiento

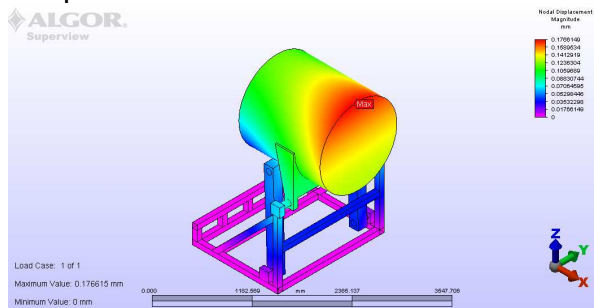


Fig.17 -Resultado de simulación del horno y estructura, en la que el desplazamiento máximo es de 1.77×10^{-4} m.

El desplazamiento máximo encontrado en la simulación es de 1.77×10^{-4} m, el cual está en el rango de las décimas de 1 mm, por lo que este valor puede considerarse despreciable y de esta manera se comprueba que la estructura es capaz de soportar al horno en esta posición sin que sus componentes se deformen significativamente.

5. Accesorio para llenado de moldes.

Para el sistema de llenado de moldes se ha considerado utilizar un sistema de vertedero – distribuidor, que permite 2 grados de libertad, un giro vertical y uno horizontal.

Para diseñar este sistema se ha considerado como parámetros principales que posea un 30% de la capacidad volumétrica de aluminio fundido del horno y que posea un rango de movimiento de 20° de giro vertical, y 180° de giro horizontal.

El vertedero se ha considerado como un recipiente cuadrado con una altura suficiente para evitar que al verter el aluminio fundido, este chispee.

El distribuidor del aluminio fundido, se fabricará con tubo de 2" de diámetro interno, de $\frac{1}{2}$ " de espesor y de 1m de longitud. A este sistema se le soldarán unas barras en un punto cercano a su extremo, para poder controlar manualmente el sistema vertedero-distribuidor.

Para permitir los dos grados de libertad de movimiento del accesorio se tiene que: En el caso del giro vertical, se han colocado dos ejes a cada lado del vertedero, que se montan sobre dos chumaceras que estarán soldadas a unas barras. Estas barras serán las encargadas de conectar el mecanismo para el giro vertical con el del giro horizontal.

Para el giro horizontal se ha considerado que una sola columna anclada al suelo sostendrá el peso completo del accesorio, y es sobre esta columna que se colocará una chumacera la cual estará unida a dos barras soldadas a las chumaceras que permiten el giro vertical.

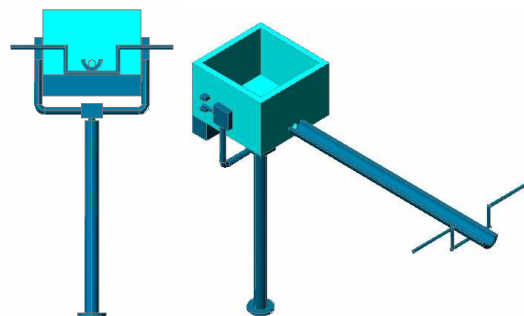


Fig.18 -Imagen frontal y 3D del accesorio para llenado de moldes.

Es necesario restringir el giro vertical, por lo que esta restricción se ha considerado de 20° , donde se tendrán 15° de inclinación para verter el aluminio a los moldes y 5° de inclinación para detener el vertido. Para realizar mecánicamente esta restricción se han colocado dos topes a cada lado del vertedero, los cuales actúan

cuando unas barras soldadas a las chumaceras hagan contacto con ellos.

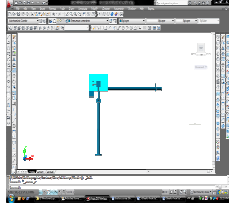


Fig.19 -Imagen lateral del accesorio para llenado de moldes, en la que se muestra la restricción del giro vertical.

Finalmente se debe de considerar que el sistema en su posición inicial debe evitar el vertido de aluminio, por lo que se realizó un cálculo del contrapeso que mantuviese esta posición, el cual debe tener una masa de 12.72 kg de acero.

Para lograr el efecto deseado, este contrapeso se colocará en la parte inferior del vertedero y contraria al distribuidor como se muestra en la Figura 19.

6. Accesorios del Horno de Fundición de Aluminio.

Para asegurar un buen proceso de fundición es necesario definir los accesorios que permitirán controlar y mejorar el proceso.

Los accesorios más importantes para asegurar una buena fundición son los siguientes.

a) Medidor de Temperatura.

Para poder medir la temperatura del aluminio líquido se introducirá un pirómetro en el crisol, dicho pirómetro estará conectado a un PLC que controlará el encendido y apagado del quemador, de tal manera que se pueda regular la temperatura del sistema, específicamente la temperatura de colada.

El pirómetro medirá la temperatura únicamente durante el proceso de

fundición, posteriormente dicho pirómetro se retirará del crisol de tal forma que el horno pueda balancearse sin ningún obstáculo.

El pirómetro seleccionado, marca LHMARSHALL [7], es de tipo lanza de 787 mm de longitud, ideal para aplicaciones de fundición de metales. Su principal función es la de actuar como un sensor de temperatura para controlar el PLC.



Fig.20 - Pirómetro marca LHMARSHALL.

El mecanismo de ingreso del pirómetro es como el que se muestra en las siguientes figuras [8]:



Fig.21 - Pirómetro montado en estructura marca Morgan, posicionado fuera del crisol.



Fig.22 - Pirómetro montado en estructura marca Morgan, posicionado dentro del crisol.

La estructura del pirómetro posee las siguientes características

- Rotación de 360° grados
- 1 metro de alcance y 1 metro de elevación
- Brazo con contrapeso
- Sistema de autobloqueo
- Ajuste rápido del Pirómetro

b) Sistema de Control de Temperatura.

Para poder llevar un control exacto de la temperatura de colada, es necesario controlar el encendido y apagado del quemador; para ello se utilizará un control lógico programable, PLC, el cual funcionará como termostato para estabilizar la temperatura del sistema a la temperatura de colada deseada.

El PLC seleccionado es el LOGO! de SIEMENS [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.], ya que posee la característica que es de fácil programación y de bajo costo; y este se ajusta fácilmente a la aplicación deseada.



Fig. 23 - PLC LOGO! marca SIEMENS

c) Mecanismo de Desgasificación.

Para el mecanismo de desgasificación de gases de aluminio líquido, se pretende utilizar el desgasificador tipo lanza, diseñado por la empresa PALMER [10].

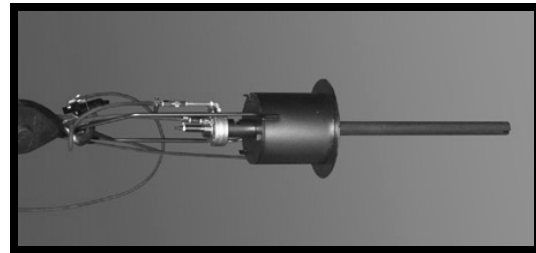


Fig.24 - Desgasificador PALMER

El desgasificador rotativo portátil ha sido diseñado para utilizarse exclusivamente en aplicaciones de fundición de aluminio en cantidades desde 70 lb, hasta 500 lb. Tiene un tiempo estimado de desgasificación de 1 a 3 minutos. Consta de una lanza rotativa de 24" de longitud, la cual es sumergida en el aluminio líquido. La rotación de la lanza viene dada por un motor de $\frac{3}{4}$ HP de velocidad variable. Nitrógeno seco es inyectado a través de la lanza rotativa para realizar el proceso de desgasificado del aluminio.

El propósito de utilizar un desgasificador, es para poder limpiar las impurezas que lleva el aluminio líquido, con el propósito final de lograr un mejor acabado de las piezas fundidas al solidificarse. Debe

tomarse en cuenta que el proceso de desgasificado no elimina las impurezas, únicamente las saca a flote, por lo que es necesario extraerlas de la superficie de aluminio líquido.

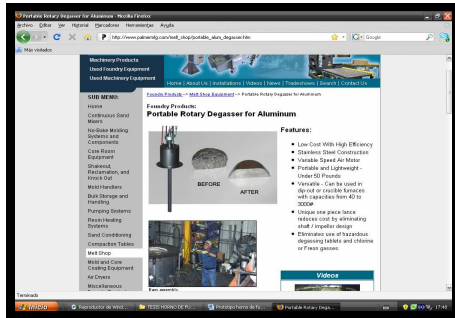


Fig.25 - Muestras de piezas antes y después del desgasificado.

El hecho que la lanza sea rotativa, ofrece dos ventajas considerables:

- Se realiza un mejor proceso de desgasificado debido a la turbulencia que se genera por le movimiento rotativo.
- El movimiento rotativo ayuda a mezclar el aluminio líquido.

d) Puente Grúa.

El desgasificador marca PALMER estará sostenido por un puente grúa manual con capacidad de 1.5 TON de la marca FELTES [11].



Fig.26 - Puente grúa tipo FELTES.

Este puente grúa tiene la versatilidad que gracias a su compacto diseño puede ser utilizado en operaciones varias dentro del taller de fundición.

e) Escaleras con Plataforma.

Para poder tener acceso al crisol a lo largo del proceso de fundición, se ha seleccionado una escalera WAKU [12] con plataforma y barandales, que cumpla con los requisitos de seguridad deseados.

Este accesorio tiene una gran utilidad a la hora de cargar el crisol con la chatarra de aluminio, al igual que al extraer muestras y al remover las impurezas de la superficie.



Fig. 27 -Imagen de escaleras con plataforma de acceso al horno [12]

f) Otros Accesorios.

Para la carga de materia prima (chatarra) al horno de fundición y para la limpieza de impurezas de la superficie del aluminio líquido se propone utilizar herramientas convencionales. Este criterio de selección se basa en que el horno es pequeño y no

vale la pena construir un costoso mecanismo para carga y limpieza del mismo. A su vez se debe tomar en cuenta la selección de un cucharón para el vertido del aluminio.

Todos estos accesorios son elaborados por el fabricante de equipamiento para sistemas de fundición: VAUGHANS [13].

Pala para Carga de Aluminio

Para cargar la chatarra de aluminio al crisol se utilizará una pala convencional de acero similar a la que se presenta en la siguiente figura. Debe ser de acero para que no se deforme al entrar en contacto con el aluminio líquido a altas temperaturas (debe recordarse que el acero tiene un punto de fusión superior al que tiene el aluminio).



Fig. 28 - Pala para carga de aluminio.

Colador para Extracción de Impurezas

Se sabe que la chatarra de aluminio trae muchas impurezas que no son deseadas en la pieza final fundida, por lo que es necesario eliminarlas. Para ello se utiliza el desgasificador de aluminio explicado anteriormente. Sin embargo el desgasificador solo puede hacer que estas impurezas salgan a flote, posteriormente hay que sacarlas de la superficie y esto se logra por medio de un colador de acero como los que se muestran en la siguiente figura.



Fig. 29 - Colador para extracción de impurezas.

Cucharón para Obtención de Muestras

A pesar que los cucharones de acero para vertido usualmente se utilizan únicamente con hornos de fundición estáticos; siempre es recomendable tener cucharones para la obtención de muestras o como una segunda opción de vertido, por lo que este se propone como parte de los accesorios básicos.



Fig.30 - Cucharones para vertido de aluminio fundido.

7. Conclusiones.

Utilizar softwares modernos permite realizar tareas de cálculo en tiempos cortos, comparado con lo que este mismo cálculo tomaría si se realizare de forma manual.

El uso del programa Inventor permite definir las propiedades de los materiales de cada una de las partes del horno, de forma que esté puede conocer la distribución de masa del sólido completo.

De esta manera el software calcula fácilmente la ubicación del centro de masa del horno, lo que reduce en gran medida el tiempo que hubiese tomado el realizar este cálculo de forma manual.

El uso del programa ALGOR, permitió obtener información de esfuerzos y desplazamientos de la estructura que se ha diseñado en un tiempo reducido, que de otra forma hubiera tomado muchísimo más tiempo.

8. Referencias.

1. Diseño de un Horno para Fundir Aluminio; Capítulo 1, Trabajo de Graduación para el grado Ingeniero Mecánico; 2009.
2. Amand HB Crucibles; Morgan Molten Metal System; <http://www.morganmms.com/%5Cdocs%5C%5Clib%5Ccrucibles%5Cproductliterature%5Camandhb.pdf>.
3. Diseño de un Horno para Fundir Aluminio; Capítulo 3, Trabajo de Graduación para el grado Ingeniero Mecánico; 2009.
4. INVENTOR; <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=4246282>
5. CENTRAL HIDRAULICA; 29 Calle Poniente No. 1529, San Salvador; Tel: 2235-0822
6. Elementos de Máquinas; 1° edición; Bernard J. Hamrock, Bo Jacobson, Steven R. Schmid; MacGraw-Hill; 2000; p.899.
7. LHMARSHALL; <http://www.lhmarshall.com/marshallthermocouples.htm>
8. Morgan Molten Metal System; <http://www.morganmms.com/default.aspx?p=pyrostand>
9. SIEMENS; LOGO; www.siemens.com
10. Portable aluminum degasser; PALMER; http://www.palmermfg.com/melt_shop/portable_alum_degasser.htm
11. FELTES; <http://www.feltes-gmbh.de/>
12. Escaleras con Plataforma; <http://www.logismarket.es/ip/wakue-escaleras-escalera-desplazable-con-plataforma-y-barandilla-escalera-desplazable-con-plataforma-y-barandilla-432730.pdf>
13. VAUGHANS; <http://www.benjamin tools.com/catalogue/Foundry/index.htm>