

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

" Diseño y construcción de un sistema de inyección y agitación para
fabricación de aleaciones no ferrosas reforzadas con partículas
cerámicas nanométricas"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Marlon Ney Cercado Bueno

Cristhian Omar Yuquilema Guamán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la vida y tener una familia unida, y afrontar obstáculos imposibles.

A mis padres y hermanos que con su paciencia, dedicación y voluntad hacen lo posible para que alcancemos nuestro sueño de ser hombre de bien.

A nuestras familias y amigos que nos dieron el apoyo y motivación para culminar este ciclo universitario.

Agradecemos a la Doctora Ana Rivas Ferrin y al Dr. Clotario Tapia por darnos su apoyo y colaboración en todo momento para la finalización del proyecto integrador.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Marlon Ney Cercado Bueno

Cristhian Omar Yuquilema Guamán

Ana Luisa Rivas Ferrin, Ph.D.

Clotario Vladimir Tapia Bastidas, Ph.D.

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Cristhian Yuquilema
Guamán
Autor 1

Marlon Cercado
Bueno
Autor 2

Ana Rivas Ferrin, Ph.D.

Tutor de materia
integradora

Clotario Tapia Bastidas,
Ph.D.

Tutor de materia
integradora

RESUMEN

El siguiente proyecto de graduación trata sobre “Diseño y construcción de un sistema de inyección y agitación para la fabricación de aleaciones no ferrosas reforzadas con partículas cerámicas nanométricas”. Se estableció que el sistema de agitación estaría compuesto por un motor y un impulsor para la dispersión de partículas nanométricas de forma manual donde este sería acoplado a un horno de fundición tipo basculante. Además, el diseño para el almacenamiento de partículas debe ser de acero inoxidable y que dicho diseño debe permitir el flujo de gas inerte hacia el metal fundido, arrastrando las de una forma segura y rápida. Adicionalmente, se hizo un rediseño del horno de fusión, construyendo las partes faltantes y las rediseñadas para lograr un mejor funcionamiento y facilidades de operación. Se diseñó, adaptó e instaló todo el sistema eléctrico y la estructura externa para el acople de todos los componentes del sistema integrado de fusión, y colada, inyección de partículas y agitación.

El material para la estructura del soporte del agitador se la hizo de acero estructural A-500 donde consta de dos tubos, uno de 50,8mm y 76,2mm por 2mm de espesor con una altura de 1,85m y 0,90m, la cual soportara una carga de 10 kg. Para asegurar que la estructura no falle, se hizo un análisis estático por elementos finitos ANSYS. Además, se hizo por simulación la estructura de soporte para el horno basculante, de material acero estructural ASTM A36 perfil tipo C con el fin de verificar si es capaz de soportar todo el peso del horno (600lb). El agitador mecánico se compone de un impulsor tipo turbina conectada a un eje de 13mm de diámetro y acoplado a un motor de ¼ hp, y controlado con un variador de velocidades para llegar a una velocidad de rotación de 800 rpm. Además, se estimó que el tiempo de inmersión del agitador fue de 5 minutos.

El diseño del inyector está compuesto por válvulas de presión, tubería de 13mm de diámetro, accesorios (codo, acoples, neplo) y un recipiente para almacenar las partículas nanométricas por lo que todo el sistema de inyección fue hecho de acero estructural. Se estimó el tiempo de desgasificación de 2 minutos con lo cual se podrá disminuir las porosidades del metal fundido durante la solidificación.

Palabras claves: Horno eléctrico tipo basculante, inyector de partículas, agitador mecánico, solidificación, desgasificación del metal fundido, tiempo de inmersión.

ABSTRACT

The following graduation project is about "Design and construction of an injection and agitation system for the manufacture of non-ferrous alloys reinforced with nanoscale ceramic particles". It was established that the agitation system would be composed of a motor and an impeller for the dispersion of nanometric particles manually where it would be coupled to a tilting type cast iron furnace. In addition, the design for the storage of particles should be stainless steel and this design should allow the flow of inert gas to the molten metal, dragging them safely and quickly. Additionally, a redesign of the melting furnace was made, building the missing and redesigned parts to achieve better operation and operation facilities. It was designed, adapted and installed all the electrical system and the external structure for the coupling of all the components of the integrated system of fusion, and casting, injection of particles and agitation. The material for the structure of the agitator support was made of structural steel A-500 where it consists of two tubes, one of 50.8mm and 76.2mm by 2mm thickness with a height of 1.85m and 0.90m, the which will support a load of 10 kg. To ensure that the structure does not fail, a static ANSYS static analysis was done. In addition, the support structure for the tilting furnace was made by simulation of steel structural material ASTM A36 profile type C in order to verify if it is capable of supporting the entire weight of the furnace (600lb). The mechanical agitator is composed of a turbine-type impeller connected to an axis of 13mm in diameter and coupled to a motor of ¼ hp and controlled with a variable speed drive to reach a rotation speed of 800 rpm. In addition, it was estimated that the immersion time of the agitator was 5 minutes. The design of the injector is composed of pressure valves, 13mm diameter pipe, accessories (elbow, couplings, neplo) and a container to store the nanometric particles so the entire injection system was made of structural steel. The degassing time of 2 minutes was estimated, with which the porosities of the molten metal during solidification can be reduced.

Keywords: Electric tilting type furnace, particle injector, mechanical agitator, solidification, degassing of molten metal, Immersion time.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 Requerimientos	1
1.1.2 Restricciones.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Marco teórico	3
1.3.1 Aleaciones.....	3
1.3.2 Aluminio y sus aleaciones	4
1.3.3 Materiales compuestos con matriz de aluminio.....	7
1.3.4 Agitadores	8
CAPÍTULO 2.....	11
2. Metodología	11
2.1 Investigación preliminar	11

2.2	Generación de conceptos	11
2.2.1	Descomposición Funcional	11
2.2.2	Selección de la solución	12
2.3	Selección	13
2.3.1	Material de la estructura	13
2.3.2	Mecanismo de elevación del sistema de agitación.....	15
2.3.3	Material para diseño del eje del agitador y la tubería del inyector.....	17
2.4	Selección de la mejor alternativa	19
2.5	Tipos de agitadores y selección de la mejor alternativa	19
2.6	Inyector y selección de la mejor alternativa.	20
2.7	Selección del gas para distribución de las partículas	20
2.8	Cálculos	21
2.8.1	Dimensionamiento del impulsor	21
2.8.2	Calculo de potencia del motor para la agitación.....	23
2.8.3	Calculo de fuerza ejercido por el fluido	26
2.8.4	Calculo de diámetro del eje	28
2.8.5	Diseño para el soporte del agitador.....	32
2.8.6	Diseño del inyector de partículas cerámicas con argón	37
2.8.7	Tiempo de agitación con partículas cerámicas	39
2.8.8	Calculo de presión mínima a vencer para el diseño del inyector	44
2.8.9	Calculo de sistema eléctrico.....	45
2.8.10	Selección de calibre de cable.....	46
CAPÍTULO 3.....		47
3.	Resultados	47
3.1	Análisis de resultados de los cálculos	47
3.1.1	Sistema de agitación	47

3.1.2	Sistema de inyección	48
3.1.3	Sistema eléctrico	48
3.2	Simulación del sistema de agitación y estructura del horno basculante	49
3.2.1	Datos de entrada: simulación - estructura del horno basculante.....	49
3.2.2	Datos de entrada: simulación – estructura del agitador	50
3.3	Construcción del equipo	52
3.3.1	Herramientas e instrumentos de medición para la construcción	52
3.3.2	Construcción de estructura de soporte y montaje del horno	53
3.3.3	Construcción del sistema de agitación	55
3.3.4	Construcción de sistema de inyección	57
3.3.5	Construcción del sistema eléctrico y de control	59
3.4	Análisis de costo	62
3.4.1	Gastos realizados en la construcción del sistema.....	62
CAPÍTULO 4.....		65
4.	Discusión y Conclusiones	65
4.1	Conclusiones	66
4.2	Recomendaciones	67

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Standards Organization
ANSI	American Society for Testing and Materials
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Pr	Prandtl
Nu	Nusselt
Re	Reynolds
CFD	Computational Fluid Dynamics

SIMBOLOGÍA

I_t :	Corriente total nominal
g	Gravedad, 9,81 m/s ²
β :	Coefficiente de expansión volumétrica
L_c :	Longitud característica de la configuración geométrica
ν :	Viscosidad cinemática del fluido, m ² /s
T_s :	Temperatura de la superficie, °C
T_∞ :	Temperatura del fluido lejos de la superficie, °C
Nu :	Numero de Nusselt
Q_{conv} :	Calor convectivo, W
A_s :	Área de la superficie
h :	Coefficiente de transferencia de calor por convección, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
α :	Coefficiente de expansión lineal, °C ⁻¹
Re :	Numero de Reynolds
D_a :	Diámetro del impulsor, mm
H :	Altura del líquido fundido, mm
D_t :	Diámetro del crisol, mm
w :	Ancho del impulsor, mm
L :	Longitud de la pala del impulsor, mm
ρ :	Densidad del material
N :	Velocidad rotacional, rev/s
μ :	Viscosidad cinemática del aluminio fundido, kg/ms
N_p :	Numero de potencia
F :	Fuerza ejercida por el fluido, N
P_c :	Potencia del motor corregido, W
P :	Potencia del motor sin corregir, W
T :	Torque del motor eléctrico, Nm
τ :	Esfuerzo torsional, MPa
σ :	Esfuerzo axial, MPa
η :	Factor de seguridad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Principales aleaciones de aluminio	4
Figura 1.2 Diagrama de fase de la aleacion aluminio-silicio	6
Figura 1.3 Rotores de freno – metal matrix composite	7
Figura 1.4 Tipos de paletas y líneas de flujo.....	9
Figura 1.5 Formas del impulsor turbina y líneas de flujo.....	9
Figura 1.6 Tipos de hélices y líneas de corriente.....	10
Figura 2.1 Metodología de diseño.....	11
Figura 2.2 Posicion del agitador en el interior del crisol.....	21
Figura 2.3 Parámetros de diseño del agitador	22
Figura 2.4 Número de potencia vs número de Reynolds: tipos de impulsores	25
Figura 2.5 Coeficiente de arrastre para $Re > 104$	26
Figura 2.6 Diagrama de fuerzas del agitador mecánico.....	27
Figura 2.7 Desplazamiento de fuerzas	30
Figura 2.8 Estructura de soporte del agitador	32
Figura 2.9 Deflexión de viga en voladizo	34
Figura 2.10 Voladizo de sección circular soldada a un soporte	35
Figura 2.11 Densidad del aluminio liquido vs tiempo de desgasificación.....	38
Figura 2.12 Solubilidad de hidrogeno a 1 atm con 99,99% aluminio puro	38
Figura 2.13 Eficiencia en la desgasificación vs diámetro de las burbujas.....	39
Figura 2.14 Variación conductividad térmica vs temperatura y sus aleaciones	40
Figura 2.15 Flujo por convección natural sobre una placa horizontal caliente	42
Figura 3.1 Simulación estática por Von Mises	49
Figura 3.2 Simulación por deformación	50
Figura 3.3 Ubicación de la fuerza aplicada - ANSYS.....	50
Figura 3.4 Simulación de esfuerzo Von Mises por estática - agitador	51
Figura 3.5 Simulación por deformación - agitador	52
Figura 3.6 Construcción de la estructura	54
Figura 3.7 Montaje de horno.....	55
Figura 3.8 Construcción de sistema de agitacion	57

Figura 3.9 Construcción de sistema de inyeccion.....	59
Figura 3.10 Construcción de sistema electrico	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Nomenclatura de las aleaciones de aluminio.....	5
Tabla 1.2 Propiedades mecánicas de los materiales seleccionados en fundición.....	6
Tabla 2.1 Criterios de diseño selección estructura - mecanismo de elevación.....	13
Tabla 2.2 comparación por pares	14
Tabla 2.3 Matriz de selección	15
Tabla 2.4 Comparación por pares.....	16
Tabla 2.5 Matriz de selección	16
Tabla 2.6 Criterios de diseño para la selección del material del eje - inyector.....	17
Tabla 2.7 Comparacion por pares – Sistema de agitación e inyección.....	18
Tabla 2.8 Matriz de selección – Sistema de agitación e inyección	18
Tabla 2.9 Selección del impulsor - características.....	20
Tabla 2.10 Tipos de desgasificantes para fundición de aluminio	21
Tabla 2.11 Densidad del aluminio sometido a altas temperaturas.....	24
Tabla 2.12 Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304	28
Tabla 2.13 Iteración del diámetro del eje por análisis estático.....	29
Tabla 2.14 Coeficiente del factor de superficie	30
Tabla 2.15 Coeficiente factor de tamaño	30
Tabla 2.16 Coeficiente factor de confiabilidad	31
Tabla 2.17 Factor de correccion a diferentes temperaturas.....	31
Tabla 2.18 Propiedades del acero estructural ASTM A500	33
Tabla 2.19 Iteración del diámetro ideal para soporte del agitador	34
Tabla 2.20 Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete	36
Tabla 2.21 Tamaño mínimo (garganta) de soldadura de filete	36
Tabla 2.22 Propiedades mínimas del material de aporte.....	37
Tabla 2.23 Valores típicos de coeficiente de calor por convección.....	40
Tabla 2.24 Propiedades físicas del aluminio en estado sólido y líquido	41
Tabla 2.25 Coeficientes de la conducción de calor en régimen transitorio	44
Tabla 2.26 Selección de calibre de cable	46
Tabla 3.1 Especificaciones del sistema de agitación.....	47
Tabla 3.2 Especificaciones - estructura de soporte del agitador.....	48

Tabla 3.3 Descripción del sistema de inyección	48
Tabla 0.1 Calores específicos de algunos metales y sustancias solidas	69
Tabla 0.2 Calor latente de algunos metales a 20 °C - 1 atm.....	70

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano – Diseño del sistema de inyección de partículas.
- PLANO 2 Plano – Diseño del sistema de agitación mecánico.
- PLANO 3 Plano – Estructura de soporte para horno basculante.
- PLANO 4 Estructura de soporte – agitador mecánico
- PLANO 5 Plano – Base para soporte del agitador mecánico.
- PLANO 6 Plano – Tubo para desgasificación.
- PLANO 7 Vista isométrica del equipo completo.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En el área de materiales hay insuficiencias de equipos para la fusión de aleaciones no ferrosas y materiales compuestos de base metálica, así como para realizar tratamientos térmicos. Para atender estas necesidades, se planteó un proyecto que integra el diseño y construcción de un sistema conformado por un horno con capacidad para la fusión de materiales hasta 1100°C y facilidades para la adición de partículas nanométricas a la aleación, distribuidas homogéneamente en el baño metálico. El presente trabajo se plantea la culminación del proyecto iniciado en el primer término del año 2017. Para lograr este propósito, se requiere terminar la construcción del horno, así como también diseñar y construir los dispositivos para la inyección de partículas nanométricas y agitación del baño metálico, para la distribución homogénea de las partículas de refuerzo, así como el diseño y construcción del sistema basculante del horno el cual permitirá al usuario una óptima manipulación del material fundido disminuyendo notablemente los riesgos de quemaduras.

1.1.1 Requerimientos

Diseño de un sistema de inyección que permita añadir partículas de refuerzo a una fundición de Aluminio (Al) u otros metales no ferrosos.

Diseñar y construir un sistema de agitación que garantice la homogeneización de partículas de refuerzos con la fundición.

Diseñar y construir una estructura para el montaje de un horno basculante, un agitador y un inyector de partícula.

1.1.2 Restricciones

- Se necesita diseñar una estructura capaz de soportar el peso y temperatura exterior de un horno de resistencia basculante de 450 libras de masa, con temperaturas en su exterior de 100°C aproximadamente. Adicionalmente, la estructura debe constar de un sistema semiautomático o automático que

permita introducir y extraer el sistema de agitación en el horno de resistencias fácilmente.

- La estructura debe contar con un mecanismo automático o semiautomático que permita abrir y cerrar el horno de forma adecuada.
- El diámetro de la hélice del sistema de agitación no debe ser mayor a 90 mm, de diámetros y debe resistir los esfuerzos térmicos provocados por el calor que genera el horno de fundición.
- La hélice seleccionada para la agitación debe garantizar el mezclado uniforme de las partículas en el baño metálico fundido.
- El sistema de agitación debe accionarse mediante un motor eléctrico y la velocidad de rotación máxima seleccionada no debe provocar salpicaduras.
- El sistema de inyección debe ser capaz de añadir las partículas de refuerzo en el tiempo adecuado, el cual debe ser accionado con presión, mediante la inyección un gas inerte.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y construir un inyector de partículas y agitador mecánico para la fabricación de materiales compuestos no ferrosos reforzados con partículas duras de materiales cerámicos, para la obtención de materiales de alta resistencia mecánica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un inyector apropiado de partículas cerámicas de refuerzo con base en las variables que intervienen en el proceso.
- Diseñar el agitador mecánico con control automático de velocidades para lograr una distribución homogénea de las partículas de refuerzo y garantizar su adecuada dispersión en el baño metálico.
- Verificar y validar el diseño de todo el sistema de fundición mediante herramientas computacionales.
- Construir el inyector y agitador del baño haciendo uso de las capacidades de mecanizado existentes en la institución.

- Validar el funcionamiento del sistema, mediante pruebas de fusión y adición de las partículas de refuerzo y colada.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Aleaciones

1.3.1.1 Definición.

Una aleación es el resultado de la mezcla de dos o más componentes, para la obtención de materiales con una diversidad de propiedades para satisfacer la demanda. Las propiedades y comportamiento en servicio de los metales y sus aleaciones dependen de su composición, estructura, procesamiento y condiciones operacionales a las cuales esté sometido. Los materiales metálicos pueden fabricarse mediante una serie de procesos que involucran deformación plástica como laminación, forja y extrusión, por fundición a través de fusión y colada a su forma final o por pulvimetalurgia. Este tipo de aleaciones se dividen en ferrosas y no ferrosas, si su elemento mayoritario es o no hierro (Molera, 1990).

1.3.1.2 Clasificación.

Aleaciones ferrosas

Este tipo de aleación tiene un alto contenido de hierro aproximadamente entre 60% y 98% en peso y carbono. Se clasifican en aceros y fundiciones, por ende, son apreciados debido a su resistencia a la tracción y durabilidad (Grandfield, 2016).

Aleaciones no ferrosas

Los metales no ferrosos incluyen elementos metálicos y aleaciones constituidas mayoritariamente por elementos distintos al hierro. Los principales metales de ingeniería no ferrosos más comunes son a base de aluminio, cobre, magnesio, níquel, el titanio, zinc y sus aleaciones.

El grupo de metales no ferrosos se usan en aplicaciones que demandan resistencia a la corrosión y relaciones resistencia-peso elevadas. Por ejemplo, cobre es usado como conductor eléctrico, además posee baja

resistividad eléctrica. El aluminio posee muchas aplicaciones como intercambiadores de calor y utensilios de cocina, además excelente conductor térmico (Jimeno, 2004).

1.3.2 Aluminio y sus aleaciones

1.3.2.1 Definición

El aluminio y sus aleaciones se caracterizan por la baja densidad que presenta ($2,7 \text{ g/cm}^3$) con respecto a los aceros ($7,9 \text{ g/cm}^3$) y su principal ventaja se debe a la facilidad de endurecerse durante el trabajo en frío, dando un incremento de la resistencia a tracción y su dureza (Callister, 2007).

La Figura 1.1 muestra las principales aleaciones de aluminio para productos procesados por deformación plástica, se encuentran disponibles como productos de laminación, extrusión, estirado y forjado. También existen el grupo de aleaciones de aluminio obtenidas por fundición, siendo la más utilizada la de Al-Si (Groover, 1997)

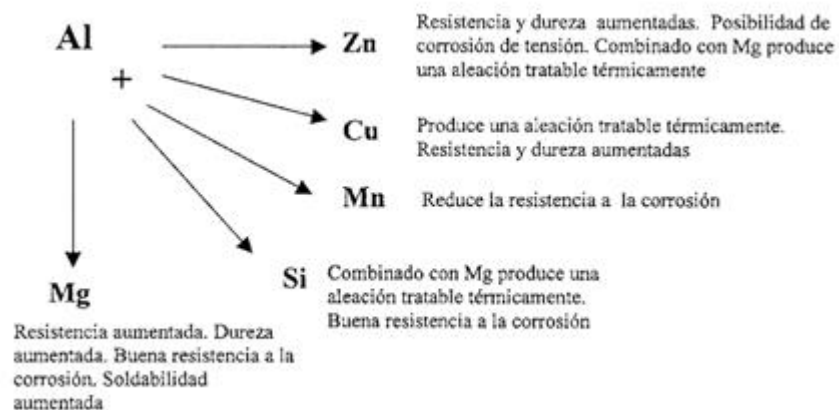


Figura 1.1 Principales aleaciones de aluminio

Fuente: Gil Mur, 2001

1.3.2.2 Designación de las aleaciones de aluminio fundidas

La designación SAE para aleaciones de aluminio está codificada en cuatro dígitos. El primer dígito indica el grupo de aleación principal, el segundo dígito indica ciertas impurezas y las dos últimas cifras indican el porcentaje de aluminio por encima de 99%, tal como se especifica a continuación. Nomenclatura de las aleaciones de aluminio.

Tabla 1.1 Nomenclatura de las aleaciones de aluminio

Elementos principales de aleación	Designación
99% de aluminio	1XXX
Cobre	2XXX
Manganeso	3XXX
Silicio	4XXX
Magnesio	5XXX
Magnesio – silicio	6XXX
Zinc	7XXX
Otros elementos	8XXX

Fuente: Gil Mur, 2001

La serie 4xxx.- su principal elemento aleante es el silicio (Si) que suele añadirse en cantidades elevadas (por encima del 12%) con el fin de obtener un bajo rango de fusión de la aleación del punto eutéctico. El objetivo es conseguir una aleación que funda a una temperatura más baja que el resto de aleaciones de aluminio para usarlo como elemento de soldadura. Sus aplicaciones: partes de puentes grúa y fabricación de pistones de motores (Gill Mur, 2001).

La aleación aluminio silicio forma un sencillo diagrama eutéctico a 574°C con un 11,7% de silicio, como se muestra en la siguiente figura.

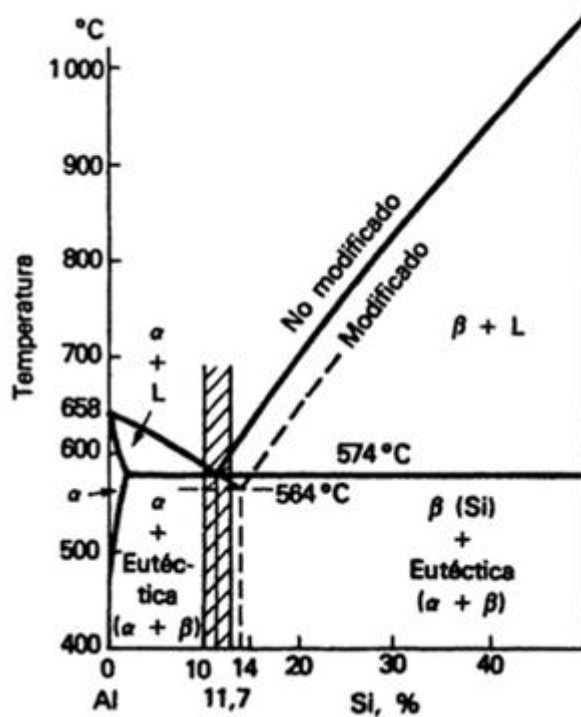


Figura 1.2 Diagrama de fase de la aleación aluminio-silicio

Fuente: Molera, 2004

En la siguiente tabla 1.2 se muestra las propiedades mecánicas de la aleación Al-Si a distinto peso contenido en silicio.

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas de los materiales seleccionados en fundición

Aleaciones	Esfuerzo ultimo a la tensión, MPa	Densidad ρ , Kg/m ³	Esfuerzo específico, m ² /s ²
Aluminio puro, Al	78	2699	0,03
Al - 7% Si, T6	210	2685	0,09
Al - 5% Si – 2% Cu, T6	310	2690	0,12
Al - 9% Si, T6	240	2650	0,10
Al – 20% Si, T6	200	2650	0,08
Hierro, Fe	1,9	7650	0,00024
Acero al carbono fundido	650	7850	0,08

Fuente: Warmuzek, 2004

1.3.3 Materiales compuestos con matriz de aluminio

1.3.3.1 *Material compuesto*

Un material compuesto está constituido por la combinación de diferentes materiales con el fin de obtener un nuevo material con unas propiedades y características determinadas (Besednjak A., 2005)

1.3.3.2 *Compuestos de matriz metálica (MMC)*

Los MMC están constituido por un metal o matriz y un reforzante que puede ser en fibras o partículas cerámicas o metálicas. Los materiales metálicos de uso común son las aleaciones ligeras de Al, Ti y Mg ya que poseen grandes ventajas.

1.3.3.3 *Matriz de aluminios reforzados con otros materiales*

La fabricación de compuestos de matriz de aluminio reforzado con fibras continuas es compleja y cara, su principal aplicación está en la industria aeroespacial. En cambio, los materiales compuestos de base de aluminio reforzadas con partículas permiten mejorar las propiedades mecánicas de forma adecuada y además son más baratas con relación a las fibras continuas (A. Miravete, 1993).



Figura 1.3 Rotores de freno – metal matrix composite

Fuente: John Gilbert, 2004

1.3.3.4 *Materiales de refuerzo*

Carburo de silicio

Las partículas de carburo de silicio (SiC) son uno de los refuerzos discontinuos utilizados en la matriz de aluminio dado que proporciona al compuesto alta resistencia y modulo elástico.

Alúmina

Este tipo de refuerzo es más inerte en comparación al SiC y más resistente a la corrosión la cual es conveniente para fabricación y aplicable a altas temperaturas (A. Miravete, 1993).

1.3.4 Agitadores

1.3.4.1 Definición

Un agitador es un dispositivo manual o mecánico, utilizado en una variedad de procesos para poner líquidos en movimiento (circulatorio por lo general), en el interior de un recipiente abierto o semicerrado. Se utilizan en procesos para la preparación de emulsiones, suspensiones de distintas sustancias, etc. A diferencia del manual, el mecánico es accionado por un motor eléctrico, lo cual proporciona una mayor homogeneización de las sustancias involucradas (Julian Smith, 2003).

1.3.4.2 Tipos de agitadores

Existen dos tipos de agitadores, los de flujo axial que generan corrientes paralelas alrededor al eje del agitador, y los de flujo radial que producen una corriente del líquido en dirección tangencial o radial. Los principales agitadores aplicados en la industria son:

- **Flujo radial**

Impulsor de paleta.

Está formado por dos o tres paletas planas, la cual gira sobre un eje vertical. Su velocidad de operación está entre 20 y 150 rpm. Estas paletas deben girar a velocidades bajas en el centro del recipiente, impulsando al fluido de forma radial. Son útiles para evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor (Julian Simth, 2003)

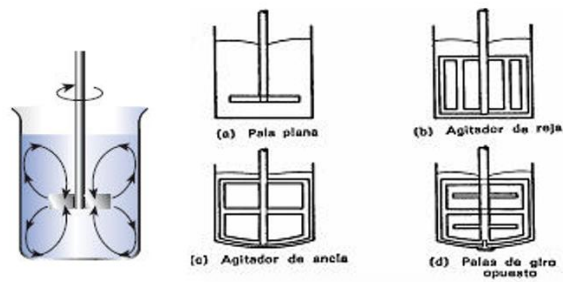


Figura 1.4 Tipos de paletas y líneas de flujo

Fuente: Lab. Bochem, 2014

Impulsor turbina

Se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido dentro del recipiente; es decir el gas entra por la parte inferior del eje del rodete, las aletas rompen las burbujas grandes con el fin de aumentar el área interfacial entre el gas y el líquido. Pueden girar a altas velocidades, además su forma puede ser rectas o curvas, inclinadas o verticales y su diámetro varía entre 30 y 50% del diámetro del tanque. Son eficientes a altas viscosidades (Julian Simth, 2003)

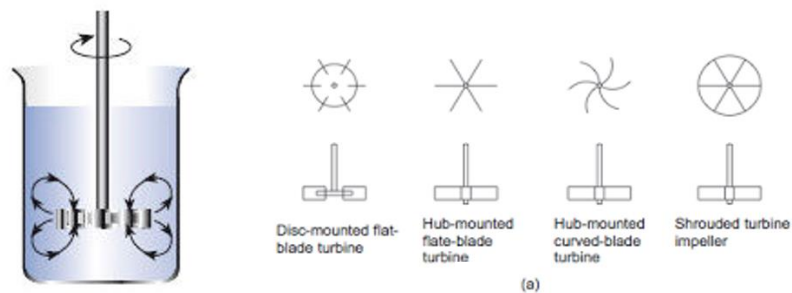


Figura 1.5 Formas del impulsor turbina y líneas de flujo

Fuente: Lab. Bochem, 2014

- **Flujo axial**

Impulsor de hélice

Este tipo de agitador opera a altas velocidades, se aplica a líquidos poco viscosos. Los agitadores más pequeños giran entre 1150-1750 rpm, con el fin de que giren a la velocidad del motor y los de mayor tamaño giran entre 400-800 rpm. Sus aplicaciones son en tanques de gran tamaño (Julian Simth, 2003)

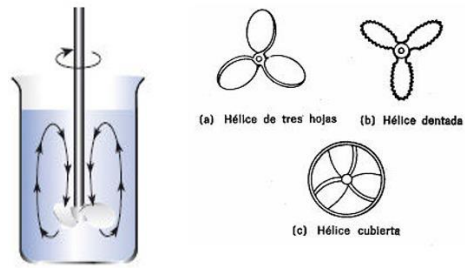


Figura 1.6 Tipos de hélices y líneas de corriente

Fuente: Lab. Bochem, 2014

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el proyecto se adopta la metodología de diseño propuesta por Norton, la cual se detalla en el flujograma representado en la Figura 2.1.

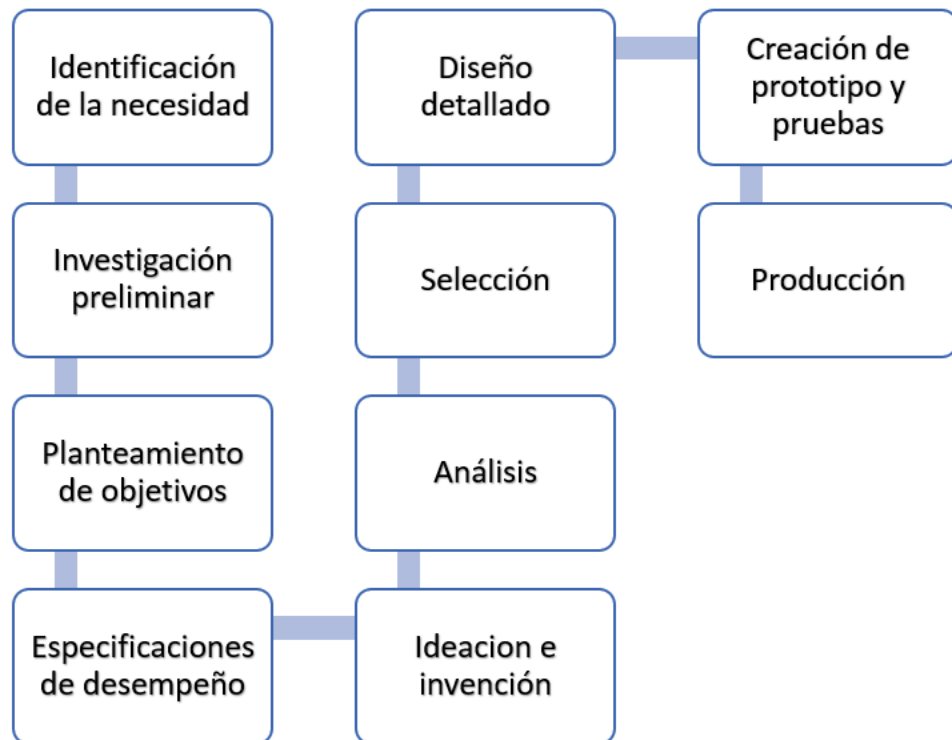


Figura 2.1 Metodología de diseño

Fuente: Norton, 2006

2.1 Investigación preliminar

En esta parte del proyecto se realizó una investigación a través de diferentes recursos tales como libros, catálogos, fuentes virtuales, entre otras fuentes de información. Esta información constituye el marco referencial para la selección de las mejores alternativas de trabajo.

2.2 Generación de conceptos

2.2.1 Descomposición Funcional

- Estructura
- Sistema de elevación para el agitador.
- Sistema de agitación

- Sistema de inyección

2.2.2 Selección de la solución

2.2.2.1 Matriz de selección

Según el texto un enfoque a través del diseño de Pablo Grech, una matriz de selección es una estructura que reúne información compacta, integrando todos los recursos necesarios para ver cuál es la mejor alternativa de solución (Norton, 2011).

2.2.2.2 Comparaciones por pares

Según Pablo Grech (2008), esta herramienta se emplea para asignar prioridades a los criterios de selección.

Para el siguiente proyecto se asignará la siguiente escala:

0: menos importante

1: más importante

2.2.2.3 Comparación de criterios respecto a las alternativas

La comparación de criterios se hará respecto a una ponderación de 1 a 5 donde 1 es la opción menos recomendable y 5 la más recomendable.

2.2.2.4 La selección

Se seleccionará a la alternativa que obtenga la mayor puntuación.

La puntuación se la realizara con la siguiente formula

$$P = \sum_{k=0}^n p_i * \%_i \quad \text{Ecuación 2.1}$$

P=puntuación.

p=ponderación de criterios

%=peso de criterio.

2.3 Selección

2.3.1 Material de la estructura

2.3.1.1 Alternativas de solución

Las alternativas seleccionadas deben cumplir con requerimientos importantes para el diseño:

Tabla 2.1 Criterios de diseño para la selección de la estructura y el mecanismo de elevación.

Resistente a la fluencia.	Garantiza la seguridad del Horno y de los operarios.
Resistente al calor.	Garantía que la temperatura exterior del horno no deteriore la estructura.
Resistente a la corrosión.	La resistencia a la corrosión contribuirá a la vida útil del proyecto.
Durabilidad.	Considera el tiempo de vida útil que tendrá el sistema de fundición.
Facilidad de construcción.	Se refiere a que no se utilizaran métodos complejos ni costosos de fabricación ya que estos provocarían costos innecesarios
Costo de mantenimiento.	Son los costos que se generaran a lo largo de la vida útil del sistema de fundición
Costo de fabricación.	Es de total importancia la optimización de costos dentro del proceso de diseño, para contribuir a la rentabilidad del mismo.

Fuente: Elaboración propia

Las alternativas disponibles de materiales que pudieran cumplir con estos requerimientos para algunas de las partes del sistema son:

Aluminio.

Acero inoxidable.

Acero estructural.

2.3.1.2 Criterios de selección

Según los requerimientos que debe tener el diseño se plantearon los siguientes criterios:

Resistente a la fluencia.

Resistente al calor.

Resistente a la corrosión.

Durabilidad.

Facilidad de construcción.

Costo de mantenimiento

Costo de fabricación

Tabla 2.2 comparación por pares

Criterios	Resistencia a la fluencia	Resistencia al calor	Resistente a la corrosión.	durabilidad	Costo de mantenimiento	Costo de fabricación	Total	Peso
Resistencia a la fluencia	1	1	1	1	1	1	6	0,29
Resistencia al calor	0	1	1	1	1	1	5	0,24
Resistente a la corrosión.	0	0	1	0	1	0	2	0,10
durabilidad	0	0	1	1	1	1	4	0,19
Costo de mantenimiento	0	0	0	0	1	1	2	0,10
Costo de fabricación	0	0	1	0	0	1	2	0,10
Total							21	1

Fuente: Pablo Grech, 2001

2.3.1.3 Matriz de selección

Tabla 2.3 Matriz de selección

criterios	Resistencia a la fluencia		Resistencia al calor		Resistente a la corrosión.		Durabilidad		Costo de mantenimiento		Costo de fabricación		Total
	calificación	peso	calificación	peso	calificación	Peso	calificación	Peso	calificación	peso	calificación	Peso	
Acero inoxidable	5	0,29	5	0,24	5	0,10	5	0,19	5	0,10	1	0,10	4,70
Acero estructural	5	0,29	5	0,24	2	0,10	5	0,19	5	0,10	5	0,10	4,80
Aluminio	3	0,29	3	0,24	5	0,10	5	0,19	5	0,10	4	0,10	4.06

Fuente: Pablo Grech, 2001

2.3.2 Mecanismo de elevación del sistema de agitación

2.3.2.1 Alternativas de solución

Las alternativas seleccionadas deben cumplir los mismos requerimientos de la estructura por lo tanto para esta solución se utilizará la tabla # 2.1

Las alternativas disponibles son:

Mecanismo tecla guía.

Mecanismo tornillo sin fin.

2.3.2.2 Criterios de selección

Según los requerimientos que debe tener el diseño se plantearon los siguientes criterios:

Resistente a la fluencia.

Resistente al calor.

Resistente a la corrosión.

Durabilidad.

Facilidad de construcción.

Costo de mantenimiento

Costo de fabricación

Tabla 2.4 Comparación por pares

Criterios	Resistencia a la fluencia		Resistencia al calor		Resistente a la corrosión.		durabilidad		Costo de mantenimiento		Costo de fabricación		Total	Peso
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Resistencia a la fluencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	0,29
Resistencia al calor	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	0,24
Resistente a la corrosión.	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0,19
durabilidad	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0,14
Costo de mantenimiento	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0,10
Costo de fabricación	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0,05
Total												21	1	

Fuente: Pablo Grech, 2001

2.3.2.3 Matriz de selección

Tabla 2.5 Matriz de selección

Criterios	Resistencia a la fluencia		Resistencia al calor		Resistente a la corrosión.		Durabilidad		Costo de mantenimiento		Costo de fabricación		total
	calificación	peso	calificación	peso	calificación	Peso	calificación	Peso	calificación	peso	calificación	peso	
Mecanismo tecla Guías	5	0,29	5	0,24	5	0,19	5	0,14	5	0,05	5	0,10	5,00
Mecanismo tornillo sin fin	5	0,29	5	0,24	4	0,19	5	0,14	2	0,05	1	0,10	4,29

Fuente: Pablo Grech, 2001

2.3.3 Material para diseño del eje del agitador y la tubería del inyector.

2.3.3.1 Alternativas de solución

Debido a que los dos sistemas estarán bajo las mismas condiciones de trabajo, se seleccionara el mismo material para ambos.

Tabla 2.6 Criterios de diseño para la selección del material del eje y del inyector

Resistencia a la termofluencia	Esta propiedad se evaluará, debido a que el eje estará sumergido en un fluido a alta temperaturas y sufrirá esfuerzos axiales y cortantes.
Resistencia a la corrosión.	Es importante que el material seleccionado sea resistente a la corrosión ya que con esto se evitara contaminación en la colada.
Durabilidad.	Permitirá al proyecto tener una vida útil mayor
Disponibilidad en el mercado.	Es importante ya que no tendremos que aumentar costos en importaciones.
Costo.	La importancia del costo final del proyecto será de total importancia. Ya que este definirá si el proyecto es o no es rentable.

Fuente: Propia

Las alternativas de solución son:

Acero inoxidable

Acero A 36

2.3.3.2 Criterios de selección

Según los requerimientos se plantean los siguientes criterios:

Resistente a la termofluencia.

Resistente a la corrosión.

Durabilidad.

Disponibilidad en el mercado.

Costo.

Tabla 2.7 Comparacion por pares – Sistema de agitación e inyección

	Resistencia a la termofluencia	Resistencia a la corrosión	Durabilidad	Disponibilidad en el mercado	Costos	total	Peso
Resistencia a la termofluencia	1	1	1	1	1	5	0,33
Resistencia a la corrosión	0	1	1	0	1	3	0,20
Durabilidad	0	0	1	0	1	2	0,13
Disponibilidad en el mercado	0	1	1	1	1	4	0,27
Costos	0	0	0	0	1	1	0,07
Total						15	1

Fuente: Pablo Grech, 2001

2.3.3.3 Matriz de selección

Tabla 2.8 Matriz de selección – Sistema de agitación e inyección

Criterios	Resistencia a la termofluencia		Resistencia a la corrosión		Durabilidad		Disponibilidad en el mercado		costos		TOTAL
	calificación	peso	calificación	peso	calificación	Peso	calificación	peso	calificación	peso	
Acero inoxidable	4	0,33	5	0,20	5	0,13	5	0,27	1	0,07	4,39
Acero A36	4	0,33	2	0,20	3	0,13	5	0,27	5	0,07	3,71

Fuente: Pablo Grech, 2001

2.4 Selección de la mejor alternativa

Evaluando cada una de las alternativas, se lograron escoger los siguientes materiales para cada una de las partes:

Estructura.

Acero estructural.

Mecanismos de elevación del inyector.

Mecanismo teche Guías.

Material para el diseño de eje del agitador.

Acero inoxidable.

Material para el diseño del inyector.

Acero inoxidable.

2.5 Tipos de agitadores y selección de la mejor alternativa

Flujo radial vs flujo axial.

Los agitadores de flujo radial son aquellos cuyas aspas o palas forma un ángulo de 90 grados con respecto al plano de rotación y para los de flujo axial el ángulo de las aspas o palas es menor a 90 grados.

Matriz de decisión: selección del impulsor.

En esta tabla se definen las características favorables para la selección del impulsor con el objetivo de dar una correcta homogeneización durante la mezcla de dos metales.

Para la selección del agitador se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

Homogeneización en el menor tiempo.

Forma sencilla del diseño de las palas.

Que provoque un régimen turbulento.

Transferencia de calor.

Tabla 2.9 Selección del impulsor - características

Impulsor:	Hélice	Paleta	Turbina
Dirección de flujo:	Radial	Radial	Axial
Régimen de flujo:	Turbulento/laminar	Turbulento	Turbulento/laminar
Homogenización:	Aceptable	Aceptable	Bueno
Líquido/líquido:	Bueno	Bueno	Aceptable
gas/líquido dispersión:	Aceptable	Recomendado	Aceptable
Transferencia de calor:	Aceptable	Bueno	Bueno

Fuente: Elaboración propia

2.6 Inyector y selección de la mejor alternativa.

El modelo del sistema de inyección de nuestro proyecto ya fue definido en el proyecto "Diseño y construcción de un sistema para la fabricación de aleaciones no ferrosas reforzadas con partículas cerámicas nanométricas" creado por los ingenieros Bryan Erasmo Samaniego Andrade y Edison Paul Tierra Tierra. Dentro de este proyecto se realizará la selección del material y cálculos correspondientes para hacer la respectiva fabricación.

2.7 Selección del gas para distribución de las partículas

El hidrogeno es el único gas soluble en aluminio y sus aleaciones debido a que la solubilidad aumenta rápidamente al aumentar la temperatura. Debido la presencia de hidrogeno durante la fundición del aluminio perjudica las

propiedades mecánicas del nuevo material (Al-Si), es decir habrá presencia de porosidades en su entorno.

Existen dos gases idóneos para eliminar la presencia de hidrogeno durante la colada: Argón y nitrógeno. A continuación, en la siguiente tabla se presentan las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 2.10 Tipos de desgasificantes para fundición de aluminio

Desgasificantes	Costo	Tiempo	Energía	Remoción de hidrogeno	Niveles de producción
Nitrógeno (N ₂)	Bajo	Más prolongado	Aumenta	Poca	Disminuyen
Argón (Ar)	Alto	Menos prolongado	Disminuye	Alto	Aumentan

Fuente: INFRA, 2014

2.8 Cálculos

2.8.1 Dimensionamiento del impulsor

De acuerdo selección del impulsor tipo turbina para la generación de flujo turbulento dentro del crisol, se realiza el dimensionamiento del impulsor con respecto a las especificaciones de Mecanotecnia. Ver figura 2.2 – 2.3

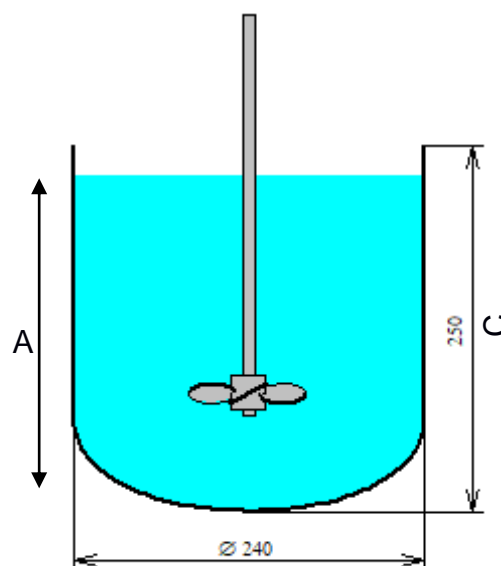


Figura 2.2 Posición del agitador en el interior del crisol

Fuente: Elaboración propia

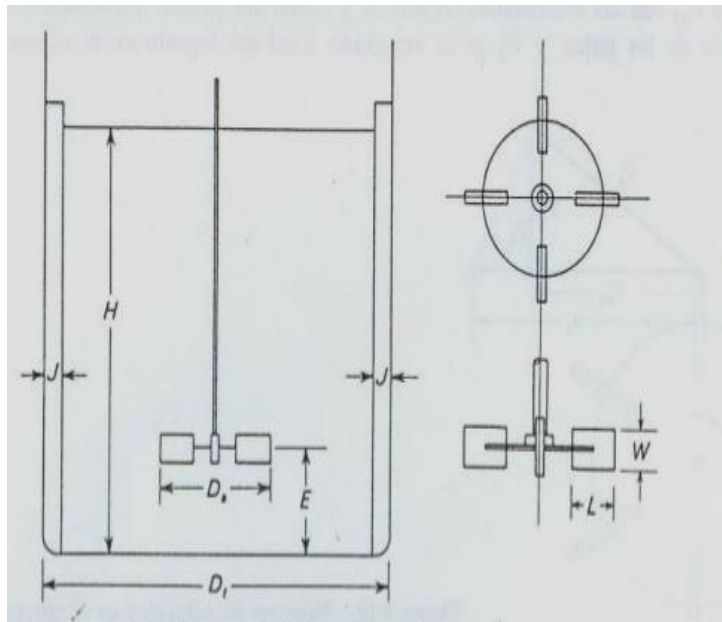


Figura 2.3 Parámetros de diseño del agitador

Fuente: Julian Smith, 2003

Se elimina la variable J dado que el crisol no tendrá reflectores en sus paredes

D_a : Diámetro del impulsor

H: Altura del metal fundido, Al

D_t : Diámetro del crisol

w: Ancho del impulsor

L: Longitud de la pala del impulsor

Fórmulas para determinar los parámetros de diseño:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$\frac{w}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Dimensiones del impulsor:

$$D_a = \frac{1}{3}D_t = \frac{240mm}{3} = 80mm$$

$$w = \frac{D_a}{5} = \frac{80mm}{5} = 16mm$$

$$L = \frac{1}{4}D_a = \frac{80mm}{4} = 20mm$$

Profundidad del agitador:

$$E = 1 * D_a = 1 * 80mm = 80mm$$

$$A = H - E$$

Ecuación 2.8

$$A = (240 - 80)mm = 160mm$$

2.8.2 Calculo de potencia del motor para la agitación

2.8.2.1 Calculo de densidad y viscosidad del aluminio fundido a 800°C

Se describe la siguiente ecuación de correlación de densidad y viscosidad en función de la temperatura propuesto por Preston – Thomas (Porter, 2005).

Para aluminio (Rango de temperatura 933 – 1190 K)

$$\rho = c_1 - c_2(T - T_{ref})$$

Ecuación 2.9

Donde:

$$c_1 = 2377,23 \frac{kg}{m^3 K}, c_2 = 0,311 \frac{kg}{m^3 K}, T_{ref} = 933,47 K$$

$$\rho = 2377,23 - 0,311(1073 - 933,47)$$

$$\rho = 2333,84 kg/m^3$$

Viscosidad dinámica (μ), del aluminio liquido:

$$\log_{10} \left(\frac{\mu}{\mu_o} \right) = -a_1 + \frac{a_2}{T}$$

Ecuación 2.10

Donde: $\mu_o = 1mPa s$, $a_1 = 0,7324$, $a_2 = 803,49 K$

$$\mu = \mu_o * 10^{-a_1 + \frac{a_2}{T}}$$

$$\mu = 0,001 * 10^{-0,7324 + \frac{803,49}{933,47}}$$

$$\mu = 0,001035 kg/m s$$

En la siguiente tabla se muestra la variación de densidad por encima de la temperatura de fusión del aluminio.

Tabla 2.11 Densidad del aluminio sometido a altas temperaturas

Aluminio liquido		
Temperatura, K	Densidad, kg/m ³	Viscosidad, mPa s
950	2372	1,298
975	2364	1,235
1000	2357	1,178
1025	2349	1,126
1050	2341	1,079
1075	2333	1,035

Fuente: Elaboración propia

2.8.2.2 Calculo de número de Reynolds

Según estudios realizados para la fabricación de aluminio-silicio, la velocidad de rotación está entre 600 – 800 rpm. Se tomará la velocidad rotacional máxima con el objetivo de tener flujo turbulento para una mejor homogenización en la disolución del silicio con aluminio fundido.

Se procede al cálculo del número de Reynolds (Re) en donde se verifica si el flujo está en régimen laminar o turbulento.

$$Re = \frac{ND_a^2 \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

μ : Viscosidad cinemática del aluminio fundido, 0,003233 kg/ms

N : Velocidad rotacional, rev/s

ρ : Densidad del aluminio, 2700

$$Re = \frac{13,33 \frac{rev}{s} * (0,08 m)^2 * 2333 \frac{kg}{m^3}}{0,001035 kg/ms}$$

$$Re = 192302$$

Rango de régimen de flujo:

Régimen laminar: $Re < 10$

Régimen transitorio: $300 < Re < 10000$

Régimen turbulento: $Re > 10000$

Se determinó que el flujo del fluido es turbulento

De acuerdo a la figura se seleccionó el número de potencia con respecto al número de Reynolds encontrado, el cual se procede el cálculo de la potencia del agitador.

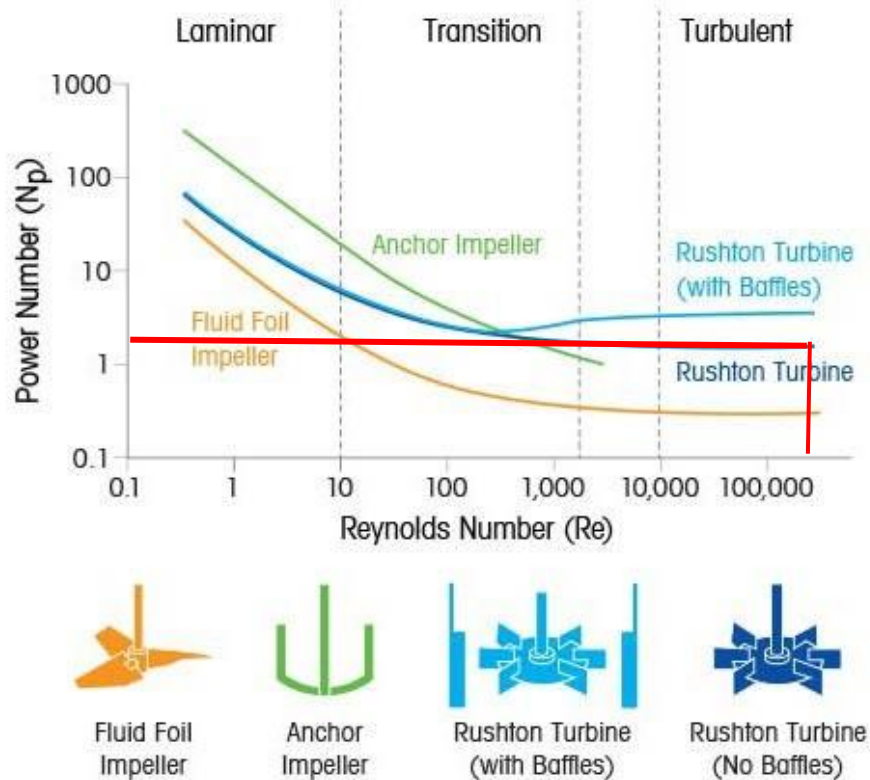


Figura 2.4 Número de potencia vs número de Reynolds: tipos de impulsores

Fuente: Mettler Toledo, 2015

Numero de potencia: coeficiente de resistencia del agitador en el fluido

Flujo laminar: $N_p = \frac{P}{\rho N^2 d^3}$ Ecuación 2.12

Flujo turbulento: $N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5}$ Ecuación 2.13

$N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5} \rightarrow P = N_p \rho N^3 d^5$

Potencia consumida del agitador:

$$P = 4 * 2700 \frac{kg}{m^3} \left(13,33 \frac{rev}{s}\right)^3 (0,08 m)^5 = 83,82 W (watt)$$

Consideraciones:

Eficiencia del motor: $\eta=80\%$

Perdidas por fricción: $f = 20\%$

Potencia real: $P_R = \frac{P * (1+f)\%}{\eta}$ Ecuación 2.14

$$P_R = \frac{83,82 * (1 + 0,20)}{0,80} = 126 \text{ W} = 0,17 \text{ hp}$$

Calculo de torque del motor eléctrico:

$P_c = TN$ Ecuación 2.15

$$T = \frac{9,55 * P_c (w)}{N(rpm)}$$

$$T = \frac{9,550 * 126}{800 \text{ rpm}} = 1,50 \text{ Nm}$$

2.8.3 Calculo de fuerza ejercido por el fluido

Cuando un agitador se pone en marcha y comienza a rotar, este ejerce un empuje sobre el fluido en dirección radial o tangencial. Se calcula la velocidad tangencial ejercida por la rotación del impulsor:

$V = \omega r \left(\frac{m}{s}\right)$ Ecuación 2.16

Donde:

v : Velocidad, m/s

ω : Velocidad rotacional, rad/s

r : Distancia del eje de rotación, m

$$V = 83,75 \frac{rad}{s} * 0,04 \text{ m} = 3,4 \text{ m/s}$$

En la siguiente figura 2.5 hace referencia la dirección del flujo con respecto a las diferentes figuras geométricas con base al área frontal.

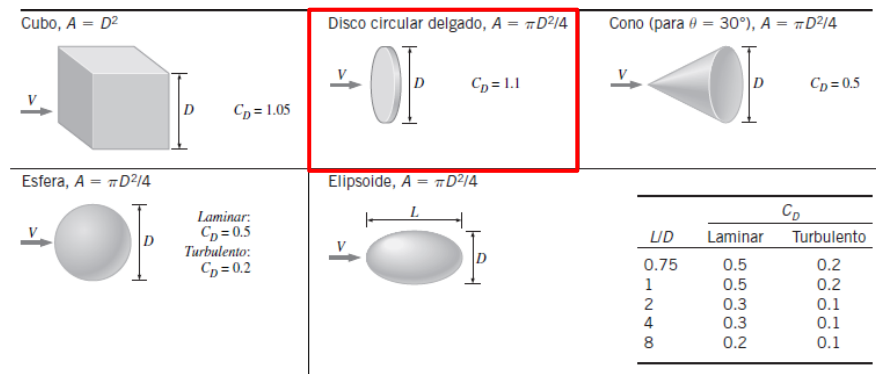


Figura 2.5 Coeficiente de arrastre para Re>104

Fuente: Cengel – M.F., 2006

Se procede a calcular la fuerza de empuje sobre el fluido que fluye sobre una de las aspas. En la figura 2.6 se muestra las fuerzas involucradas

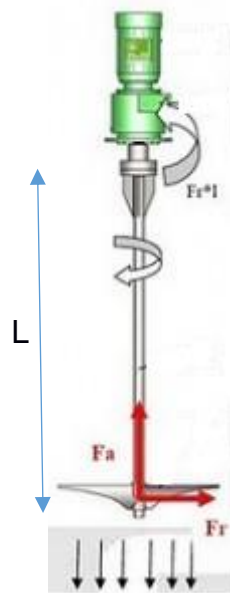


Figura 2.6 Diagrama de fuerzas del agitador mecánico

Fuente: Elaboración propia

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

C_D : Coeficiente de arrastre, adimensional

A : Área transversal en dirección del fluido

$$F = \frac{1}{2} * 1,1 \frac{2700kg}{m^3} * \left(3,4 \frac{m}{s}\right)^2 * 7,53 * 10^{-4} m^2$$

$$F = 12,94 N$$

Momento aplicado del eje ejercido por la fuerza del fluido:

$$M_{eje} = FL \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Donde:

F : Fuerza del fluido

d : Distancia del eje, 320 mm

$$M_{eje} = 12,94 N * 0,32 m$$

$$M_{eje} = 4,14 Nm$$

2.8.4 Cálculo de diámetro del eje

De acuerdo a la empresa RENAME (Reconstructora Nacional de Motores Eléctricos, 2008), los fabricantes hacen relación entre potencia y tamaño del eje con un factor de seguridad igual a 5. A continuación se describe la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,33 \times 10^6 \times P (kW)}{N (rpm)}} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Se toma los valores encontrados de la potencia y de la velocidad rotacional:

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,33 \times 10^6 \times 0,126}{800 (rpm)}} (mm)$$

$$D = 6,0 \text{ mm}$$

2.8.4.1 Diámetro del eje por análisis estático

Según las fuerzas descritas en la figura, se generan esfuerzos: axial, flexionante y torsional.

En la siguiente tabla 2.12 se selecciona las propiedades mecánicas del material con respecto a su alto punto de fusión.

Tabla 2.12 Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304

Número	Material	Condición	Fluencia S_y MPa (kpsi)
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)
1212	Acero	HR	193 (28.0)
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)

Fuente: Shigley, 2008

$$\sigma_x = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I}$$

Ecuación 2.20

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Tc}{J}$$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3\tau_{zx}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = \left(\left(\frac{4F}{\pi * d^2} + \frac{32M}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16T}{\pi d^3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = \left(\left(\frac{4 * 12,94}{\pi * d^2} + \frac{32 * 4,14}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 * 1,50}{\pi d^3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Se asume un factor de seguridad: 3

$$\sigma' = \frac{S_y}{\eta} = \frac{0,276 \text{ GPa}}{4} = 0,069$$

Tabla 2.13 Iteración del diámetro del eje por análisis estático

Diámetro, mm	Esfuerzo de Von Mises, GPa
4	0,69
5	0,35
6	0,20
7	0,12
8	0,087
9	0,060

Fuente: Elaboración propia

Se pudo determinar que el diámetro del eje ideal por análisis estático empleando el criterio de Von Mises es de: 9mm

2.8.4.2 Análisis por fatiga: diseño de eje

Durante la fabricación de aleaciones no ferrosas, el eje se sumergirá en un baño que puede estar a unos 1000°C de temperatura, por lo tanto, se debe hacer un análisis por fatiga. El eje macizo diseñado no llevará concentradores de esfuerzos y fuerzas fluctuantes y se aplica la siguiente formula ASME para cálculo del diámetro ideal. Ver figura 2.7

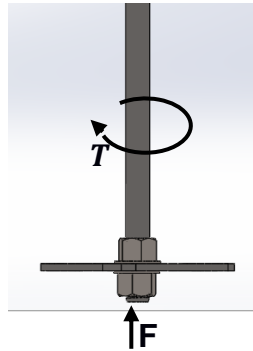


Figura 2.7 Desplazamiento de fuerzas

Fuente: Elaboración propia

Límite de resistencia a la fatiga:

$$\text{Para aceros } S_e = 0,5 S_{ut} \quad S_{ut} < 200 \text{ksi}$$

Factores de corrección:

*Factor de superficie:

$$C_{sup} = A(S_{ut})^b$$

Tabla 2.14 Coeficiente del factor de superficie

Acabado superficial	Para S_{ut} en MPa se usa		Para S_{ut} en kpsi (no psi) se usa	
	A	b	A	b
Esmerilado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o rolado en frío	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Fuente: Norton, 2011

$$C_{sup} = 4,51(568)^{-0,265} = 0,84$$

*Factor de tamaño

Tabla 2.15 Coeficiente factor de tamaño

$d \leq 0,3 \text{ in } (8 \text{ mm})$	$C_{\text{tamaño}} = 1$
$0,3 \text{ in} < d \leq 10 \text{ in}$	$C_{\text{tamaño}} = 0,869 d^{-0,097}$
$8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm}$	$C_{\text{tamaño}} = 1,189 d^{-0,097}$

Fuente: Shigley, 2008

*Factor de confiabilidad

Tabla 2.16 Coeficiente factor de confiabilidad

% de confiabilidad	C_{conf}
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Fuente: Shigley, 2008

*Factor de carga:

Carga axial $C_{carga} = 0,70$

*Factor de temperatura:

Tabla 2.17 Factor de correccion a diferentes temperaturas

$T \leq 450^{\circ}\text{C}$ (840 °F)	$C_{temp} = 1$
$450^{\circ}\text{C} < T \leq 550^{\circ}\text{C}$	$C_{temp} = 1 - 0,0058(T - 450)$
$840^{\circ}\text{F} < T \leq 1020^{\circ}\text{F}$	$C_{temp} = 1 - 0,0032(T - 840)$

Fuente: Shigley, 2008

$$S_e = C_{carga} C_{sup} C_{temp} C_{tam} C_{conf} (0,5 S_{ut}) \quad \text{Ecuación 2.21}$$

$$S_e = 0,70 * 0,84 * 0,42 * 1 * 0,897 * (0,5 * 568)$$

$$S_e = 62,91 \text{ MPa}$$

Se aplica la siguiente ecuación 13 ASME asumiendo torque constante:

$$d = \left\{ \frac{32\eta_f}{\pi} \left[\left(k_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(k_{fsm} \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Se elimina los concentradores de esfuerzo dado que solo estará sujeto con pernos el agitador y con factor de diseño por fatiga 4.

$$d = \left\{ \frac{32\eta_f}{\pi} \left[\left(\frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 4}{\pi} \left[\left(\frac{4,14}{62,91 * 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1,50}{276 * 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,013m = 13mm$$

De acuerdo al diseño por fatiga, el diámetro es de 13mm para una resistencia a 500°C.

2.8.5 Diseño para el soporte del agitador

2.8.5.1 Análisis estático: Teoría de Von Mises

Se realiza un análisis estático dado que no va a sufrir variación de fuerza externa y además en condiciones normales. En la figura 2.8 muestra la carga de 10kg aplicada en el extremo del tubo estructural.

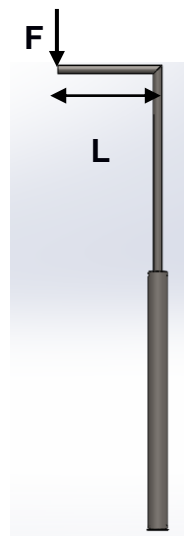


Figura 2.8 Estructura de soporte del agitador

Fuente: Elaboración propia

*Especificaciones Generales (DIPAC productos de acero):

Calidad: ASTM A-500

Recubrimiento: Negro o Galvanizado

Dimensiones: Desde 7/8" hasta 3"

Espesor: Desde 1.50mm a 3.00mm

Se aplica teoría de Von Mises:

La fuerza aplicada provoca esfuerzo por flexión, donde se debe calcular el diámetro ideal a través de materiales disponibles en el Ecuador. Se asumirá un factor de diseño de 3, además en la tabla se especifica las propiedades mecánicas del acero ASTM A-500.

Tabla 2.18 Propiedades del acero estructural ASTM A500

Nomenclatura		F _y ⁽³⁾		F _u ⁽⁴⁾	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
B-254	A 36	250	2,530	400 a 550	4,080 a 5,620
	A 529	345	3,515	485	4,950
		380	3,880	485	4,950
B-282	A 242	320	3,235	460	4,710
		345	3,515	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
B-284	A 572	345	3,515	450	4,570
		414	4,220	515	5,270
		450	4,570	550	5,620
	A 992	345	3,515	450 a 620	4,570 a 6,330
B-177	A 53	240	2,460	414	4,220
B-199	A 500 ⁽⁵⁾	320	3,235	430	4,360
B-200	A 501	250	2,530	400	4,080
	A 588 ⁽⁶⁾	345	3,515	483	4,920
	A 709	250	2,550	400	4,080
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040

Fuente: DIPAC – productos de acero

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

Ecuación 2.23

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \longrightarrow \sigma = \frac{S_y}{\eta}$$

$$\sigma = \frac{0,320 \text{ GPa}}{3} = 0,11$$

Esfuerzo por flexión:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{FLc}{I}$$

$$F = mg = 10 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98,1 \text{ N}$$

$$F = 98,1 \text{ N}$$

$$L = 400\text{mm}$$

Se realiza una serie de iteración para la obtención del diámetro del tubo con respecto al esfuerzo, como se muestra en la tabla:

Tabla 2.19 Iteración del diámetro ideal para soporte del agitador

Diámetro, mm	Esfuerzo GPa
22	0,16
25,4	0,12
32	0,07

Fuente: Elaboración propia

El diámetro ideal para el soporte del agitador es de 1 pulgada (25,4mm).

2.8.5.2 Deflexión máxima aplicada la carga en el extremo del voladizo

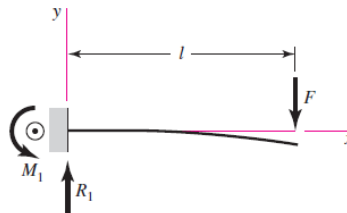


Figura 2.9 Deflexión de viga en voladizo

Fuente: Norton, 2011

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{FL^3}{3EI} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{98,1\text{N}(0,4\text{m})^3}{3 * 206,8 * 10^9 * 0,81 * 10^{-8}} = 0,0012\text{m} = 1,2\text{mm}$$

La deflexión máxima sometida a una carga en su extremo es de 1,2mm

2.8.5.3 Calculo de soldadura para la unión de dos tubos estructurales

En la figura 2.10 se muestra la ubicación del lugar a soldar y se realiza los cálculos respectivos para conocer si el cordón resiste la carga aplicada. Además, se selecciona un factor de diseño de 4.

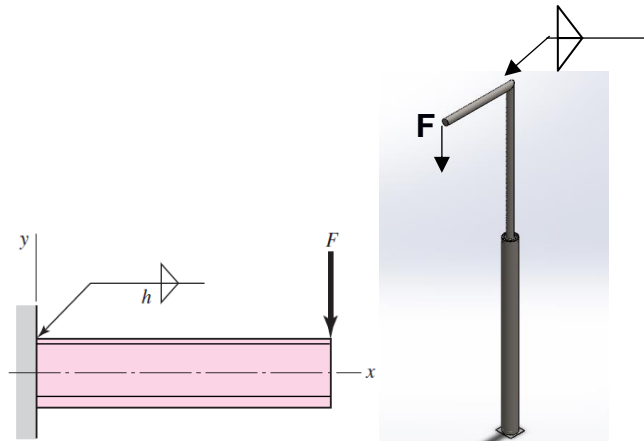


Figura 2.10 Voladizo de sección circular soldada a un soporte

Fuente: Elaboración propia

La carga aplicada produce flexión, donde la fuerza cortante produce un cortante primario y un esfuerzo cortante nominal en la garganta. (Shigley, 2008).

*Cortante primario:

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

$$\tau' = \frac{98,1N}{1,13 * 10^{-4}} = 0,87MPa$$

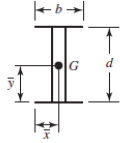

*Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 2.26}$$

Segundo momento del área I , con base en el área de la garganta:

$$I = 0,707hI_u \quad \text{Ecuación 2.27}$$

Tabla 2.20 Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi r$		$I_u = \pi r^3$

Fuente: Shigley, 2008

$$I = 0,707 * 4,76\text{mm} * \pi * (12,7)^3 = 21656 \text{ mm}^4$$

En la siguiente tabla 2.21 se selecciona el tamaño ideal de la altura (h) de la garganta donde se va a soldar.

Tabla 2.21 Tamaño mínimo (garganta) de soldadura de filete

Tamaño del cateto h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal					
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46

Fuente: Shigley, 2005

Se selecciona el número de electrodo para el análisis del cordón de soldadura. Observe la tabla 2.22

Tabla 2.22 Propiedades mínimas del material de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Fuente: Shigley, 2005

$$\tau'' = \frac{98,1N * 400mm * 12,7mm}{21656 mm^4} = 23 \frac{N}{mm^2} = 23 MPa$$

Magnitud del cortante:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2}$$

Ecuación 2.28

$$\tau = 23,02 MPa$$

Con base a la resistencia y el criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad:

$$\eta = \frac{S_y}{\tau}$$

$$\eta = \frac{0,577 * 345MPa}{23,04MPa} = 8$$

Entonces: $\eta < \eta_d$, es decir el metal de aporte tiene una resistencia satisfactoria

2.8.6 Diseño del inyector de partículas cerámicas con argón

2.8.6.1 Tiempo de desgasificación con argón

Una vez calculado la densidad del aluminio en estado líquido, se procede a estimar el tiempo de desgasificación de la colada con el fin de eliminar las impurezas y disminuir las porosidades, para ello se muestra la siguiente figura.

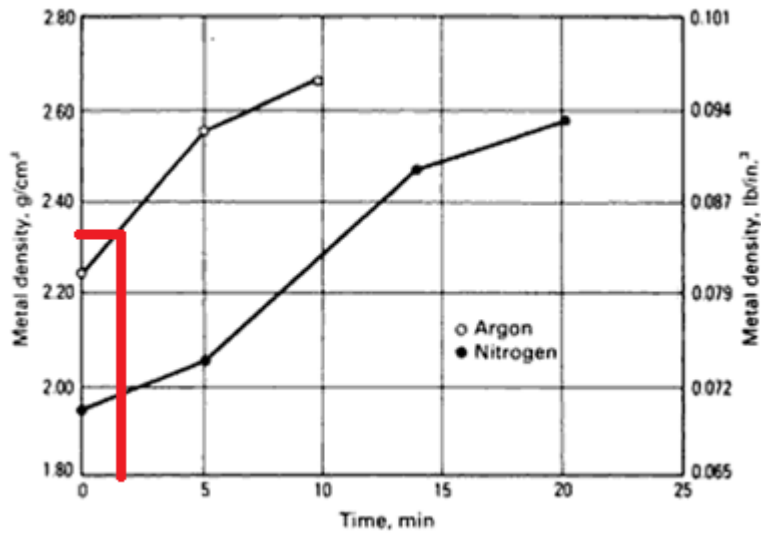


Figura 2.11 Densidad del aluminio liquido vs tiempo de desgasificación

Fuente: Joseph, 2005

Tiempo de desgasificación aproximadamente: 2 minutos

2.8.6.2 Cantidad de hidrogeno soluble durante la colada del material

Se procede a calcular el volumen de hidrogeno soluble que puede contener el aluminio fundido a una temperatura de 800°C, como se muestra en la figura 2.12

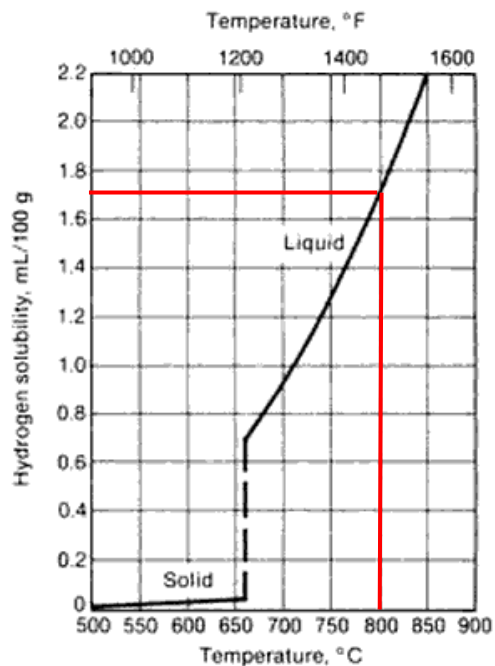


Figura 2.12 Solubilidad de hidrogeno a 1 atm con 99,99% aluminio puro

Fuente: George, 2003

Solubilidad de hidrogeno @ 800 °C: 1,7 ml/100gr

Masa del aluminio líquido: 6kg (6000 gr)

$$\frac{1,7 \text{ ml}}{100\text{gr}} * 6000\text{gr} = 102 \text{ ml}$$

$$m = \rho V$$

Ecuación 2.29

$$m = \frac{2,33\text{gr}}{\text{ml}} * 102 \text{ ml}$$

$$m = 238 \text{ gr}$$

Se obtuvo 238 gramos de hidrogeno como soluto, de tal manera que al inyectar argón esta cantidad se elimina (escoria).

2.8.6.3 Diámetro de la burbuja al inyectar argón

Asumiendo una eficiencia de 85% de desgasificación se puede obtener un diámetro de la burbuja de 3mm durante la fusión del metal, como se muestra en la figura

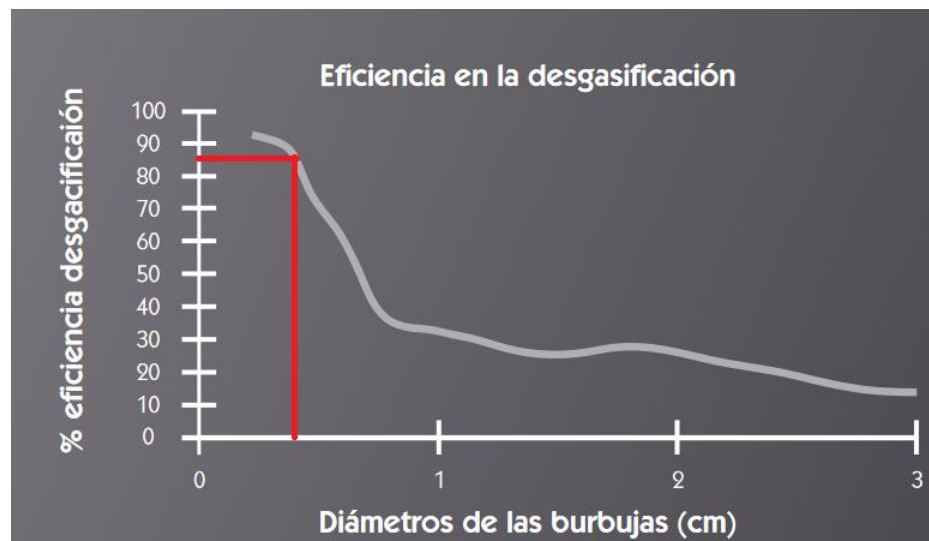


Figura 2.13 Eficiencia en la desgasificación vs diámetro de las burbujas

Fuente: Infra, 2008

2.8.7 Tiempo de agitación con partículas cerámicas

2.8.7.1 Calculo del coeficiente convectivo del aluminio fundido

Se busca hallar el valor del coeficiente convectivo, por medio de convección libre dado que la velocidad es mayor a 4 (3,4 m/s <4 m/s); por lo tanto, los coeficientes de transferencia de calor en convección

natural son más bajos que en convección forzada. En la siguiente tabla se muestra los rangos tipos del coeficiente convectivo de transferencia de calor. (Cengel, T.C.)

Tabla 2.23 Valores típicos de coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	$h, \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Convección libre de gases	2 – 5
Convección libre de líquidos	10 – 1000
Convección forzada de gases	25 – 250
Convección forzada de líquidos	50 – 20000

Fuente: Incropera, 1999

Se selecciona la conductividad térmica del aluminio a 800°C con respecto a la figura.

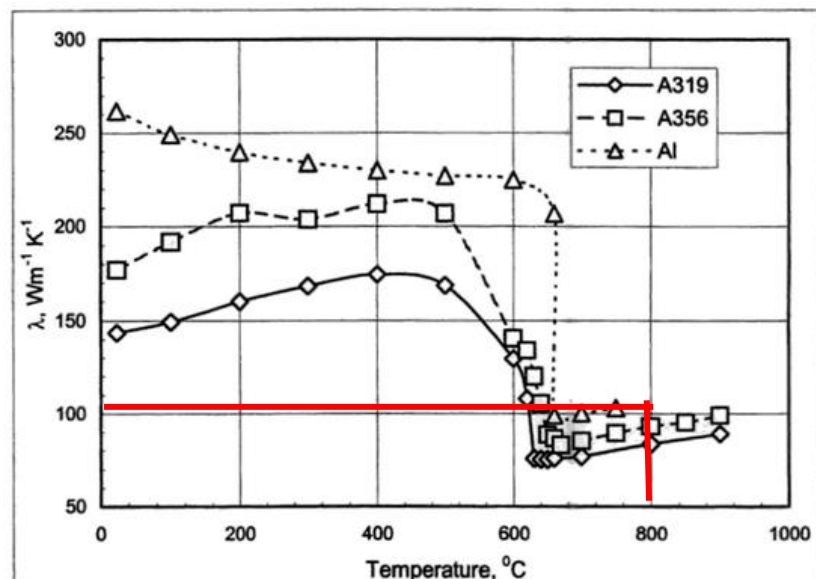


Figura 2.14 Variación conductividad térmica vs temperatura y sus aleaciones

Fuente: Wang, 2003

Conductividad térmica, $k=102 \text{ W/mK}$

En la siguiente tabla se muestra las propiedades físicas del aluminio para calcular el número Prandtl

Tabla 2.24 Propiedades físicas del aluminio en estado sólido y líquido

Propiedades	Unidad / valor
Conductividad térmica	W/m K
Fase líquida	105
Fase sólida	181
Punto de fusión	91
Capacidad calor específica	J/kg K
Fase líquida	1180
Fase sólida	900

Fuente: Gasser, 1999

Número Prandtl:

Las variables descritas son del aluminio fundido

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k} \quad \text{Ecuación 2.30}$$

$$Pr = \frac{\frac{0,001035 \text{ kg}}{\text{ms}} * \frac{1180 \text{ J}}{\text{kg K}}}{102 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}$$

$$Pr = 0,012$$

Numero de Grashof:

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Donde

g : Aceleración, 9,81 m/s²

β : Coeficiente de expansión volumétrica

L_c : Longitud característica de la configuración geométrica

ν : Viscosidad cinemática del fluido, m²/s

T_s : Temperatura de la superficie, °C

T_∞ : Temperatura del fluido lejos de la superficie, °C

Temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad \text{Ecuación 2.32}$$

$$T_f = \frac{500 + 800}{2} = 650^\circ\text{C} + 273 = 923^\circ\text{K}$$

Número de Rayleigh: producto de los números de Grashof y de Prandtl

Donde:

D_a : Superficie circular horizontal

$$L_c = \frac{D_a}{4} = \frac{0,08 \text{ m}}{4} = 0,02 \text{ m}$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{6,9 \times 10^{-5}}{^\circ\text{C}} (500 - 800)(0,02\text{m})^3}{(1,45 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} * 0,012$$

$$Ra_L = 100000$$

Número de Nusselt

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = 0,1Ra_L^n$$

Ecuación 2.33

$$n = \frac{1}{4} : \text{Para flujo laminar}$$

$$n = \frac{1}{3} : \text{Para flujo turbulento}$$

Se escoge $n=1/3$ dado que se requiere un flujo turbulento para dar homogenización a las partículas junto con el metal fundido.

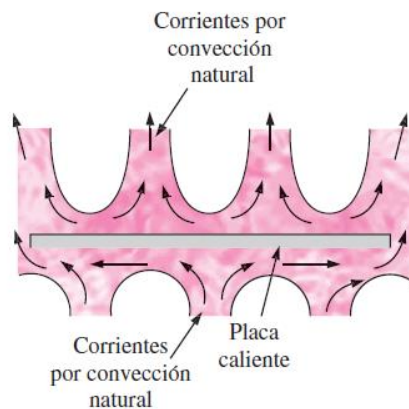


Figura 2.15 Flujo por convección natural sobre una placa horizontal caliente

Fuente: Cengel, 2006

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = 0,1Ra_L^{1/3}$$

$$Nu = 4,64$$

$$h = \frac{Nu * k}{D_a}$$

$$h = \frac{4,64 * 102 \frac{W}{mK}}{0,08 m}$$

$$h = 5916 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

Calor convectivo:

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad (W)$$

Ecuación 2.34

Donde:

Q_{conv} : Calor convectivo, W

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección

A_s : Área de la superficie

T_s : Temperatura de la superficie

T_{∞} : Temperatura del fluido

$$\dot{Q}_{conv} = 5916 * 680,08 * 10^{-6} m * (500 - 800)$$

$$\dot{Q}_{conv} = -1,2 kW$$

El coeficiente convectivo calculado es negativo debido a que el calor se transfiere desde el fluido hacia la superficie ($T_s < T_{\infty}$).

2.8.7.2 Calculo de tiempo cuando el agitador llegue a 500 °C

Numero de Biot:

$$Bi = \frac{hr}{k}$$

Ecuación 2.35

$$Bi = \frac{13134 * 0,08m}{25 W/mK} = 40$$

$$\theta = \frac{T_o - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = A_1 e^{-\lambda^2 \tau}$$

$$\theta = \frac{500 - 800}{25 - 800} = 0,38$$

Tabla 2.25 Coeficientes de la conducción de calor en régimen transitorio

Bi	Pared plana		Cilindro		Esfera	
	λ_1	A_1	λ_1	A_1	λ_1	A_1
0.01	0.0998	1.0017	0.1412	1.0025	0.1730	1.0030
0.02	0.1410	1.0033	0.1995	1.0050	0.2445	1.0060
0.04	0.1987	1.0066	0.2814	1.0099	0.3450	1.0120
0.06	0.2425	1.0098	0.3438	1.0148	0.4217	1.0179
0.08	0.2791	1.0130	0.3960	1.0197	0.4860	1.0239
0.1	0.3111	1.0161	0.4417	1.0246	0.5423	1.0298
0.2	0.4328	1.0311	0.6170	1.0483	0.7593	1.0592
0.3	0.5218	1.0450	0.7465	1.0712	0.9208	1.0880
0.4	0.5932	1.0580	0.8516	1.0931	1.0528	1.1164
0.5	0.6533	1.0701	0.9408	1.1143	1.1656	1.1441
0.6	0.7051	1.0814	1.0184	1.1345	1.2644	1.1713
0.7	0.7506	1.0918	1.0873	1.1539	1.3525	1.1978
0.8	0.7910	1.1016	1.1490	1.1724	1.4320	1.2236
0.9	0.8274	1.1107	1.2048	1.1902	1.5044	1.2488
1.0	0.8603	1.1191	1.2558	1.2071	1.5708	1.2732
2.0	1.0769	1.1785	1.5995	1.3384	2.0288	1.4793
3.0	1.1925	1.2102	1.7887	1.4191	2.2889	1.6227
4.0	1.2646	1.2287	1.9081	1.4698	2.4556	1.7202
5.0	1.3138	1.2403	1.9898	1.5029	2.5704	1.7870
6.0	1.3496	1.2479	2.0490	1.5253	2.6537	1.8338
7.0	1.3766	1.2532	2.0937	1.5411	2.7165	1.8673
8.0	1.3978	1.2570	2.1286	1.5526	2.7654	1.8920
9.0	1.4149	1.2598	2.1566	1.5611	2.8044	1.9106
10.0	1.4289	1.2620	2.1795	1.5677	2.8363	1.9249
20.0	1.4961	1.2699	2.2880	1.5919	2.9857	1.9781
30.0	1.5202	1.2717	2.3261	1.5973	3.0372	1.9898
40.0	1.5325	1.2723	2.3455	1.5993	3.0632	1.9941
50.0	1.5400	1.2727	2.3572	1.6002	3.0788	1.9962

Fuente: Cengel – T.C., 2006

$$A_1 e^{-\lambda^2 \tau} = 0,38$$

$$1.5973 e^{-2,3261^2 \tau} = 0,38$$

$$\tau = 0,20$$

$$t = \frac{\tau r^2}{\alpha}$$

$$t = \frac{0,20 * (0,08m)^2}{3,95 \times 10^{-6}} = 300 \text{ seg} = 5 \text{ min}$$

El tiempo de inmersión del eje – impulsor debe ser 5 minutos para una temperatura exterior de 700°C.

2.8.8 Calculo de presión mínima a vencer para el diseño del inyector

ρ = densidad del aluminio

g = aceleracion de la gravedad

h = altura del crisol

$$P = \rho gh$$

Ecuación 2.36

$$P = 2300(Kg/m^3) * 9.81(m/s^2) * 0.25(m)$$

$$P = 5,641kPa$$

2.8.9 Calculo de sistema eléctrico.

Datos:

$P_r =$ Potencia de las resistencias

$P_r = 3000$ vatios

$V = 220$ V (voltaje)

$$P_r = VI$$

Ecuación 2.37

$$I = \frac{P_r}{V} = \frac{3000}{220} = 13.64A$$

Factor de seguridad 1.25

$$I_f = 1.25I$$

Ecuación 2.38

$$I_f = 1.25 * 13.64$$

$$I_f = 17A$$

Numero de resistencias =3

$$I_t = 3 * I_f$$

Ecuación 2.39

$$I_t = 3 * 17$$

$$I_t = 41$$

Amperaje total: 41 A

2.8.10 Selección de calibre de cable.

Tabla 2.26 Selección de calibre de cable

Calibre AWG o kcmil	Temperatura máxima en conductor						Calibre AWG o kcmil
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	(140°F)	(167°F)	(194°F)	(140°F)	(167°F)	(194°F)	
	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	
	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	
Cobre			Aluminio				
18	----	----	14	----	----	----	----
16	----	----	18	----	----	----	----
14	15	20	25	----	----	----	----
12	20	25	30	15	20	25	12
10	30	35	40	25	30	35	10
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400

Fuente: JNG, 2012

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados de los cálculos

3.1.1 Sistema de agitación

De acuerdo a los cálculos obtenidos como se muestra en la tabla, se logró el diseño y construcción del agitador mecánico. Los materiales están disponibles en el mercado, en cambio para la selección del motor eléctrico se seleccionó un taladro acoplado a un reductor de velocidades con el fin de variar las revoluciones por minuto (rpm).

Tabla 3.1 Especificaciones del sistema de agitación

Especificación	Detalles
Método de agitación	Agitador mecánico
Tipo de agitador	Turbina – flujo radial
Numero de aspas	4
Diámetro del impulsor	80 mm
Diámetro del eje	13 mm
Altura del eje	300 mm
Velocidad de rotación	800 rpm
Potencia	126 W – 0,17 hp
Material	Acero inoxidable 304

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.1 Estructura de soporte del agitador

Respecto a los cálculos efectuados en el capítulo dos, se realizó la selección del material correspondiente. Se ajustaron dichos valores a las dimensiones de los materiales disponibles en el mercado, tal como se muestra en la tabla 3.2. También se seleccionó un rodamiento acorde al diámetro del tubo interno y este a su vez permitió seleccionar el diámetro del tubo externo.

Tabla 3.2 Especificaciones - estructura de soporte del agitador

Descripción	Detalles
Tubo interior	50,8mm x 2mm (2")
Tubo exterior	76,2mm x 2mm (3")
Material	Acero estructural ASTM-A500
Rodamientos	De bola

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Sistema de inyección

De acuerdo con los requerimientos del sistema se seleccionó un eje macizo de 13 mm de diámetro y se mecanizo un orificio con una broca de 6mm, además se hizo 4 orificios en la parte inferior de la misma con el fin de lograr la dispersión de partículas nanométricas. En la siguiente tabla se muestra los cálculos obtenidos.

Tabla 3.3 Descripción del sistema de inyección

Descripción	Detalles
Tiempo de inmersión	5 minutos
Tiempo de desgasificación	2 minutos
Material	Acero inoxidable
Diámetro del tubo	13mm

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Sistema eléctrico

Respecto a los cálculos realizados en el capítulo dos, se logró dimensionar el calibre de los cables y comprar los accesorios necesarios para la construcción del sistema.

Tabla 3.5 Descripción del sistema eléctrico

Descripción	Detalles
Potencia máxima de cada resistencia	3000 vatios
voltaje	220 voltios
Corriente máxima	40.5 amperios

Fuente: Elaboración propia

3.2 Simulación del sistema de agitación y estructura del horno basculante

Se utilizó ANSYS versión 2017, para observar el comportamiento estático sometido a carga, donde se va analizar los esfuerzos máximo y mínimo, y el factor de seguridad del sistema.

3.2.1 Datos de entrada: simulación - estructura de soporte del horno basculante

Para el diseño de la estructura, se escogió una viga tipo C disponible en el mercado, donde los valores de entrada fueron: peso del horno, 600 lb y tipo de material, ASTM A36.

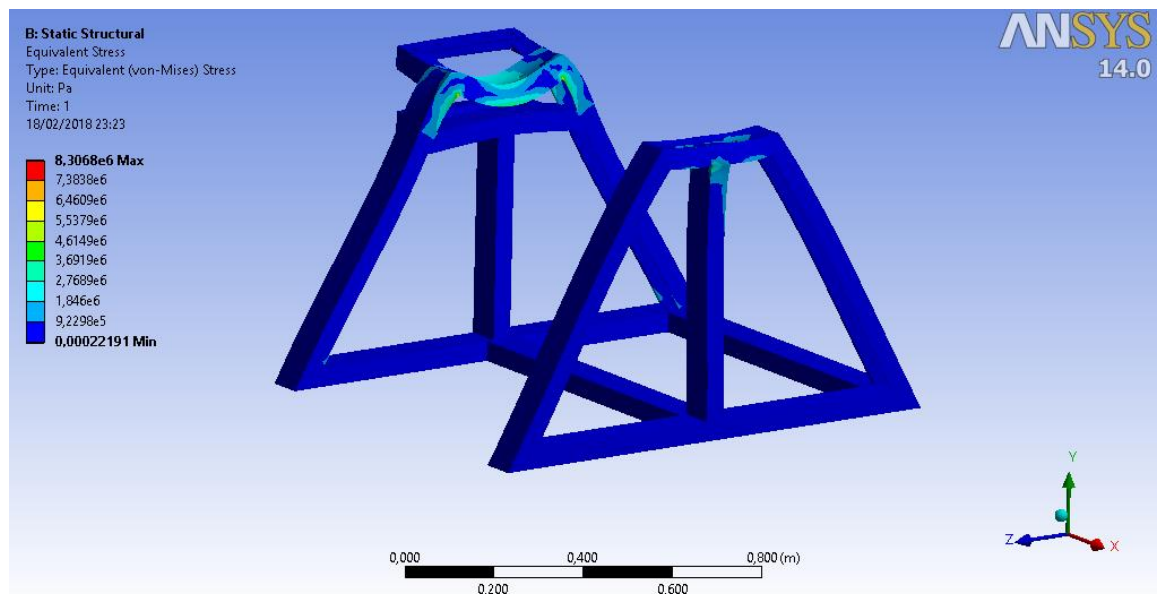


Figura 3.1 Simulación estática por Von Mises

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos por ANSYS, la estructura diseñada soporta dicho esfuerzo en los extremos de los cojinetes, cuyo esfuerzo máximo fluctúa hasta $9,27 \cdot 10^{-5}$ Pa con respecto a la resistencia a la fluencia del material, según la figura

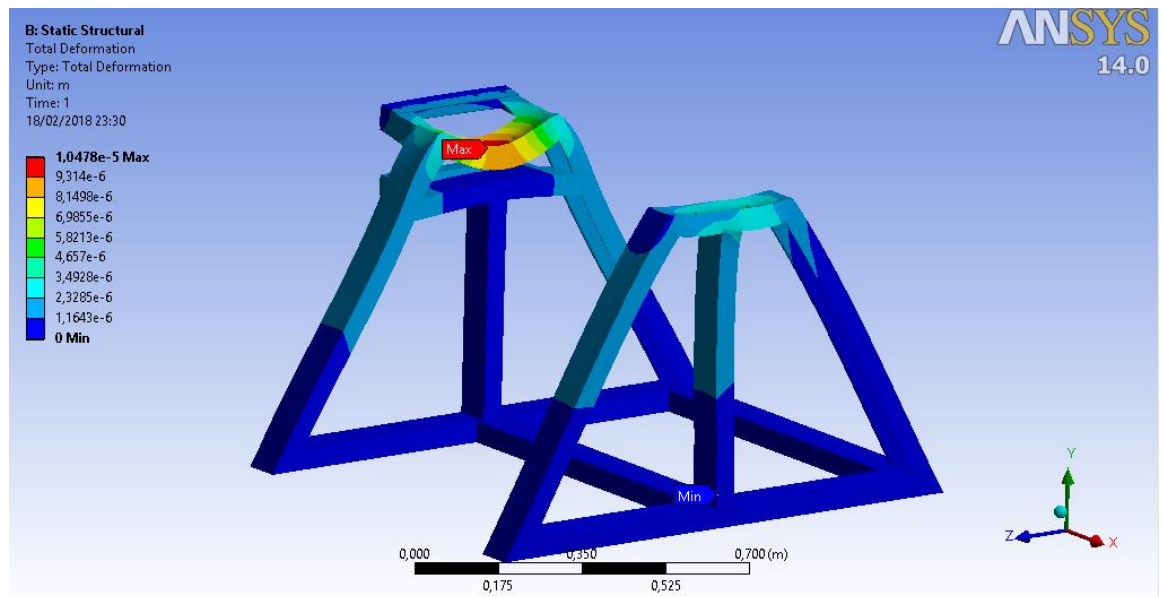


Figura 3.2 Simulación por deformación

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura la deformación es muy pequeña con respecto a la carga aplicada y con esto quiere decir que su factor de diseño es alto.

3.2.2 Datos de entrada: simulación – estructura del agitador

Para el diseño de la estructura de soporte del agitador, se seleccionaron dos tipos de tubos estructurales de 31,75 mm y 76,2 mm con espesor de 2mm. Los datos de entrada fueron: carga aplicada, 10 kg y material, ASTM-A500. Ver figura 3.3.

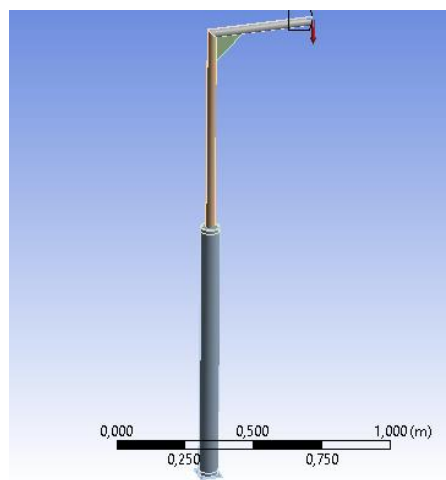


Figura 3.3 Ubicación de la fuerza aplicada - ANSYS

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos por ANSYS demuestran que la estructura está sometido a esfuerzo máximo por tensión como se muestra en la Figura 3.4. Esto nos quiere decir que la estructura es capaz de soportar la carga dado que no es mayor al esfuerzo de fluencia del material y además su factor de diseño debe ser elevado.

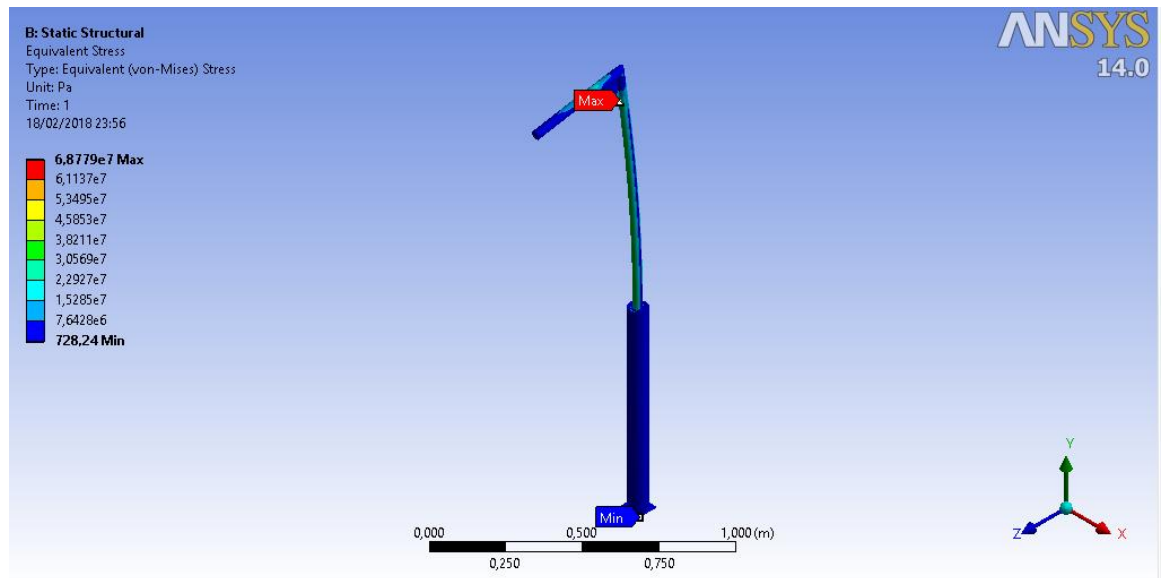


Figura 3.4 Simulación de esfuerzo Von Mises por estática - agitador

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.4, se puede comprobar por simulación la deformación máxima calculada en el capítulo 2 de 1,3mm. Esto nos permite corroborar los cálculos realizados para el diseño de este dispositivo.

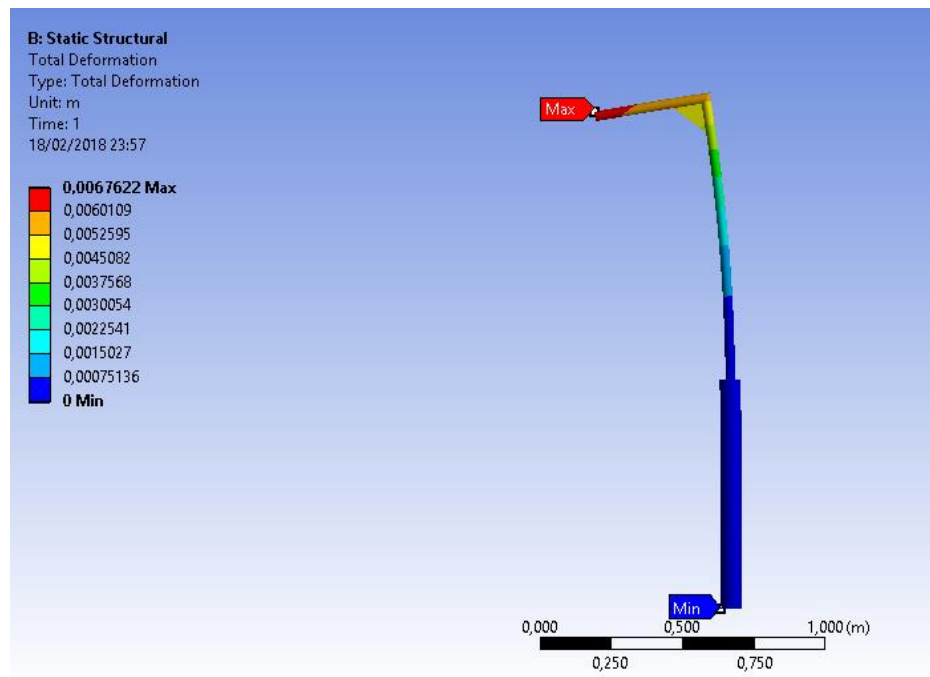


Figura 3.5 Simulación por deformación - agitador

Fuente: elaboración propia

3.3 Construcción del equipo

3.3.1 Herramientas e instrumentos de medición para la construcción

3.3.1.1 Herramientas

- Amoladora.
- Brocas.
- Caladora.
- Cortador de cable.
- Destornilladores
- Discos abrasivos de corte
- Discos abrasivos de desbaste
- Electrodos 6011.
- Hoja de cierra.
- Juego de llaves (boca corona).
- Llaves hexagonales.
- Máquina de soldar.
- Pela cables.
- Playo.

Sierra de arco.

Taladro.

3.3.1.2 Instrumentos de medición y calibración

Calibrador de presión

Calibrador vernier.

Escuadra.

Flexómetro.

Multímetro.

Nivel de burbuja

3.3.2 Construcción de estructura de soporte y montaje del horno

3.3.2.1 Materiales y proceso de construcción

3.3.2.1.1 Materiales

Canales de acero estructural.

Ejes acero A36

Chumaceras.

Pernos de acero inoxidable de ½ de pulgada por 1.1/2.

Bisagras.

Winche.

3.3.2.1.2 Proceso de fabricación de estructura

Se comenzó tomando las mediciones adecuadas y marcando el canal en los lugares correspondientes para realizar el respectivo corte, seguido a esto se unió cada una de las partes mediante un proceso de soldadura por arco. Las medidas correspondientes de la estructura se encuentran en el apéndice D.

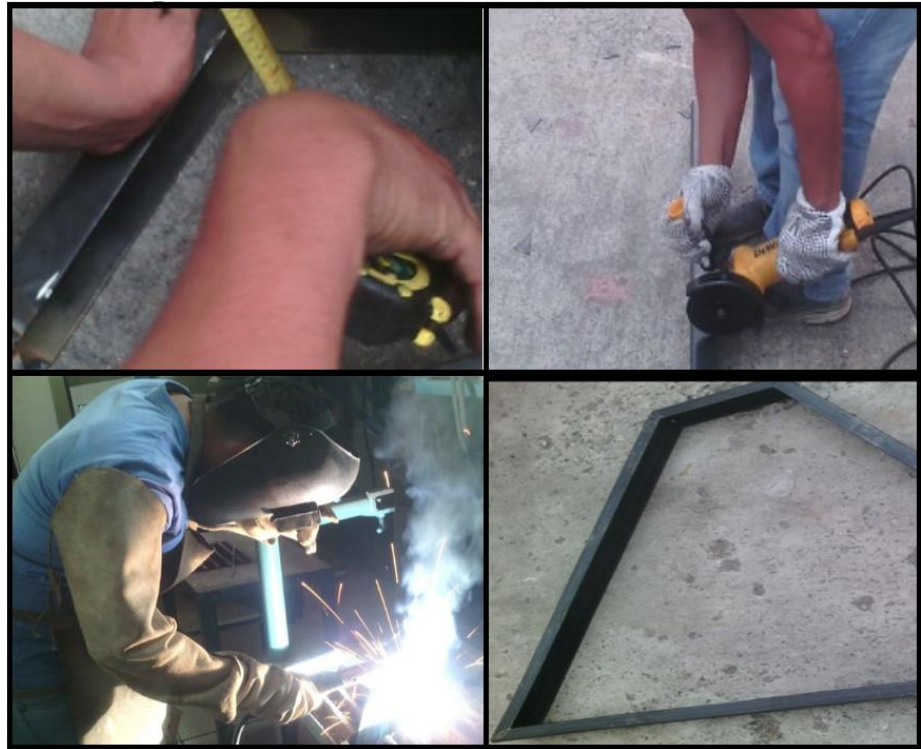


Figura 3.6 Construcción de la estructura

Fuente: elaboración propia

3.3.2.2 Montaje del horno

Se realizaron los agujeros correspondientes para emperrar las chumaceras a la estructura, para los agujeros de utilizo un taladro y brocas de 6, 9 y 13 mm, luego de colocar las chumaceras se colocaron los ejes que soportan el cuerpo del horno y se unió el eje al cuerpo del horno mediante un proceso de soldadura. Se verifico que los pernos estén correctamente ajustados y la penetración de la soldadura sea la adecuada. En el apéndice D se muestran los detalles de la estructura



Figura 3.7 Montaje de horno

Fuente: elaboración propia

3.3.3 Construcción del sistema de agitación

3.3.3.1 Materiales y proceso de construcción

3.3.3.1.1 Materiales

Motor eléctrico de 130 w.

Eje de acero inoxidable de 13mm de diámetro.

Hélice tipo turbina con diámetro de 90 mm.

Ángulos de acero estructural de 50*50*4 mm.

Rieles.

Winche manual.

Tubería de acero estructural con diámetro de 70mm y 30mm.

Polea.

Rodamiento.

3.3.3.1.2 Proceso de fabricación

Para la fabricación se unieron partes por medio de soldadura, pernos, y ajustes requeridos.

El sistema consta de dos tubos unidos concéntricamente por medio de dos rodamientos, en la parte superior del tubo se encuentra un sistema de elevación el cual se encarga de sacar y sumergir el agitador dentro de la fundición. El agitador está compuesto por un taladro de 800 w. un eje y un disco de acero inoxidable el cual sirve de hélice para nuestro agitador. En la figura 3.8 se presenta el esquema de fabricación y en el apéndice C se muestra el esquema completo del sistema.



Figura 3.8 Construcción de sistema de agitacion

Fuente: elaboración propia

3.3.4 Construcción de sistema de inyección

3.3.4.1 Materiales y procesos de construcción

3.3.4.1.1 Materiales

Acople de 13 mm cedula 10.

Codo de a 45 grados de 13mm.

Codo de 90 grados de 13 mm.

Manguera de alta presión.

Neplo de 13 por 100mm.

Plancha de acero inoxidable.

Reductor de copa de 50 a 25 mm cedula 10.

Reductor de copa de 25 a 13 mm cedula 10.

Tubería de 13mm cedula 10.

Válvula de paso soldables de 13 mm.

3.3.4.1.2 Proceso de construcción

Para la fabricación de este sistema se necesitaron varios accesorios descritos anteriormente. Parte de estos accesorios fueron unidos por medio de soldadura y la otra parte por medio de roscado.

El sistema consta de un recipiente donde se colocará el material de refuerzo, también consta de un baipás que permitirá que el argón pase y que actúe como desgasificador. Las válvulas del sistema ayudaran a cambiar la dirección del paso del argón para que este pase a través del recipiente dirigiendo el material de refuerzo a la fundición.



Figura 3.9 Construcción de sistema de inyección

Fuente: elaboración propia

3.3.5 Construcción del sistema eléctrico y de control

3.3.5.1 Materiales y procesos de construcción

3.3.5.1.1 Materiales

- Breke dos polos 220V 4 A.
- Breke dos polos 220V 20 A.
- Breke dos polos 220 V 63 A.
- Cable concéntrico 3 en 1 # 8.
- Cable de alta temperatura # 10.
- Cable para control de alta temperatura.
- Cable # 10.
- Caja porta breke 300 * 300 mm.
- Caja porta breke 300* 400 mm.
- Canaleta ranurada 25 * 25 mm.

Contactador 220 V 60 A.

Controlador.

Selector dos posiciones.

3.3.5.1.2 Proceso de construcción

El sistema está compuesto por tres resistencias de 3000 w, para esto se dimensionaron los calibres de cable y las características de cada uno de los accesorios. El sistema consta de un breke general correctamente dimensionado, una de las líneas de este breke se conectó a tres brekes conectados en paralelo los cuales a su vez están conectados uno a cada resistencia, la otra línea se conectó a un contactor el cual es accionado por un controlador. El controlador se conectó a una termocupla tipo k la cual enviará una señal cuando se llegue a las temperaturas adecuadas, el controlador se encargará de abrir o cerrar la bobina del contactor el cual permitirá el paso de corriente por otra línea conectada a los brekes de 20 amperios permitiendo cerrar el circuito.



Figura 3.10 Construcción de sistema electrico

Fuente: elaboración propia

3.4 Análisis de costo

3.4.1 Gastos realizados en la construcción del sistema

3.4.1.1 Costo de los materiales

Tabla 3.6. Costo del Sistema de agitación.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Importe
1	Motor eléctrico de 130 w	89,28	89,28
1	Hélice tipo turbina con diámetro de 90 mm.	7,00	7,00
1	Eje de acero inoxidable 12,5	5,00	5,00
1	Ángulos de acero estructural de 50*50*4 mm.	14,00	14,00
1	Rieles	8,90	8,90
1	Winche manual.	17,90	17,90
1	Tubería de acero estructural con diámetro de 70mm.	14,90	14,90
1	Tubería de acero estructural con diámetro de 30mm.	13,40	13,40
1	Polea.	4,50	4,50
2	Rodamiento.	14,35	28,70
		Sub total	203,58
		IVA 12%	24,43
		Total	228,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. Costo del sistema de inyección.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Importe
2	Acople sms de 13 mm cedula 10.	4,20	8,40
2	Codo de a 45 grados de 13mm.	2,30	4,60
1	Codo de 90 grados de 13 mm.	2,20	2,20
2	Manguera de alta presión.	30,00	60,00
3	Neplo de 13 por 100mm.	7,40	22,20
1	Plancha de acero inoxidable	130,00	130,00
2	Reductor de copa de 50 a 25 mm cedula 10.	7,92	15,84
2	Reductor de copa de 25 a 13 mm cedula 10.	6,48	12,96
1	Tubería de 13mm cedula 10.	20,00	20,00
3	Válvula de paso soldables de 13 mm.	27,00	81,00
		Sub total	357,20
		IVA 12%	42,86
		Total	400,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8 Costo sistema electrico y de control.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Importe
3	Resistencias 3000 w	140,00	420,00
3	Breke dos polos 220V 20 A	8,50	25,50
1	Breke dos polos 220 V 63 A.	8,50	8,50
1	Breke dos polos 220 V 4 A.	18,00	18,00
6	Cable concéntrico 3 en 1 # 8.	4,50	27,00
12	Cable de alta temperatura # 10.	3,25	39,00
8	Cable para control de alta temperatura.	2,85	22,80
5	Cable # 10.	0,70	3,50
1	Caja porta breke 300 * 300 mm.	29,00	29,00
1	Caja porta breke 300* 400 mm.	27,00	27,00
1	Canaleta ranurada 25 * 25 mm.	4,00	4,00
1	Contactador 220 V 60 A.	55,00	55,00
1	Selector dos posiciones.	5,00	5,00
2	Termocuplas tipo K	60,00	120,00
		Sub total	804,30
		IVA 12%	96,52
		Total	900,82

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9 Costo estructura para horno.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Importe
1	Winche manual.	17,90	17,90
4	Canal estructural tipo c	17,00	68,00
1	Ángulos de acero estructural de 40*40*4 mm.	13,00	13,00
		Sub total	98,90
		IVA 12%	11,87
		Total	110,77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Costo materiales de trabajo.

cantidad	Descripción	Precio unitario	Importe
10	Disco abrasivo de corte	1,50	15,00
4	disco abrasivo de desbastes	2,50	10,00
1	broca 13 mm (cemento)	7,50	7,50
3	broca 13 mm (metal)	4,50	13,50
4	broca 8 mm (metal)	1,75	7,00
4	broca 6 mm (metal)	1,25	5,00
10	electrodo 6011	3,40	34,00
			Sub total
			92,00
			IVA 12%
			11,04
			Total
			103,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11. Resumen de Costo.

Item	Costo (USA \$)
Sistema de agitacion	228,01
Sistema de inyección	400,00
sistema electrico y de control	900,82
Estructura para horno	110,77
Materiales de trabajo	103,40
TOTAL	\$ 1743

Fuente: Elaboración propia

La finalización de este proyecto tiene un costo de 1743 dólares, cabe recalcar que dentro de este valor no se incluyen los valores de los gastos realizados en la primera fase del proyecto por los ingenieros Bryan Samaniego y Edison tierra, además tampoco se incluyen valores de mano de obra ya que el proyecto fue construido dentro de los talleres de la universidad. A continuación, se presentará el costo total del proyecto.

Tabla 3.11 Costo total.

Gastos anteriores	737.08 \$
Gastos actuales	1743, 00\$
Total	2480.08\$

Fuente: Elaboración propia

El proyecto tiene un costo total de 2480.08 dólares. Con un tiempo de construcción de 40 días de 8 horas.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo fue realizado a través de cálculos teóricos y con la ayuda de herramientas computacionales para predecir su funcionalidad. Los resultados de las simulaciones, predicen un adecuado diseño de las distintas partes del sistema, en función de su peso y condiciones de operación.

El sistema de agitación diseñado genera un flujo de tipo turbulento, necesario para dispersar uniformemente las partículas reforzantes en el baño fundido y adicionalmente, garantiza que a la máxima velocidad de agitación no cause salpicaduras del líquido, dado su profundidad de inmersión en el crisol.

El sistema de inyección tiene una capacidad para adicionar hasta un 10% de partículas de tamaño nanométrico para un máximo de 6 kilos de aluminio líquido. Su diseño garantiza el arrastre de las partículas hacia el baño metálico mediante gas inerte inyectado a presión. Las partículas serán inyectadas a una distancia considerable de la superficie del metal líquido para garantizar que su deposición, con lo cual el proceso de agitación no sería eficiente.

El rediseño de la estructura del horno, reduce su altura, el gasto de material y facilita su operatividad, sin comprometer su funcionalidad.

El diseño del sistema eléctrico cumple con los requerimientos de potencia y resistencia para alcanzar las temperaturas máximas de 1100°C, lo cual ha sido verificado por profesionales expertos en el campo.

El diseño se adaptó a las disponibilidades de materiales en el mercado para cumplir con los requerimientos técnicos y de funcionalidad del sistema al menor costo posible y así mismo para facilitar las operaciones de mantenimiento y disponibilidad de partes en caso de reemplazos.

El sistema construido cumple con las especificaciones previamente establecidas, contiene todos los aditamentos necesarios para la fabricación de materiales compuestos con refuerzos particulados, es fácil de operar, es seguro y requiere poco costo de mantenimiento.

Ecuador es un país hacia el desarrollo, donde sus limitaciones son la falta de recursos económicos y de profesionales en el área de materiales capacitados para la fabricación aleaciones no ferrosas y de productos fundidos, que contribuyan con el mercado productivo del país y creación de fuentes de empleo. y aumentar el empleo. El desarrollo de proyectos como el llevado a cabo en este trabajo, busca crear infraestructura a bajo costo, obteniendo las facilidades mínimas para formar profesionales en el campo de fundición que brinden asesoramiento técnico y especializado y ayuden a fabricar piezas a nivel local de alta calidad y con propiedades mejoradas, para contribuir a la reducción de la dependencia de productos importados.

4.1 Conclusiones

La desgasificación del metal líquido con argón se puede lograr en 2 minutos para una cantidad máxima de 6 kilos de material, luego del proceso de agitación de las partículas. Este proceso permite disminuir las imperfecciones durante la solidificación de la aleación no ferrosa, creando burbujas que arrastran las moléculas de hidrogeno, oxígeno y otras impurezas, transportándolas a la superficie como escoria, al ser menos densas que el líquido.

Con respecto a la selección del tipo de material fue de acero inoxidable debido a sus aplicaciones y usos en el transporte del fluido por tuberías.

El diseño de la estructura del horno soporta la carga de 600 lb, lo cual fue corroborado mediante simulaciones con ayuda de ANSYS,

El mantenimiento del sistema durante su vida en servicio se facilita al estar construido con materiales disponibles en el mercado local.

El dispositivo de inyección y agitación de partículas permiten la elaboración de materiales compuestos no ferrosas reforzadas con material particulado, uniformemente distribuido en el metal líquido, con lo cual se pueden obtener materiales con propiedades mecánicas uniformes, evitando la aglomeración de partículas.

4.2 Recomendaciones

Utilizar equipo de protección EPP para evitar accidentes durante la realización del trabajo.

Usar guantes de calor para verter el material fundido.

Se recomienda verificar la temperatura máxima de 1100°C mediante el control de la temperatura.

Calibrar la temperatura del horno, mediante mediciones con una termocupla auxiliar.

Se recomienda depositar las partículas cerámicas en el sistema de inyección para que el gas arrastre todo y pueda llevarlo hacia al aluminio fundido.

Dar mantenimiento al equipo eléctrico y mecánico regularmente al fin de evitar que las partes se deterioren.

BIBLIOGRAFÍA

- A., B. (2005). MATERIALES COMPUESTOS - PROCESOS DE FABRICACION DE EMBARCACIONES (VOL. 1). BARCELONA: UPC.
- BOCHEM, L. (2010). Lab supply. Obtenido de <http://www.bochem.com/es/Informaci%C3%B3n+%C3%BAtil/Tipos+de+agitador+es.html>
- Callister, W. D. (2007). Introduccion a la ciencia e ingenieria de los materiales (Vol. Edicion 1). Méxoco: Reverté S.A.
- D., H. (2003). Materiales compuestos. México: Reverté S.A.
- Davis, J. (1993). Aluminum and aluminum alloys (Vol. 5). Pennsylvania: ASM Handbook.
- Gasser, B. . (1999). Thermal conductivity of liquid metals and metallic alloys. Journal of non-cristalline solids, 377-383.
- Grandfield, J. (2016). Essential Readings in Ligth metals, (Vol. 3). Madrid: Springer international Publishers.
- Groover, M. P. (2002). Fundamentos de manufactura moderna. México: Prentice Hall.
- INFRA. (2012). Desgasificacion del aluminio. Obtenido de <http://grupoinfra.com/>
- Jimeno, M. . (2004). Metalurgia general (2da edición ed.). Barcelona: Reverté S.A.
- Julian, W. L.-S. (1981). Operaciones básicas de ingenieria química (Vol. 1). Barcelona-España: Reverté S.A.
- Mur, G. (2001). Aleaciones ligeras (Vol. 1). Barcelona: UPC.
- Norton, R. L. (2011). Dieño de máquinas. México: Prentice Hall.
- Porter, H. W.-W. (2005). Thermal conductivity (Vol. 5). Pennsylvania: DESTECH Publications, Inc.
- Shigley. (2008). Diseño en ingeniería mecánica. México: Mc Graw Hill.
- Warmuzek, M. (2004). Aluminum-Silicon casting alloys. México: ASM International.
- Warren L. McCabe, J. C. (2003). Operaciones básicas de ingeniería (Vol. 1). España: Reverté S.A.
- Zaragoza, U. (1993). Metal matrix composites. En A. Miravete. Madrid: Woodhead Publishing Limeted.

APÉNDICES

Apéndice A: Calculo de calor total requerido para fundir aluminio puro

Tabla 0.1 Calores específicos de algunos metales y sustancias solidas

Calor específico de los metales c_p en kcal/kg y por grado °C a 20 °C						Calor específico c_p de sustancias sólidas y líquidas en kcal/kg y por grado					
Metal	c_p	Metal	c_p	Metal	c_p	Substancia	Temp. en °C	c_p	Substancia	Temp. en °C	c_p
Na	0.288	W	0.032	An	0.031	Amianto	20. 98	0.195	Baquelita	20	0.383
Be	0.418	Mn	0.116	Zn	0.092	Dolomita	20. 98	0.222	Algodón	18	0.304
Mg	0.243	Fe	0.108	Cd	0.055	Feldespató	20. 100	0.191	Coque de gas	0. 420	0.278
Al	0.214	Ni	0.106	Hg	0.033	Mica	20. 98	0.208	Grafito	20. 480	0.297
V	0.12	Pt	0.032	Si	0.168	Pirita de cobre	15. 99	0.129	Carbón leña	18	0.277
Cr	0.105	Cu	0.092	Sn	0.054	Pirita magnética	0. 100	0.153	Aceite de máq	25. 35	0.474
Mo	0.06	Ag	0.056	Pb	0.031	Talco	20. 98	0.209	Petróleo	0. 100	0.55

Fuente: Wolfgang Helbing, 2008

Datos:

Calor específico del aluminio, C_p : 0,214 kcal/kg°C

Calor específico del grafito, C_p : 0,17 kcal/kg°C

Punto de fusión del aluminio: 660 °C

Peso del aluminio a fundir: 6 kg

Temperatura máxima a alcanzar: 900 °C

Calor latente de fusión de aluminio: 86 kcal/kg

Calor latente de fusión del silicio: 337 kcal/kg

Tiempo de trabajo: 12 minutos = 720 seg

Tabla 0.2 Calor latente de algunos metales a 20 °C - 1 atm

Material	Específico (C _e)		Fusión (l _f)		Vaporización (l _v)	
	kcal/kg.°C	kJ/kg.K	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg
Aceite de Oliva	0,400	1,675	-	-	-	-
Acero	0,110	0,460	104	25	204	854
Acetona	0,510	2,136	22,9	96	125	524
Agua líquida	1,000	4,180	-	-	-	-
Agua sólida (hielo)	0,500	2,094	79,7	333	-	-
Agua vapor	0,482	2,018	-	-	539	2260
Aire seco	0,240	1,005	-	-	-	-
Alcohol etílico	0,600	2,513	24,9	104,2	203,9	854
Alpaca	0,095	0,398	-	-	-	-
Aluminio	0,215	0,900	77-94	322-394	2202	9220
Amoniaco (líquido)	0,112	0,470	108	452	327	1370
Antimonio	0,049	0,205	39,4	165	134	561
Azufre	0,179	0,750	5,9	35	208	870
Benceno	0,042	0,175	30,3	127	95	396
Berilio	0,470	1,970	-	-	-	-
Bronce	0,086	0,360	-	-	-	-
Cadmio	0,056	0,234	13,6	57	212	886

Fuente: Kurt Gieck, 2007

Se necesita el calor requerido para elevar la temperatura del metal desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión del aluminio y mantenerlo en estado líquido.

$$Q_1 = mC_p(T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = (6kg * \frac{0,214kcal}{kg^{\circ}C} + 6kg * \frac{0,17kcal}{kg^{\circ}C}) * (800 - 27)^{\circ}C$$

$$Q_1 = 1781 kcal$$

La entalpía de fusión es el calor requerido para convertir el metal en su punto de fusión en estado líquido a la misma temperatura.

$$Q_2 = mL$$

$$Q_2 = 6kg * \frac{86kcal}{kg} = 516 kcal$$

Calor total que requiere durante la fundición del aluminio

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

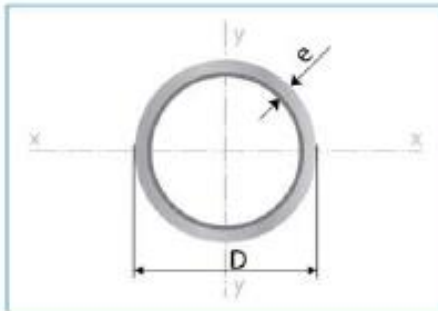
$$Q_T = 2297 kcal$$

Tomando en cuenta el tiempo de trabajo:

$$1 \text{ caloría} = 4,184 \text{ Joule}$$

$$Q_T = \frac{2297 kcal}{720 s} = 3190 \frac{cal}{s} * \frac{4,184 J}{1cal} = 13,3 kW$$

Apéndice B: selección de material para diseño soporte del agitador



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Aplicaciones

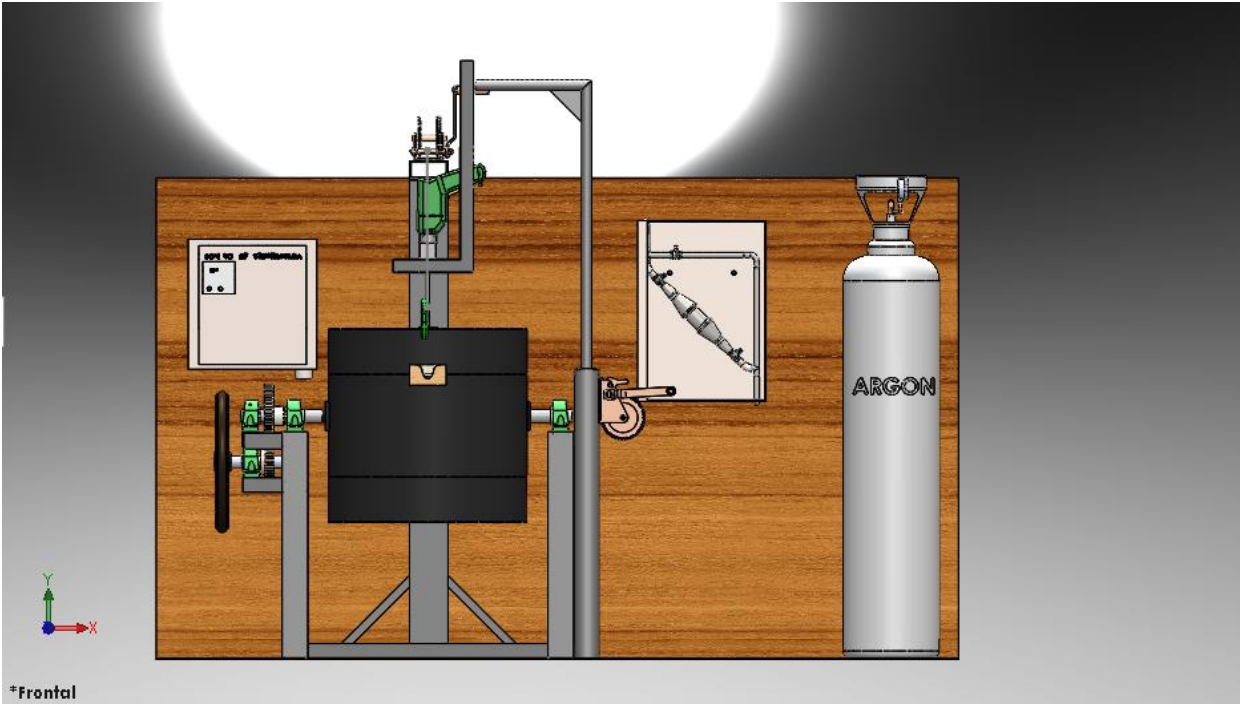
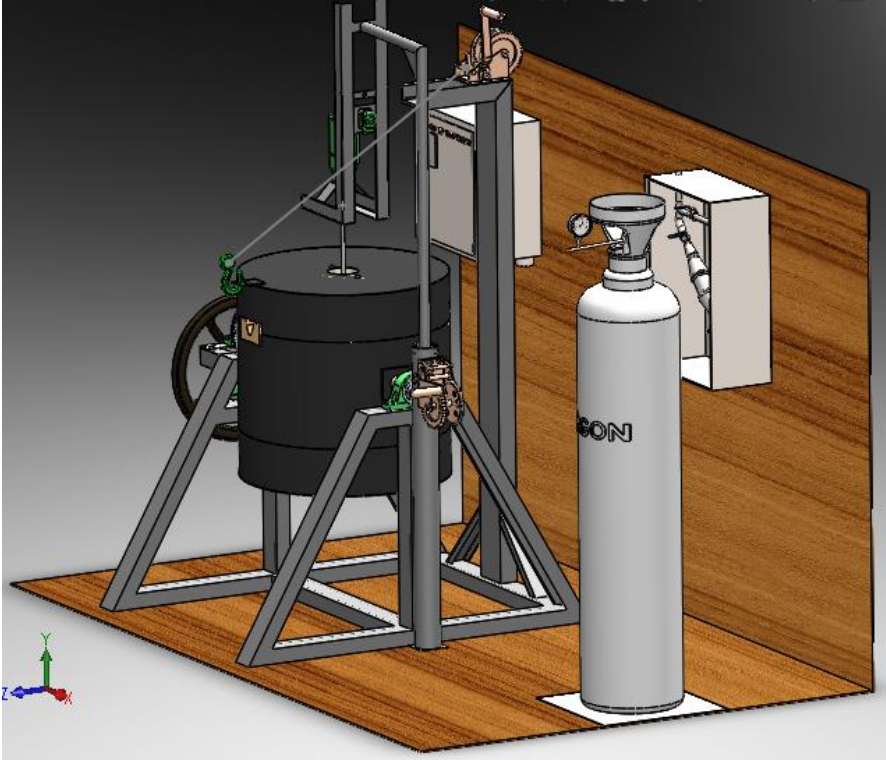
- Automotriz y de autopartes: carrocería, guardachoques, tubos de escape, remolques y rodados.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes para señalética.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: rejas, portones, columnas, andamios.
- Estructuras: portantes, galpones, invernaderos y naves industriales.

Beneficios

- Duradero: Al construir con acero,

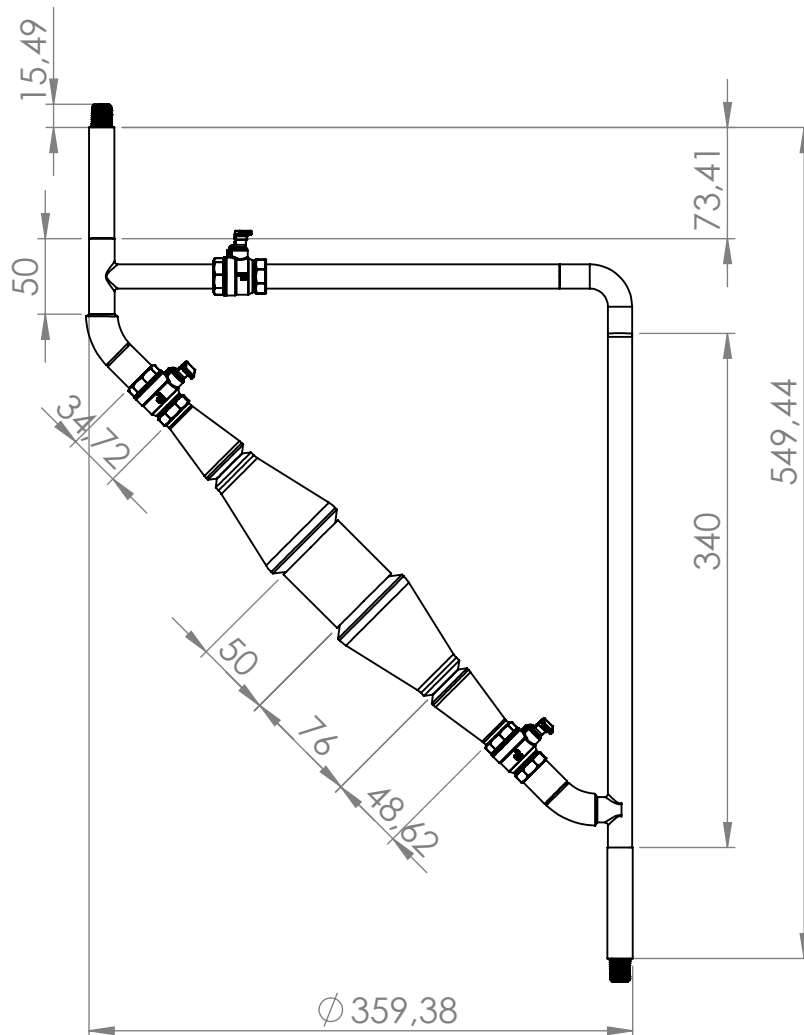
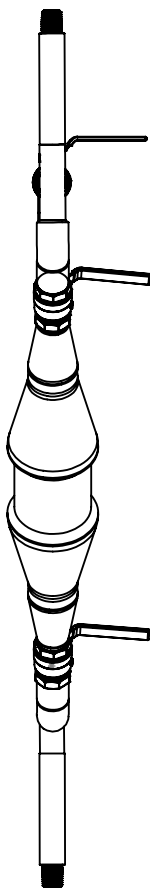
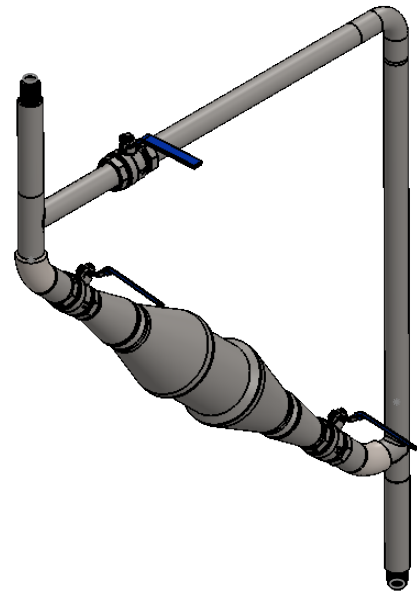
Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	
3/4	19,10	1,40	0,78	0,61	0,30	0,32	0,63
		1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,62
		1,80	0,98	0,77	0,37	0,39	0,61
7/8	22,20	2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,61
		1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,73
		1,80	1,16	0,91	0,61	0,55	0,72
1	25,40	2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
		1,50	1,13	0,88	0,76	0,60	0,85
		1,80	1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
1 1/4	31,80	2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
		1,40	1,33	1,05	1,54	0,97	1,07
		1,50	1,43	1,12	1,63	1,03	1,07
1 1/2	38,10	1,80	1,69	1,33	1,91	1,20	1,06
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,06
		1,40	1,61	1,27	2,72	1,43	1,30
1 3/4	44,50	1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		1,80	2,05	1,61	3,39	1,78	1,28
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 7/8	47,60	1,40	1,89	1,49	4,39	1,98	1,52
		1,50	2,02	1,59	4,67	2,10	1,52
		1,80	2,41	1,89	5,49	2,47	1,51
2	50,80	2,00	2,67	2,09	6,02	2,71	1,50
		1,40	2,17	1,71	6,63	2,61	1,75
		1,50	2,32	1,82	7,06	2,78	1,74
2 3/8	60,30	1,80	2,77	2,18	8,33	3,28	1,73
		2,00	3,07	2,41	9,14	3,60	1,73
		3,00	4,51	3,54	12,92	5,09	1,69
2 1/2	63,50	4,00	5,88	4,62	16,22	6,39	1,66
		1,50	2,77	2,18	12,00	3,98	2,06
		1,80	3,31	2,60	14,18	4,70	2,07
3	76,20	2,00	3,66	2,88	15,60	5,17	2,06
		3,00	5,40	4,24	22,25	7,38	2,03
		4,00	7,08	5,56	28,21	9,35	2,00
3	76,20	1,50	2,92	2,29	14,05	4,42	2,19
		1,80	3,49	2,74	16,62	5,23	2,18
		2,00	3,86	3,03	18,29	5,76	2,18
3	76,20	3,00	5,70	4,48	26,15	8,24	2,14
		4,00	7,48	5,87	33,24	10,47	2,11
		1,50	3,52	2,76	24,56	6,45	2,64
3	76,20	1,80	4,21	3,30	29,13	7,65	2,63
		2,00	4,66	3,66	32,11	8,43	2,62
		3,00	6,90	5,42	46,29	12,15	2,59

Apéndice C: Equipo completo del horno basculante



**Apéndice D: PLANOS ESQUEMÁTICOS DEL SISTEMA DE INYECCION Y
AGITACION**

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Acople	1
2	Reductor 2x1	2
3	Reductor 1x1/2	2
4	Valvula de presión	3
5	Codo recto	2
6	codo_45°-1/2	2
7	Tees	1
8	Tees	1
9	Codo_90	1
10	Neplo- 1/2	2



TITULO:

Diseño del sistema de
inyección de partículas

A4

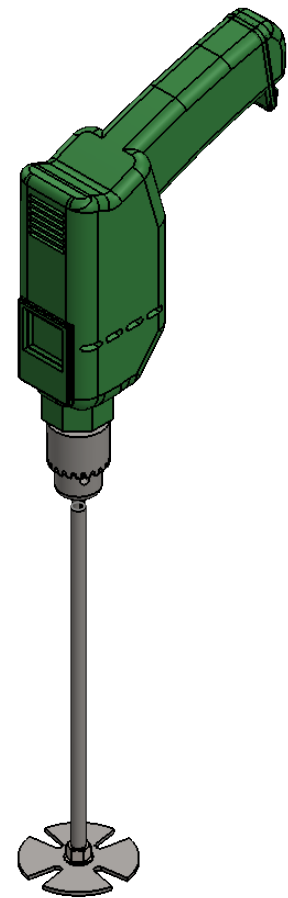
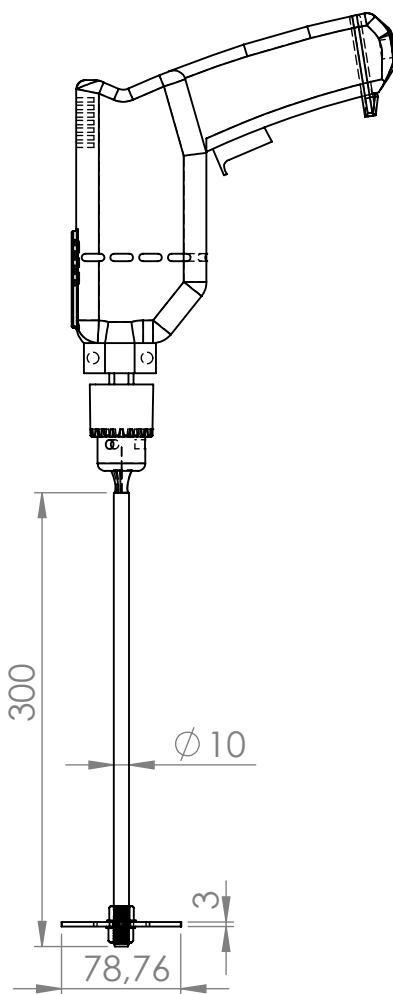
ESPOL

ESCALA:

1/10

FECHA:

29/01/2017

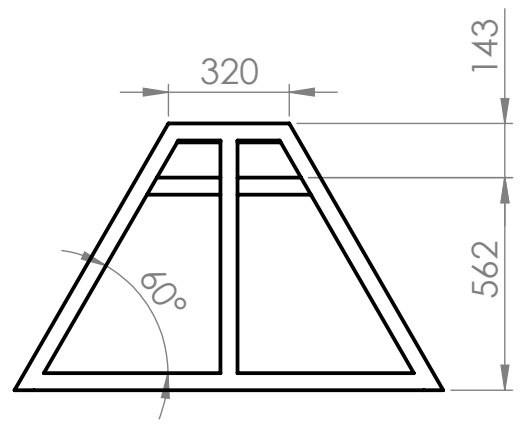
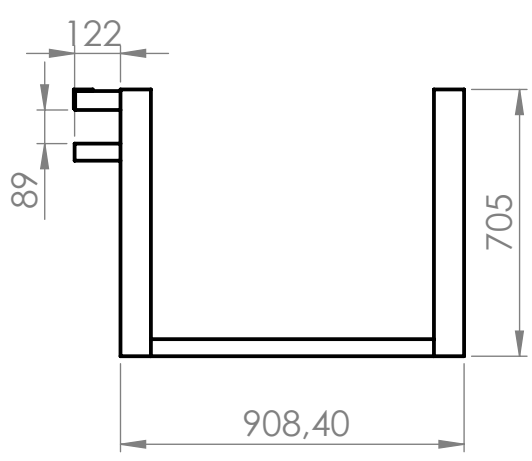
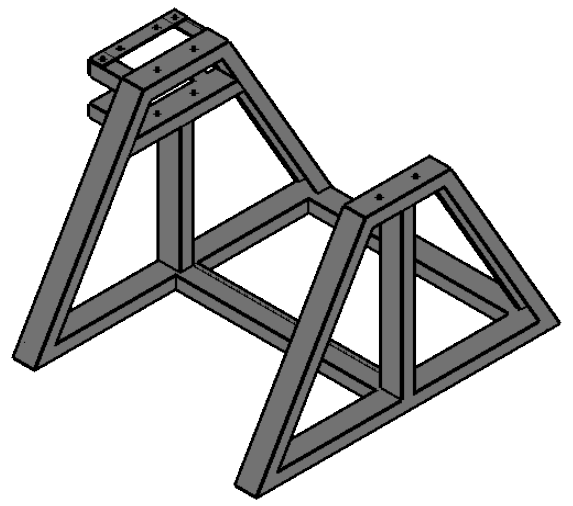
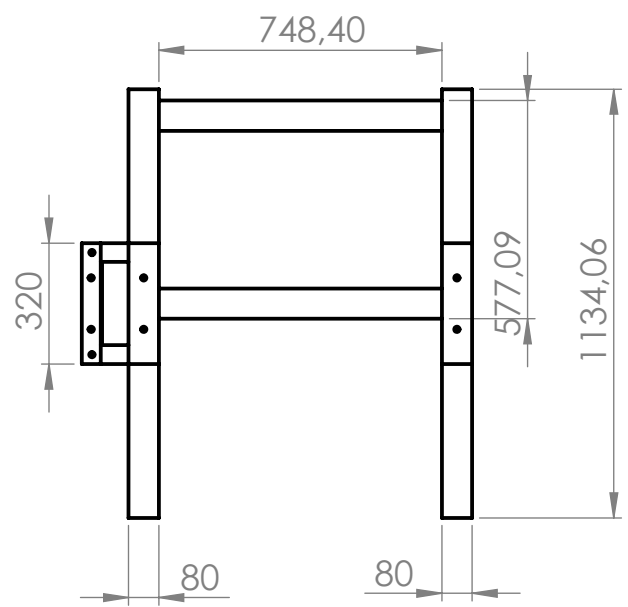


TITULO:		A4
Diseño del sistema de agitación		
ESCALA:	1/5	FECHA:
		29/01/2017
		ESPOL

4 3 2 1

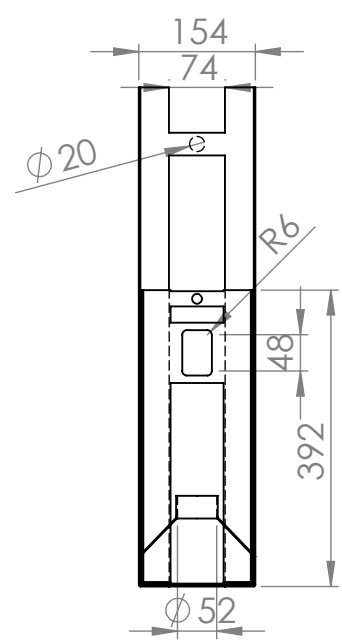
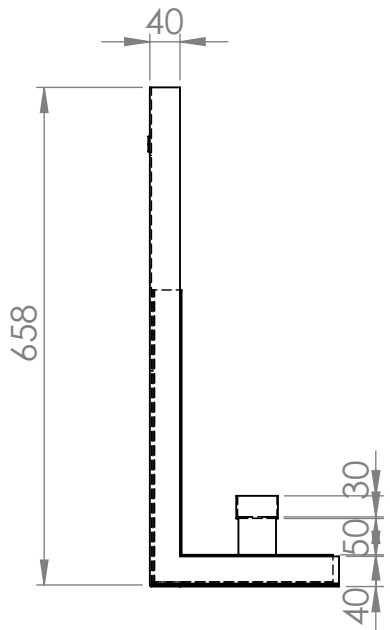
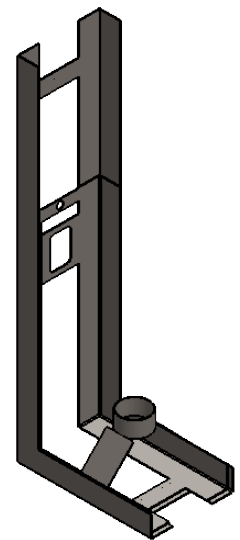
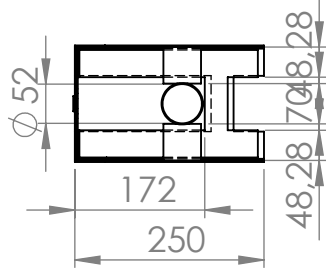
F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

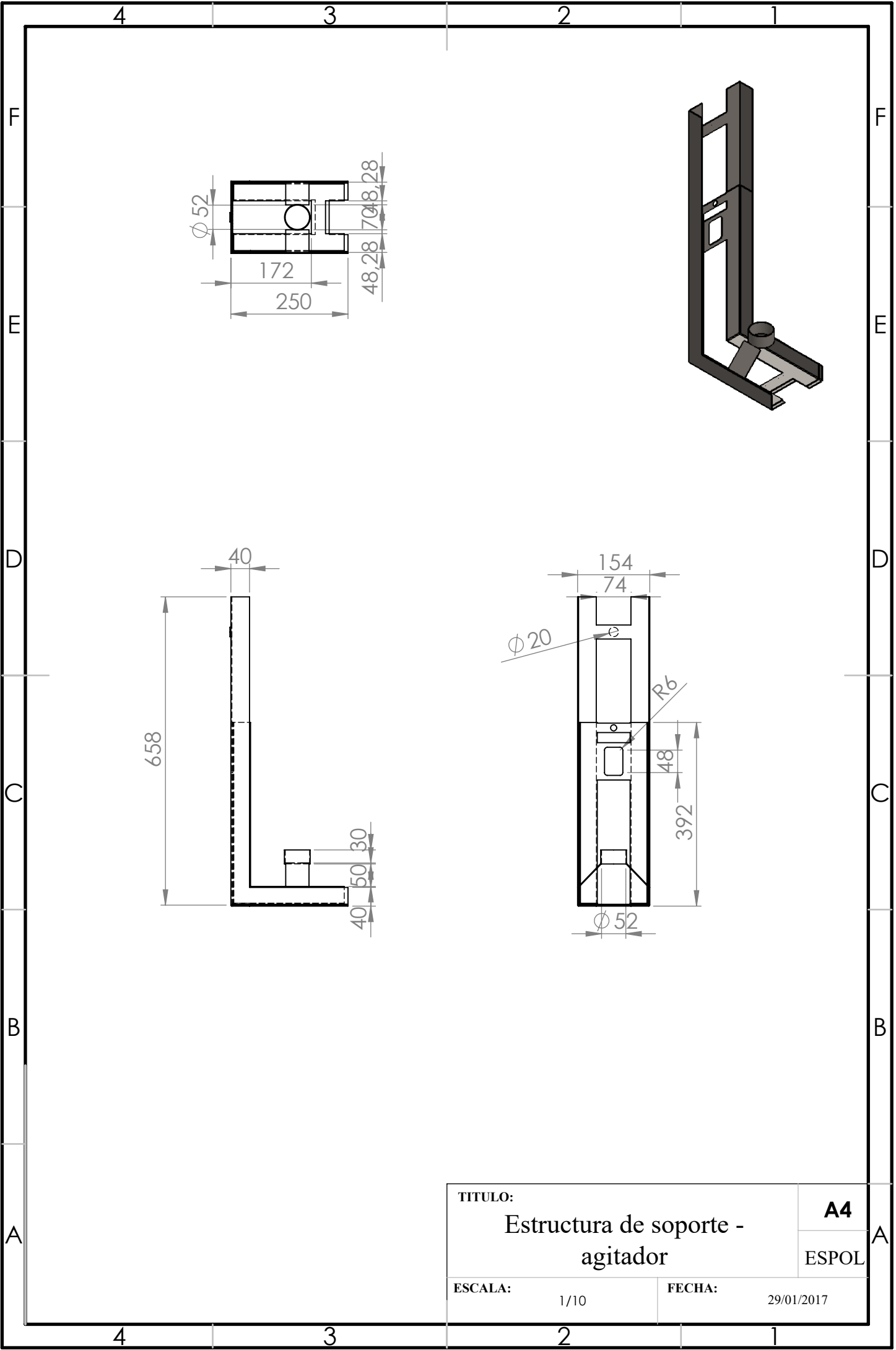


TITULO:		A4
Estructura para horno basculante		
ESCALA:	FECHA:	ESPOL
1/20	29/01/2017	

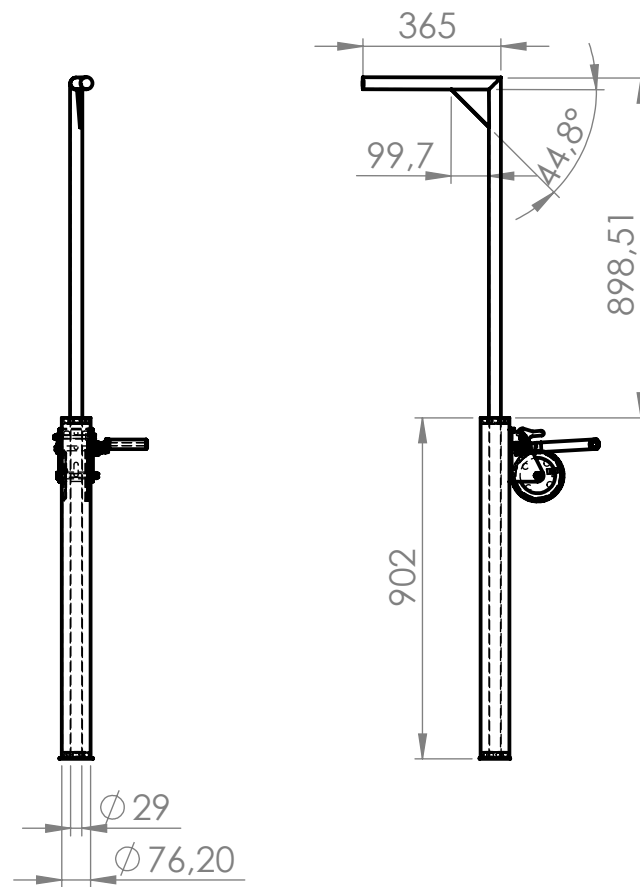
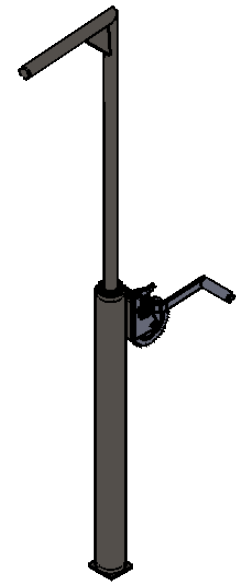
4 3 2 1



TITULO:		A4
Estructura de soporte - agitador		
ESCALA:	1/10	FECHA:
		29/01/2017



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tubo 76,2 mm x 2mm	1
2	Tubo 50,8mm x 2mm	1
3	Tubo horizontal 50,8mm	1
4	Rodamientos	2
5	Winche mecánico	1



TITULO:

Base para soporte del
agitador

A4

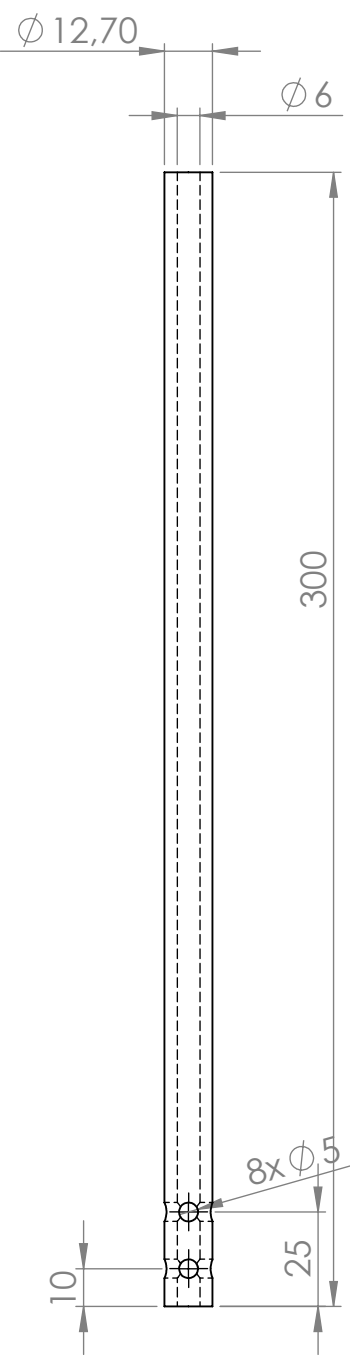
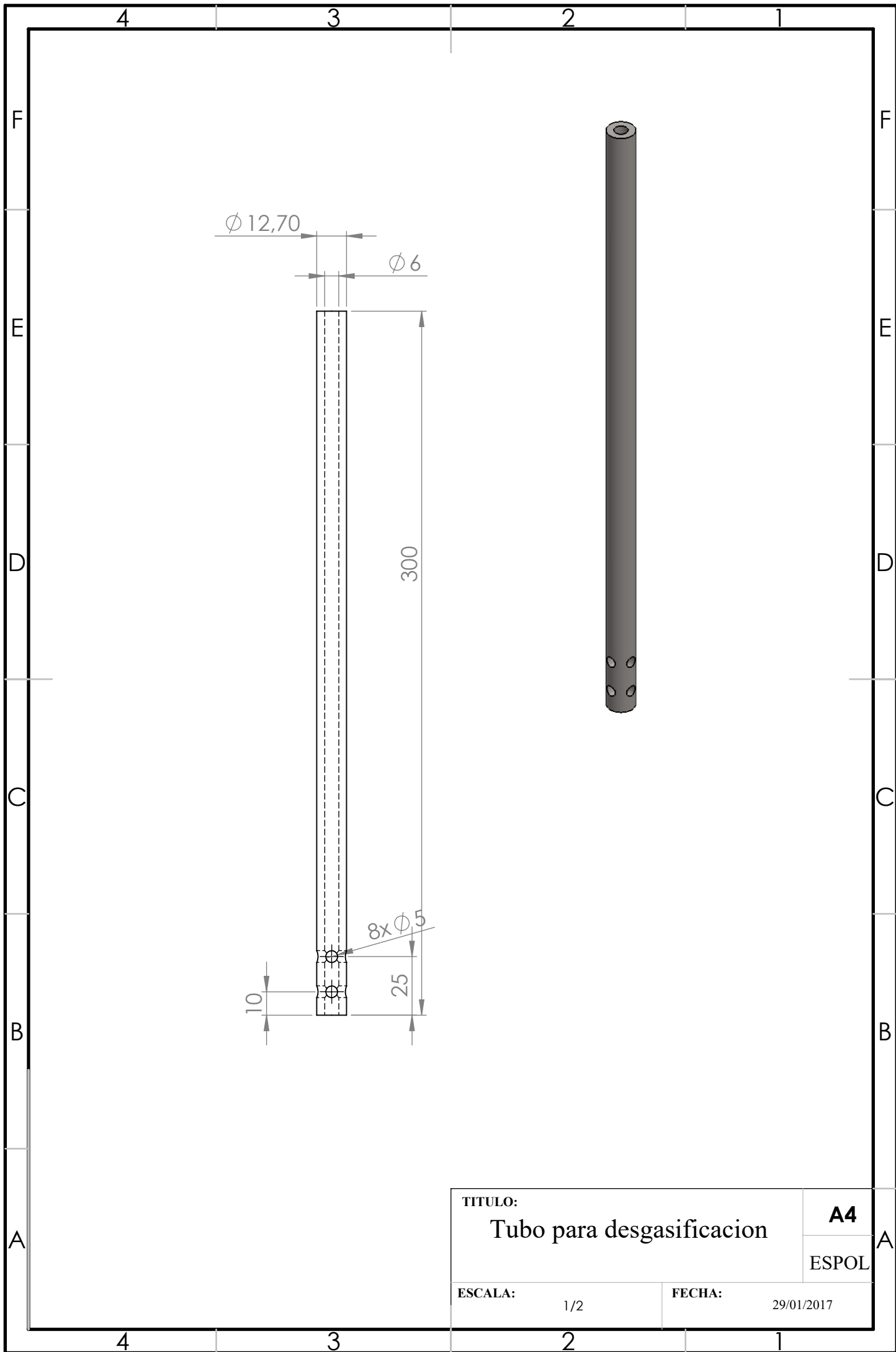
ESPOL

ESCALA:

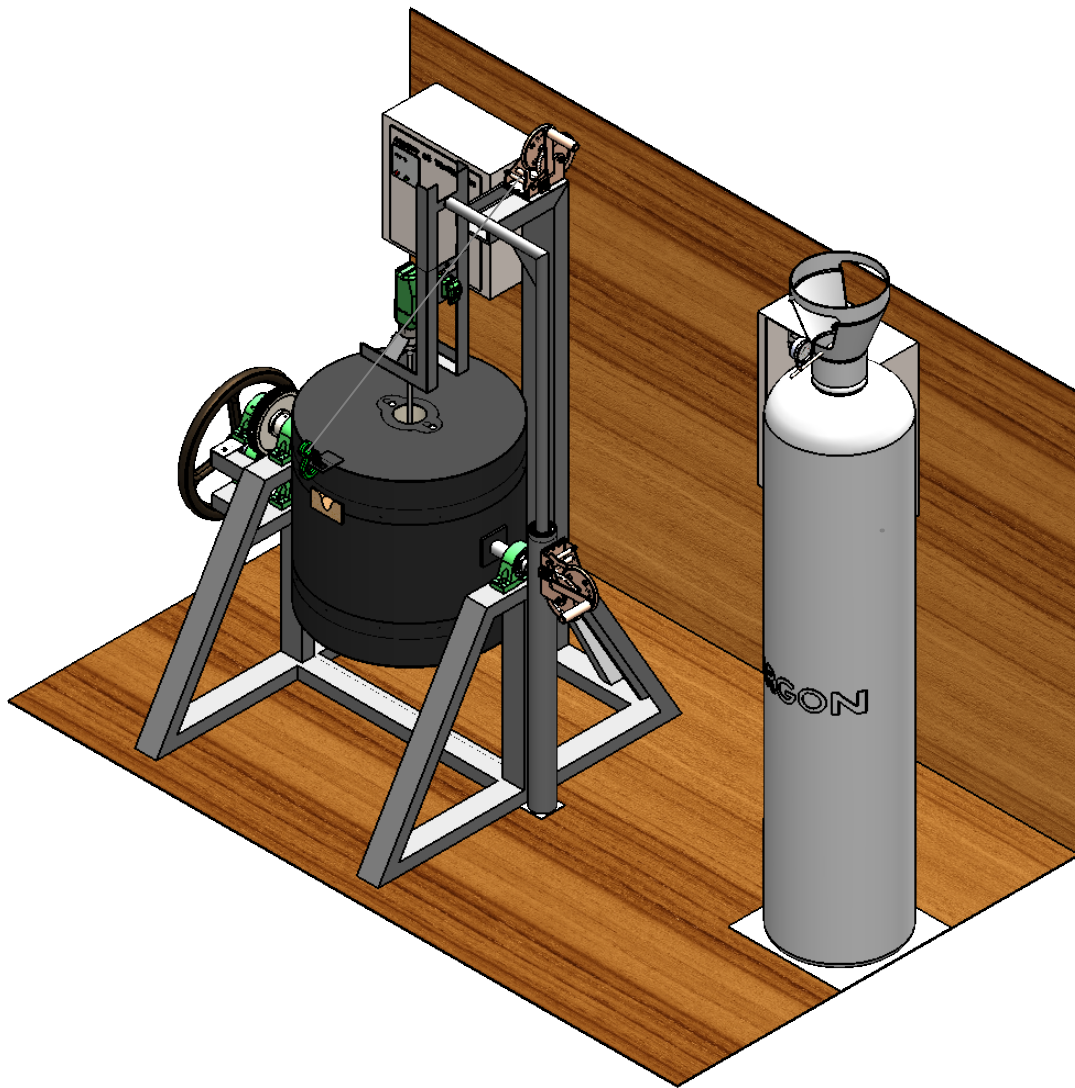
1/50

FECHA:

29/01/2017



TITULO: Tubo para desgasificacion		A4
		ESPOL
ESCALA: 1/2	FECHA: 29/01/2017	



TITULO:

Equipo horno basculante

A4

ESCALA:

1/20

FECHA:

29/01/2017