



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO  
GRIS EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD  
DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.**

**CANDO TONATO WILMER GEOVANNY  
QUISPE YANCHAPANTA VÍCTOR MAURICIO**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

# **INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-06-27

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**WILMER GEOVANNY CANDO TONATO**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CUCHARA MECÁNICA  
PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE  
LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pérez Fiallos  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** WILMER GEOVANNY CANDO TONATO

**TÍTULO DE LA TESIS :** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.

**Fecha de Examinación:** 2015-01-09

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. José Pérez Fiallos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-06-27

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**VÍCTOR MAURICIO QUISPE YANCHAPANTA**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CUCHARA MECÁNICA  
PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE  
LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pérez Fiallos  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** VÍCTOR MAURICIO QUISPE YANCHAPANTA

**TÍTULO DE LA TESIS :** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.

**Fecha de Examinación:** 2015-01-09

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. José Pérez Fiallos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Wilmer Geovanny Cando Tonato

---

Víctor Mauricio Quispe Yanchapanta

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres y mis hermanos quien han sido los pilares fundamentales para mi vida y sin los cuales no hubiese logrado alcanzar mis metas propuestas.

**Wilmer Cando Tonato**

Dedico esta tesis a mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. Así mismo dedico este trabajo a quienes de una u otra manera han colaborado para mi superación personal y profesional.

**Víctor Quispe Yanchapanta**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mis padres y hermanos que gracias a su guía y apoyo he cumplido uno de los anhelos más grandes de mi vida.

**Wilmer Cando Tonato**

En primer lugar a Dios por haberme creado con un propósito, a mi madre, a mi hermanos que han sido un ejemplo de vida y de lucha, a todos mis profesores y amigos quienes han estado en todos los instantes de mi vida.

**Víctor Quispe Yanchapanta**

# CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i> .....	2
<b>2. MARCO CONCEPTUAL</b>	
2.1 Fundiciones de hierro.....	3
2.1.1 <i>Clasificación de las fundiciones.</i> .....	3
2.1.2 <i>Fundición gris</i> .....	6
2.2 Tipos de cucharas.....	8
2.2.1 <i>Cuchara tipo tambor.</i> .....	9
2.2.2 <i>Cuchara tipo tetera</i> .....	9
2.2.3 <i>Cuchara de colada con descarga por el fondo</i> .....	10
2.2.4 <i>Cuchara de pico</i> .....	10
2.2.5 <i>Cuchara de colada para dos personas.</i> .....	11
2.3 Materiales refractarios.....	11
2.3.1 <i>Definición.</i> .....	11
2.3.2 <i>Tipos de material refractario</i> .....	11
2.3.3 <i>Propiedades.</i> .....	12
2.3.4 <i>Presentación del material refractario</i> .....	12
2.3.5 <i>Aplicaciones.</i> .....	12
2.4 Transferencia de calor .....	13
2.4.1 <i>Transferencia de calor por conducción.</i> .....	13
2.4.2 <i>Transferencia de calor por convección.</i> .....	13
2.4.3 <i>Transferencia de calor por radiación</i> .....	14
2.5 Materiales y equipos para la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.....	14
2.5.1 <i>Aceros.</i> .....	14
2.5.2 <i>Chumaceras.</i> .....	17
2.5.3 <i>Engranajes cónicos.</i> .....	19
2.5.4 <i>Reductores de velocidades.</i> .....	19
2.6 Diseño conceptual del prototipo de la máquina centrifugadora vertical.....	21
2.6.1 <i>Descripción del procedimiento</i> .....	22
<b>3. DISEÑO DE LA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS.</b> .....	
3.1 Diseño Conceptual.....	26
3.1.1 <i>Método de generación de ideas.</i> .....	27
3.1.2 <i>Lluvia de ideas</i> .....	27
3.1.3 <i>Bosquejo de alternativas.</i> .....	27
3.1.4 <i>Tabla morfológica.</i> .....	29
3.1.5 <i>Bosquejo a mano alzada.</i> .....	31
3.2 Diseño preliminar.....	31

3.2.1	<i>Método de selección.</i>	32
3.3	Dimensionamiento y selección del material	35
3.3.1	<i>Cálculo de centro de gravedad.</i>	40
3.4	Diseño detallado.	44
3.4.1	<i>Dimensionamiento y selección del material.</i>	44
3.4.2	<i>Selección de la chumacera</i>	61
3.4.3	<i>Selección de pernos.</i>	62
3.4.4	<i>Análisis del parante perfil.</i>	67
3.4.5	<i>Selección de reductor de velocidades sin fin – rueda helicoidal.</i>	68
<b>4.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS.</b>	
4.1	Construcción de la cuchara.	70
4.1.1	<i>Medición.</i>	70
4.1.2	<i>Corte.</i>	71
4.1.3	<i>Rolado.</i>	71
4.1.4	<i>Soldadura.</i>	72
4.1.5	<i>Torneado.</i>	73
4.1.6	<i>Fresado.</i>	73
4.1.7	<i>Pulido y pintado.</i>	74
4.2	Montaje de los elementos de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.	74
4.2.1	<i>Máquinas y herramientas utilizadas</i>	76
4.2.2	<i>Montaje de la chumacera de piso en el cuerpo.</i>	77
4.2.3	<i>Montaje de la estructura de levantamiento.</i>	78
4.2.4	<i>Montaje del sistema de transmisión.</i>	79
4.3	Seguridad e higiene en la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.	80
4.3.1	<i>Seguridad en los procesos.</i>	81
4.3.2	<i>Higiene en el taller.</i>	81
4.3.3	<i>Seguridad en el taller de fundición.</i>	82
4.3.4	<i>Los equipos de protección personal.</i>	83
<b>5.</b>	<b>VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS</b>	
5.1	Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora vertical.	86
5.1.1	<i>Prueba de equilibrio de la cuchara mecánica.</i>	86
5.1.2	<i>Prueba de funcionamiento de la cuchara mecánica sin carga.</i>	87
5.1.3	<i>Prueba de funcionamiento de la cuchara mecánica con carga en frio.</i>	87
5.3.4	<i>Prueba de funcionamiento de la cuchara mecánica utilizando Solidworks.</i>	87
5.2	Elaboración de un manual de mantenimiento.	90
5.3	Elaboración de medidas importantes de seguridad	92
<b>6.</b>	<b>COSTOS</b>	
6.1	Costos directos.	94
6.2	Costos indirectos.	95
6.3	Costos totales.	96
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	
7.1	Conclusiones.	97
7.2	Recomendaciones.	97

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**  
**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Clasificación de las fundiciones. .... 4
2	Composición química ..... 6
3	Tabla morfológica para el diseño de la cuchara mecánica..... 31
4	Matriz de selección en relación a los objetivos ..... 32
5	Matriz de selección ..... 33
6	Determinación de altura y radios en función del volumen ..... 38
7	Constantes del factor de superficie. .... 50
8	Factor de confiabilidad ..... 51
9	Factor de temperatura ..... 52
10	Diámetros y áreas de roscas métricas de paso fino y de paso basto ..... 66
11	Tabla reductores sin fin..... 69
12	Componentes de la máquina ..... 75
13	Máquinas y herramientas para la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris ..... 76
14	Equipos de protección personal. .... 85
15	Parámetros de funcionamiento de la cuchara mecánica sin carga..... 87
16	Parámetros de funcionamiento de la cuchara mecánica con carga en frío ..... 87
17	Costos directos ..... 94
18	Costos indirectos ..... 96
19	Costos totales..... 96

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Aplicación de las fundiciones grises.....8
2	Cuchara tipo tambor.....9
3	Cuchara tipo tetera.....9
4	Cuchara de colada con descarga por el fondo ..... 10
5	Cuchara de pico ..... 10
6	Cuchara de colada para dos personas ..... 11
7	Transferencia de calor por conducción. .... 13
8	Transferencia de calor por convección ..... 14
9	Transferencia de calor por radiación. .... 14
10	Tipos de chumaceras..... 18
11	Engranaje cónico ..... 19
12	Reductor de velocidad..... 20
13	Cuchara tipo tambor..... 28
14	Cuchara de pico ..... 28
15	Cuchara tipo tetera..... 28
16	Cuchara de colada con descarga por el fondo ..... 29
17	Cuchara para dos personas ..... 29
18	Bosquejo a mano a mano alzada..... 31
19	Cuchara pico de labio..... 32
20	Prototipo de cuchara ..... 34
21	Volumen del crisol..... 35
22	Tronco de cono ..... 37
23	Cuchara, refractario y material fundido ..... 39
24	Dimensiones de la cuchara ..... 40
25	Dimensiones del material refractario ..... 41
26	Peso del material refractario..... 42
27	Cálculo del centro de gravedad ..... 44
28	Envase tronco cónico, refuerzos y ejes ..... 45
29	Fuerzas aplicadas al eje..... 46
30	Diagrama de esfuerzo cortante ..... 47
31	Diagrama de momento flector ..... 47
32	Variación del esfuerzo ..... 48
33	Factores de concentración de esfuerzos ..... 52
34	Fuerzas aplicadas al eje izquierdo ..... 54
35	Diagrama de esfuerzo cortante ..... 55
36	Diagrama de momento flector ..... 56
37	Diagrama de las fuerzas que actúan sobre la chaveta ..... 60
38	Diagrama para el diseño de los pernos ..... 63
39	Fuerzas aplicadas al perfil ..... 67
40	Reductor de velocidades ..... 68
41	Medición y trazado ..... 70
42	Corte..... 71
43	Rolado de la plancha ..... 71
44	Soldadura..... 72
45	Torneado ..... 63
46	Fresado ..... 63
47	Pulido y pintado..... 74

48	Ensamble .....	635
49	Ensamble de chumaceras .....	78
50	Estructura de levantamiento .....	78
51	Reductor de velocidades .....	79
52	Engranajes cónicos .....	79
53	Volante .....	80
54	Prueba de equilibrio de la cuchara.....	86
55	Forma de la cuchara mecánica .....	88
56	Aplicación de cargas .....	88
57	Aplicación de mallado .....	88
58	Esfuerzos máximos y mínimos que soporta la cuchara .....	89
59	Deformación máxima y mínima de la cuchara mecánica .....	89
60	Factor de seguridad .....	90
61	Montaje - chumacera .....	92

## SIMBOLOGÍA

r	Radio del crisol	m
h	Altura del crisol	m
V	Volumen de la colada	m <sup>3</sup>
$\rho$	Densidad	kg/m <sup>3</sup>
r	Radio cono inferior	m
R	Radio cono superior	m
h	Altura del cono	m
P <sub>T</sub>	Peso total	kg
PAE	Peso aplicado al eje	kgf
P <sub>CL</sub>	Peso real total	kgf
M <sub>V</sub>	Momento flector	Kg.cm
V	Fuerza cortante	
$\sigma_f$	Esfuerzo de flexión	Kg/cm <sup>2</sup>
I/C	Módulo de la sección	m <sup>3</sup>
I	Momento de inercia sección transversal	m <sup>4</sup>
D	Diámetro del eje	m
T	Temperatura	°C
Se	Límite de resistencia a la fatiga	Kg/cm <sup>2</sup>
K	Coefficiente de Marín	W
Se'	Límite de resistencia a la fatiga de la muestra	Kg/cm <sup>2</sup>
Sut	Resistencia última a la tensión	
ka	Factor de superficie	
kb	Factor de forma y tamaño	
kc	Factor de confiabilidad	
kd	Factor de temperatura	
ke	Factor de concentración de esfuerzos	
kf	Coefficiente de mayorización de esfuerzos	
q	Coefficiente por cambio de sección	
kt	Factor por configuración geométrica del elemento	
T	Torque	Kgf.cm
Fc	Fuerza cortante	kgf
$\tau$	Esfuerzo de corte admisible	Kg/cm <sup>2</sup>
Po	Carga estática equivalente	N
Fr	Carga radial	N
Xo	Factor radial	
Yo	Factor axial	
Co	Capacidad de carga estática necesaria	N
So	Carga estática equivalente	N
Po	Factor de seguridad estático	
$\sigma_p$	Esfuerzo de empuje	N/m <sup>2</sup>
P	Fuerza de empuje	N
A	Área de sección	m <sup>2</sup>
E	Módulo de elasticidad	N/m <sup>2</sup>
km	Constante de rigidez	N/M

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

SKF	Svenska Kullager Frabriken
ASTM	American Society for Testing and Material
EPP	Equipo de protección personal
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
HP	Horse Power
SMAW	Shield Metal Arc Welding
ANSI	American National Standards
UNE	Una Norma Española

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Catálogo DIPAC de peso y áreas de planchas de acero A36.
- B** Resistencia última a la tensión
- C** Tabla de dimensiones de las chavetas
- D** Tabla de dimensiones de pernos
- E** Flujograma del proceso de construcción de la cuchara mecánica
- F** Catálogo de chumaceras
- G** Catálogo de perfiles IPN
- H** Catálogo de materiales refractarios

## RESUMEN

La construcción e implementación de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tiene como finalidad mejorar el proceso de transporte y vaciado, que permitirá realizar prácticas de fundición de forma rápida y segura para los estudiantes.

Con la ayuda de una herramienta informática de diseño y modelado de mecanismos, se obtuvo los planos de la cuchara mecánica y las especificaciones técnicas de materiales para su construcción.

Para la construcción de la cuchara mecánica se empleó los procesos de corte, rolado, torneado, fresado y soldadura como procesos de operaciones más importantes. El ensamblaje de los elementos se realizó soldando los ejes de transmisión al costado del envase cónico, se coloca las chumaceras y fijando éstas a la estructura de levantamiento, en el eje derecho se instala el reductor de velocidades, se ubican los engranajes cónicos al reductor de velocidades; finalmente se coloca el volante de la transmisión. La máquina está construida de gran parte con piezas de propia elaboración debido a que no se las consigue en el mercado.

En el proceso de control y seguridad de elementos ensamblados se procedió a realizar la prueba de funcionamiento con una carga de 530 kg donde la máquina cumplió con todos los parámetros establecidos en las etapas de diseño, el sistema de transmisión seleccionado fue el adecuado porque permite verter el material fundido de forma rápida y segura, el peso a soportar la cuchara mecánica supera las expectativas planteadas.

## **ABSTRACT**

The construction and implementation of a mechanical spoon for the grey cast iron in the casting workshop of the faculty of Mechanics of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, takes as a purpose to improve the transport and emptying process, which will allow doing internships of casting in quick and safe way for the students.

With the help of a computer tool of design and modeling of mechanisms, the planes of the mechanical spoon and the technical specifications of materials were obtained for their construction.

For de building of the mechanical spoon, the processes of cutting, rolling, turning, milling and welding were applied as important operations. The assembly of the components is made by welding the transmission shafts in the side of the conical container, the ball roller bearings are placed and these are joined to the lifting structure, the speed reducer is installed in the right shaft, the angular gears are mounted to the speed reducer, finally the transmission hand wheel is placed. The machine is built largely by parts of own development because they are not obtained on the market.

In the process of control and safety of assembled elements the functioning test was carried out with a load of 530 kg where the machine fulfilled with all the parameters established in the design stages, the selected transmission system was suitable because it allows spilling the cast material quickly and safely, the weight to bear the mechanical spoon overcomes the raised expectations.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se ha caracterizado por formar profesionales de excelencia en el campo académico y competitivo en el ámbito laboral, académico y tecnológico aportando de esta forma al desarrollo de la provincia y del país.

La Facultad de Mecánica cuenta con un taller de fundición que sirve como medio para fortalecer los conocimientos teóricos-prácticos adquiridos en la formación académica, una de las fortalezas de la institución es la de poseer talleres y laboratorios adecuados para la formación de los estudiantes en las distintas carreras.

En el taller de la Facultad de Mecánica se realizan una variedad de trabajos prácticos, por ello la necesidad de implementar una cuchara mecánica para el colado de hierro gris, con el objetivo de cumplir parámetros técnicos para la obtención de piezas de calidad.

El transporte del material fundido en el taller de fundición es manualmente utilizando dos operarios tiempos más largos de transporte y con riesgos de posibles accidentes durante el trayecto.

### 1.2 Justificación

Se proyecta construir e implementar una cuchara mecánica para el colado de hierro gris en el taller de fundición, viendo la necesidad que los estudiantes de las diferentes escuelas se familiaricen con estos temas de la industria metalúrgica de forma práctica.

Con esta implementación en el taller de fundición se busca impulsar el desarrollo práctico de los estudiantes de nuestra Facultad y generar una visión amplia de las labores reales en la industria.

La implementación de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris es mejorar el proceso de transporte y vaciado la cual ayudara a realizar prácticas de fundición de forma rápida y segura para los estudiantes.

### **1.3      Objetivos**

**1.3.1    Objetivo general** Construir e implementar una cuchara mecánica para el colado de hierro gris en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**1.3.2    Objetivos específicos:**

Realizar el diseño de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.

Construir la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.

Cambiar el sistema de transporte manual de la cuchara mecánica por un sistema de puente grúa.

Implementar la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.

Comprobar el funcionamiento de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.

Disminuir el esfuerzo humano que se genera al transportar el material fundido.

Analizar los costos de construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1 Fundiciones de Hierro

Las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro carbono del 2 al 5%, cantidades de silicio del 2 al 4%, del manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo. Se caracterizan por que se pueden vaciar del horno cubilote para obtener piezas de diferente tamaño y complejidad pero no pueden ser sometidas a deformación plástica, no son dúctiles ni maleables y poco soldables pero si maquinables, relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste. Las fundiciones funden a temperaturas entre 1150 y 1300 °C considerablemente más baja que la de los aceros, las propiedades mecánicas de las fundiciones dependen de la composición y del tratamiento térmico. (UTP.EDU, 2014)

Las fundiciones tienen innumerables usos y sus ventajas más importantes son:

- Son más fáciles de maquinar que los aceros.
- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.
- En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.
- Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como auto lubricantes.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste.

**2.1.1 Clasificación de las fundiciones.** De acuerdo con la apariencia de su fractura las fundiciones pueden ser grises, blancas, maleables y nodulares.

El mejor método para clasificar el material fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables a considerar que dan lugar a los diferentes tipos de fundiciones son: (ARMENDÁRIZ, 2010)

- El contenido de carbono.
- El contenido de aleación y de impurezas.

- La rapidez de enfriamiento durante o después del congelamiento
- El tratamiento térmico después de fundirse.

Tabla 1. Clasificación de las fundiciones.

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>	<b>Resistencia máxima</b>	<b>Ejemplo de aplicación</b>
Fundición blanca	Todo el carbono está formando cementita, su fractura es blanca brillante		Bolas de molinos
Fundición gris	Una parte o todo el carbono se encuentra como grafito y este aparece en forma de láminas. Su fractura es de color gris oscuro	35 kg/mm <sup>2</sup>	Block de motor
Fundición nodular	El grafito se presenta en forma globular, también se la denomina fundición de alta resistencia.	55kg/mm <sup>2</sup>	Tapa de motor cigüeñal
Fundición maleable	Parte o todo el carbono aparece como grafito, pero precipitando este en forma de copos. Su fractura según la base metálica, es oscura o color acero	50kg/mm <sup>2</sup>	Caja de embrague

Fuente: <http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~adruker/FUNDICIONES.ppt>

**2.1.1.1 Fundición blanca.** Las fundiciones blancas no tienen grafito libre, es decir todo el carbono se presenta combinado con el hierro. Sus características son:

- Excepcional dureza y resistencia a la abrasión.
- Gran rigidez y fragilidad.
- Pobre resistencia al choque
- Dificultad para lograr uniformidad de estructura metalográfica según el espesor.

Desde el estado líquido, se forman cristales que disuelven cada vez más carbono hasta llegar a la temperatura donde el líquido remanente reacciona, como la reacción ocurre a alta temperatura aparece como una mezcla gruesa.

Al bajar la temperatura, segrega carbono porque baja la solubilidad, de manera que da lugar a la precipitación de cementita, esta característica hace a la fundición blanca muy dura y resistente al desgaste pero frágil y difícil de maquinar. Su aplicación esta en aquellos lugares donde la resistencia a la abrasión y desgaste es lo más importante ya que no admite ninguna deformación. (FUNDICIONES, 2014)

Sus propiedades mecánicas son las siguientes:

- Dureza Brinell entre 375 y 600
- Resistencia a la tracción entre 130 y 500 MPa.
- Resistencia a la compresión entre 1,4 y 1,7 GPa.

**2.1.1.2 Fundición nodular.** Llamada también como fundición dúctil aquí el grafito se presenta en forma de esferoides por el agregado de magnesio, calcio y cerio, todos agentes altamente nodulizantes.

Estas fundiciones presentan características comparables a las de un acero:

- Excelente ductilidad y elongación.
- Excelente resistencia a la tracción.
- Buena colabilidad.

**2.1.1.3 Fundición maleable.** Las piezas se cuecen en fundición blanca y se les realiza un tratamiento térmico destinado a descomponer la cementita para producir la segregación de nódulos de grafito irregular. Se distinguen dos clases:

- Maleable de corazón blanco: Que consiste en un proceso de descarburación acentuado.
- Maleable de corazón negro: Donde se precipita el grafito en forma de nódulos.

Las diversas estructuras obtenidas, le otorgan las siguientes características:

- Excelente resistencia a la tracción
- Ductilidad y resistencia al choque
- Buena colabilidad.

Sus aplicaciones más representativas, están en las varillas de acoplamiento, los engranajes de transmisión y las cajas de diferencial para la industria automotriz. (FUNDICIÓN MALEABLE, 2014)

**2.1.2 Fundición gris.** Es la que más se utiliza en la industria. Su estructura está formada por una matriz metálica conteniendo grafito precipitado en formas, tamaños y grosores diversos.

En este tipo de hierro fundido la mayoría es del 2 a 4% de carbono. Las propiedades físicas y en particular las mecánicas varían dentro de amplios intervalos respondiendo a factores como la composición química, rapidez de enfriamiento después del vaciado, tratamiento térmico y parámetros micro estructurales como la naturaleza de la matriz, la forma y tamaño de las hojuelas de grafito.

En las fundiciones grises todo el carbono debería teóricamente presentarse en forma libre y por lo tanto, el hierro debería estar en forma de ferrita.

En la práctica no existe ni se desean fundiciones grises con todo el carbono libre, porque serían muy blandas y su resistencia sería muy baja. Por el contrario se desean que por lo menos el 80% del carbono total este formando cementita quedando un máximo de 20% en forma de carbono libre o grafito.

Para lograr una buena repartición entre cementita y carbono libre se emplea, en muchos casos acero estructural en la preparación de las cargas destinadas a la producción de fundición gris. En síntesis una fundición gris se caracteriza por su composición química y por el estado que se encuentra el carbono. (PASTOR, 2000)

### ***Composición química***

Tabla No. 2 Composición química

Carbono	silicio	manganeso	azufre	Fosforo
2,5 – 4,0	1.0 – 3,0	0,25 – 1,0	0,02 – 0,25	0,05 – 1,0

Fuente: PASTOR Mario, Apuntes de Fundición, Pág. 15

### ***Principales características***

- Excelente colabilidad.
- Buena resistencia al desgaste.
- Excelente respuesta a los tratamientos térmicos de endurecimiento superficial.
- Poca resistencia mecánica.
- Gran capacidad de amortiguamiento.

### ***Principales propiedades***

- Aspecto: La superficie exterior en la fundición es de color gris
- Peso específico: 7 a 7,2
- Temperatura de fusión: 1200°C
- Resistencia a la tracción: Cerca de 15kg/mm<sup>2</sup>, llega a los 30,40 y 45 kg/mm<sup>2</sup>.
- Fluidez: Mucha fluidez por lo que permite moldear piezas de forma muy complicadas
- Dureza: tiene una dureza de 140 a 250 Brinell, se puede mecanizar fácilmente, porque la viruta se desprende mejor y por la presencia de grafito liberado, que lubrica el paso de la viruta sobre el corte de la herramienta.

### ***Ventajas***

El empleo de la fundición gris respecto a otras aleaciones posee las siguientes ventajas:

- Las piezas obtenidas de fundiciones grises son, en general más baratas que las de acero. Su fabricación es también más sencilla por emplearse instalaciones menos costosas y realizarse la fusión a temperaturas relativamente poco elevadas y más bajas que aquellas correspondientes al acero.
- Para mecanizar las fundiciones grises son en general mucho más fáciles que los aceros.
- Se pueden fabricar con relativa facilidad piezas de grandes dimensiones y también piezas pequeñas y complicadas que se pueden obtener con gran precisión de formas y medidas. Además en ellas es mucho menos frecuente la aparición de zonas porosas que en las piezas fabricadas con acero fundido.

- La solidificación en las fundiciones grises presentan mucho menos contracción que los aceros y, además, su fabricación no exige como en los aceros, el empleo de refractarios relativamente especiales de precio elevado en el mercado. (FUNDICION GRIS, 2014)

### *Aplicación de las fundiciones grises*

Las fundiciones grises son bastantes utilizadas en aplicaciones como:

- Bases o pedestales para maquinas.
- Herramientas
- Bastidores para maquinaria pesada.
- Bloques de cilindros para motores de vehículos.
- Discos de frenos.
- Herramientas agrícolas entre otras.
- Tapas de alcantarillas.

Figura 1. Aplicación de las fundiciones grises



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/images-frenos/tambor-foto.jpg>

## **2.2 Tipos de cucharas**

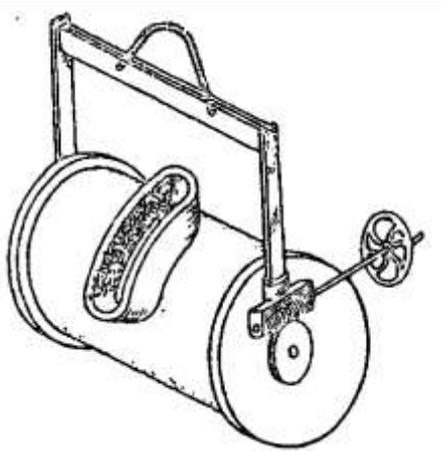
Las cucharas sirven para transportar el metal líquido y para el llenado de moldes, la cuchara tiene una cubierta de acero, cuyas paredes y fondo en su parte interior están forrados de material refractario (ladrillo, arena, morteros). El espesor de la capa de revestimiento es de 65 –180 mm.

Por su estructura las cucharas pueden ser:

- De pico
- Tipo Tetera
- Tipo tambor
- De colada con descarga por el fondo
- Cuchara de colada para dos personas

**2.2.1** *Cuchara tipo tambor.* Conservan el metal fundido caliente más largo tiempo.

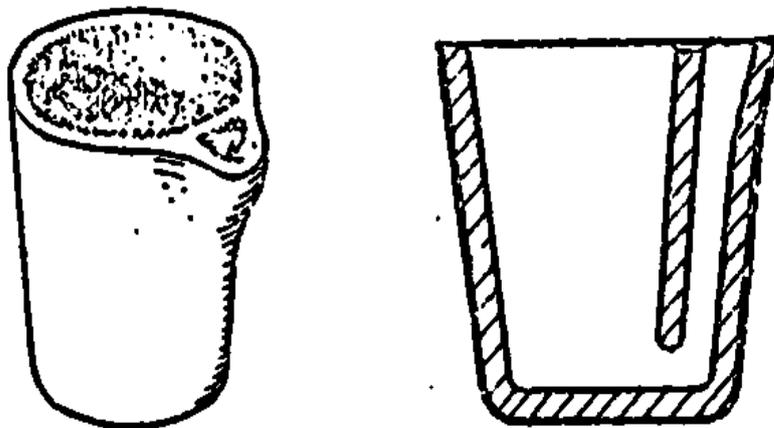
Figura 2. Cuchara tipo tambor



Fuente: CAPELLO Edoardo, Tecnología de la Fundición, Pág. 417

**2.2.2** *Cuchara tipo tetera.* En los cuales se descorifica el metal más fácilmente, estas cucharas se prestan bien para el desulfurado con la sosa.

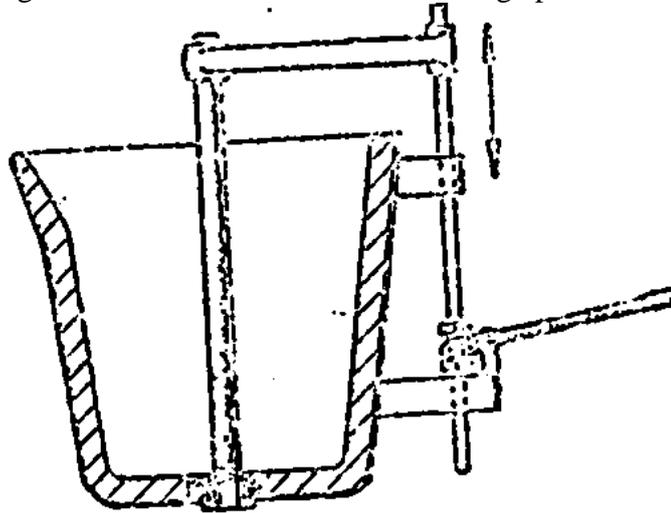
Figura 3. Cuchara tipo tetera



Fuente: CAPELLO Edoardo, Tecnología de la Fundición, Pág. 418

**2.2.3** *Cuchara de colada con descarga por el fondo.* En los cuales el agujero de colada está prácticamente en el fondo, y puede ser abierto o cerrado con un asta a propósito armado con tapón de barro, estas cucharas son utilizadas en los talleres de fundición de acero.

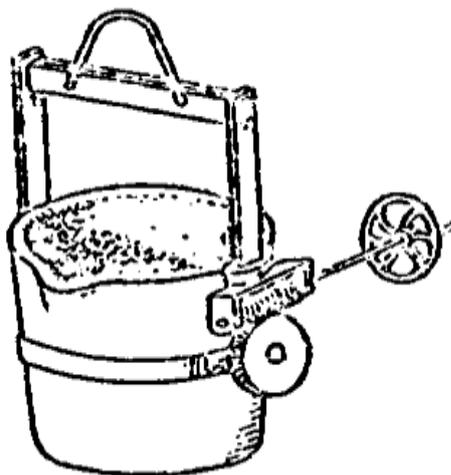
Figura 4. Cuchara de colada con descarga por el fondo



Fuente: CAPELLO Edoardo, Tecnología de la Fundición, Pág. 419

**2.2.4** *Cuchara de pico.* Son utilizadas cuando las capacidades del metal fundido son grandes, transportados por la grúa y maniobrados para colar el metal mediante tornillo sin fin y rueda helicoidal. En este caso las cucharas se llenan con metal de cucharas grandes o del mismo horno.

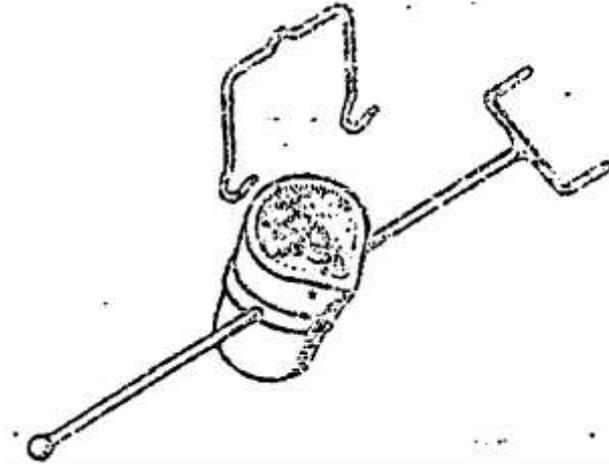
Figura 5. Cuchara de pico



Fuente: CAPELLO Edoardo, Tecnología de la Fundición, Pág. 417

**2.2.5** *Cuchara de colada para dos personas.* Cuando se funden piezas pequeñas, se usan cucharas sencillas de doble brazo.

Figura 6. Cuchara de colada para dos personas



Fuente: CAPELLO Edoardo, Tecnología de la Fundición, Pág. 417

## **2.3** Materiales refractarios

**2.3.1** *Definición.* Son materiales que soportan la acción de temperaturas elevadas (por lo menos 600 °C) sin ablandarse excesivamente ni romperse (CAPELLO, 1989).

**2.3.2** *Tipos de material refractario.* Los refractarios se dividen en cuatro grupos: ácidos, básicos, neutros y especiales en función de su modo de reacción a la química.

- Refractarios ácidos. Incluyen las arcilla de sílice, de alúmina y refractarios de arcilla.
- Refractarios básicos. Se basan en el MgO (magnesia o periclasa) porque su punto de fusión es alto y tiene una buena refractariedad pero son más costosos que los refractarios ácidos.
- Refractarios neutros. Normalmente incluyen la cromita y la magnesita, son utilizados para separar los refractarios ácidos de los básicos, impidiendo el que uno ataque al otro.
- Refractarios especiales. Son los productos refractarios constituidos por sustancias naturales o sintéticas y elaborados con técnicas especiales a base de:

- Carbono grafito
- Carburos de silicio, de circonio, de titanio, de boro, de tantalio
- Siliciuros de molibdeno, tungsteno
- Óxidos de circonio, de aluminio(mullita)

**2.3.3** *Propiedades.* La refractariedad no es suficiente para definir la aptitud de un determinado material para ser aplicado en los hornos, sino que deben tomarse en consideración otras propiedades como son las siguientes:

- La resistencia a la compresión en frío. Se indica en kg/cm<sup>2</sup>.
- La temperatura de reblandecimiento bajo la carga de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Se indica en °C.
- La dilatación lineal en caliente.
- La resistencia a los cambios bruscos de temperaturas.
- La resistencia a la acción de las escorias y del gas.
- La conductividad térmica es la propiedad de transmitir el calor entre las moléculas del mismo cuerpo.

**2.3.4** *Presentación del material refractario*

- Cemento refractario.
- Mortero refractario. Se utiliza como material de agarre, revestimiento de paredes.
- Ladrillo refractario.
- Arenas de moldeo

**2.3.5** *Aplicaciones.* En la fundición, el empleo de los materiales refractarios es extensísimo:

- Cucharas de fundir
- Cubilotes
- Hornos eléctricos de arco
- Hornos de reverbero
- Hornos de inducción
- Industria del cemento

## 2.4 Transferencia de calor

Es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La ciencia de la transferencia de calor no solo trata de explicar cómo puede ser transmitida la energía calorífica, sino también trata de predecir la rapidez a la que se realizara este intercambio bajo ciertas condiciones específicas. (HOLMAN, 1996)

Los modos de transferencia son diferentes procesos de calor, usualmente se agrupan en tres tipos según haya también o no transferencia de materia, esto puede ser por conducción, convección y radiación.

**2.4.1** *Transferencia de calor por conducción.* Es la transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos sin intercambio de materia, por qué el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura.

La transferencia de calor por conducción entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo es el intercambio de energía interna. (CONDUCCIÓN DE CALOR, 2014)

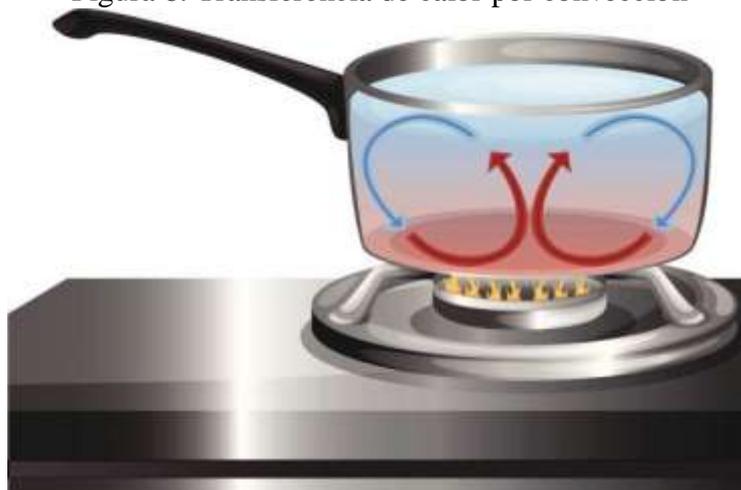
Figura 7. Transferencia de calor por conducción.



Fuente: <http://primaria5.blogspot.com/2014/02/transferencia-de-calor.html>

**2.4.2** *Transferencia de calor por convección.* Es el paso de calor de un lugar a otro a través de corrientes que circulan en los líquidos y gases. Es el proceso de transferencia de calor que interviene cuando entran en contacto un fluido y un sólido.

Figura 8. Transferencia de calor por convección



Fuente: <http://curiosidades.batanga.com/5074/que-es-la-conveccion>

**2.4.3** *Transferencia de calor por radiación.* El calor se transmite a través de ondas caloríficas invisibles que se propagan por el espacio en todas las direcciones a la velocidad de la luz de tal manera que al entrar en contacto con un cuerpo, éste las absorbe y las transmite.

Figura 9. Transferencia de calor por radiación.



Fuente: <http://nergiza.com/wp-content/uploads/radiacion-coche.jpg>

**2.5** **Materiales y equipos para la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.**

**2.5.1** *Aceros.* Es básicamente una aleación de hierro, carbono y otros elementos, el carbono es uno de sus principales elementos químicos, que influye considerablemente sobre sus propiedades y características (METALURGIA DE LA SOLDADURA).

Los principales elementos de aleación son: cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo.

Los productos ferrosos con más de 2.11% de carbono se denominan fundiciones de hierro.

**2.5.1.1 Clasificación** Los aceros se pueden clasificar de acuerdo a su utilización y su calidad.

***Utilización.***

- Aceros estructurales al carbono.
- Aceros estructurales de alta resistencia y aleación.
- Aceros al carbono para herramientas matrices.
- Aceros para trabajo en frío.
- Aceros resistentes al choque.
- Aceros para trabajo en caliente.
- Inoxidables
  - Resistentes a la oxidación a alta temperatura
  - Resistentes al desgaste.
  - Para resortes
  - Para usos eléctricos
  - Otros

***Calidad.*** Se clasifican según el proceso de producción estos pueden ser Bessemer, los Siemens Martin, los de hornos eléctricos, entre otros.

Los aceros según la calidad se dividen en tres grupos que son:

- Aceros para construcción de partes de maquinaria.
- Aceros para herramientas
  - Aceros para temple.
  - Aceros para impacto.
  - Aceros para trabajo en frío de temple al aire.

- Aceros para trabajo en frío(alto cromo, alto carbono)
- Aceros rápidos con base en molibdeno.
- Aceros de uso específico, de baja aleación.
- Aceros para usos específicos al carbono tungsteno.
- Aceros para moldes para plásticos.
- Aceros inoxidables.

**2.5.1.2 Propiedades de los aceros.** Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición química y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones. (ACERO, 2014)

Se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m<sup>3</sup>.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del elemento principal del acero (hierro) es de alrededor de 1510°C en estado puro.
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3000°C
- Límite superior de trabajo en caliente 1300°C.
- Es un material muy tenaz.
- Relativamente dúctil y maleable.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas.
- Se puede soldar con facilidad.
- Posee una alta conductividad eléctrica.
- Buena resistencia al desgaste.

### ***Acero A36***

El acero A36 es una aleación de acero al carbono su denominación fue establecida por la ASTM. (ACERO A36)

## *Usos y formas*

El acero A36 se utiliza para aplicaciones estructurales y se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen:

- Planchas
- Perfiles estructurales
- Tubos
- Barras
- Laminas
- Platinas, ángulos

**2.5.2 Chumaceras.** Se conoce como chumacera al dispositivo que permite el soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y fija. Pueden ser de plásticos, aluminio, acero, acero inoxidable y hierro fundido. Además suelen venir en un cuerpo o partidas.

La chumacera es una combinación de un rodamiento radial de bolas, sello y un alojamiento de hierro fundido de alto grado o de acero prensado, suministrado de varias formas. (CORPORATION, 2009)

Las chumaceras son puntos de apoyo de ejes y árboles para sostener su peso, guiarlos en su rotación y evitar deslizamientos. Las chumaceras van algunas veces colocadas directa en el bastidor de la pieza o máquina, pero con frecuencia van montados en soportes convenientemente dispuestos para facilitar su montaje.

De acuerdo al tipo de chumacera, se utilizan los siguientes métodos de instalación sobre el eje:

- Se fija el anillo interior al eje, en dos lugares, utilizando los tornillos de fijación.
- El anillo interior tiene el agujero cónico y se ajusta al eje por medio de un manguito.

- En el sistema de anillo excéntrico. El anillo interior se fija al eje a través de ranuras excéntricas provistas a los lados del anillo interior y también en el anillo excéntrico.

### 2.5.2.1 Tipos de chumaceras

- Tipo puente
- Tipo brida
- Unidad tensora
- Unidades tipo cartucho hanger units
- Serie de acero laminado
- Serie de acero inoxidable
- Serie de acero dúctil
- Rodamientos con triple sello
- Chumaceras de dados pivotados
- Chumaceras elíptica
- Stretcher Units
- Serie plástica (CHUMACERAS TIPOS)

Figura 10. Tipos de chumaceras



Fuente: Catálogo de chumaceras NTN, pág.1

Para la selección de una chumacera es necesario realizar el análisis de tres factores importantes:

- Dimensiones geométricas.
- Cargas en las chumaceras.
- Propiedades del lubricante.

**2.5.3** *Engranajes cónicos.* Los engranajes cónicos tienen forma de tronco de cono y permiten transmitir movimiento entre ejes que se cortan. Son utilizados para efectuar reducción de velocidad con ejes en  $90^\circ$ . (ENGRANAJE, 2014)

Figura 11. Engranaje cónico



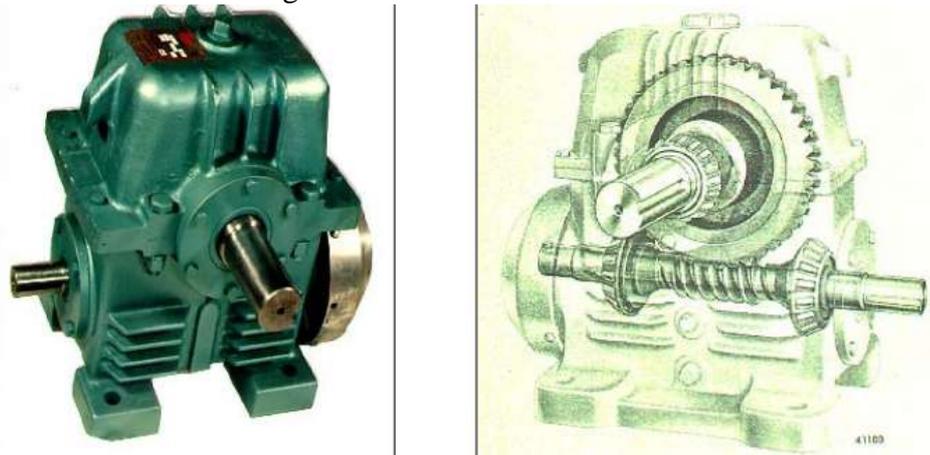
Fuente: Autores

**2.5.4** *Reductores de velocidades.* Los reductores o motor reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Las industrias requieren de este tipo de equipos para variar las revoluciones por minuto (r.p.m.), ya que en la mayoría de los procesos, las velocidades de los motores son muy altas. Con la implementación de los reductores de velocidad se obtiene un menor número de r.p.m. de salida, pero sin disminuir de manera significativa la potencia, aumentando el torque de forma segura y eficiente.

Por ello, los reductores de velocidad son la alternativa que brinda mayores beneficios para la industria en general. (DISEÑO REDUCTOR VELOCIDAD)

Figura 12. Reductor de velocidad



Fuente: RAISA catálogo de reductores de velocidad, pág.2

Al emplear reductores o motor reductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

### ***Guía para la elección del tamaño de un reductor o motor reductor***

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción se debe tener en cuenta las diferentes características para su correcto desempeño en el lugar de trabajo la siguiente información básica:

#### ***Características de operación***

- Potencia en HP tanto de entrada como de salida.
- Velocidad expresada en RPM de entrada como de salida.
- Torque o par máximo a la salida en kg-m.
- Relación de reducción.
- Par de cálculo
- Par resistente

### ***Características del trabajo a realizar***

- Tipo de máquina motriz motor eléctrico.
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.
- Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua.
- Duración de servicio horas/día.
- Arranques por hora, inversión de marcha.
- Determine apropiadamente la relación del reductor, con las velocidades de entrada y salida

### ***Condiciones del ambiente***

- Humedad
- Temperatura

### ***Ejecución del equipo***

- Ejes a 180°, ó, 90°.
- Eje de salida horizontal.
- Eje de salida vertical. (VILLARROEL, 2010)

## **2.6 Diseño conceptual del prototipo de la máquina centrifugadora vertical**

El diseño conceptual es la fase donde se establece claramente la necesidad que se está presentando, y se genera las diferentes alternativas de solución, a partir de la necesidad planteada, se dan las especificaciones requeridas y deseadas propuestas, en base a los requerimientos del usuario y con las recomendaciones del diseñador.

Se entiende por especificación requerida, aquella sin la cual el diseño solicitado pierde su objetivo. El diseño puede ser un nuevo invento que sorprenda al cliente, una respuesta directa a una necesidad de mercado conocida o un incremento en el desempeño competitivo de un producto (QUEZADA, y otros, 2013).

## 2.6.1 Descripción del procedimiento

### 2.6.1.1 Método de generación de ideas

**Creación de idea.** Cada producto nuevo es resultado de una idea y cuanto más numerosas sean las ideas generadas, más probabilidades habrán de seleccionar lo mejor. La creación de ideas enriquecerá nuestra inspiración con un punto de vista diferente.

Es importante adoptar sistemas para recolectar ideas del medio para la creación del diseño de la máquina, se realizará de la siguiente manera:

- Empezar una búsqueda activa en el medio para descubrir ideas útiles acerca del producto.
- Transmitir las ideas recolectadas a los asesores para informarles y recibir de ellos confirmación y más ideas.

**2.6.1.2 Procedimientos para crear el diseño.** La primera decisión que se debe tomar a la hora de diseñar el producto es el diseño del producto que se va a fabricar (MIRANDA, 2000).

Son las diferentes etapas que suceden desde el planteamiento del problema hasta la solución del mismo.

**Análisis morfológico.** Consiste en un análisis estructural del producto; se separan las dimensiones más importantes de un problema y después se estudian todas las relaciones existentes entre ellas considerando cómo se va a desenvolver el producto hasta su elaboración “especificación prescriptiva de procedimiento, de desempeño y funcionales”.

**Lluvia de ideas.** También denominada tormenta de ideas, es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado. (LLUVIA DE IDEAS, 2014)

**Selección de ideas.** Se deberá realizar la clasificación de las diversas propuestas por orden de categorías, eligiendo el conjunto más atractivo posible dentro de los recursos.

En este punto debe procurarse no caer en dos tipos de errores: omisión, es decir, desechar una idea que podría ser útil, y comisión, que es desarrollar y comercializar una idea que no vale la pena.

**Desarrollo del producto.** En esta cuarta etapa ya puede vislumbrarse la factibilidad de convertir el proyecto en un producto tangible, para tal efecto se desarrolla un prototipo o modelo que pueda elaborarse según las especificaciones establecidas.

**Prueba.** En esta etapa se ensaya por primera vez el producto en su desempeño, cuya información represente las reacciones del consumidor. Es necesario también realizar una investigación formal del producto, ya que es importante que antes de iniciar la prueba los responsables de ésta tomen en cuenta los siguientes puntos:

- ¿Qué escuelas se tomarán en cuenta?
- ¿Qué duración debe tener la prueba?
- ¿Qué tipo de información debe obtenerse?
- ¿Qué se hará con la información recopilada? (NUEVOS PRODUCTOS, 2014)

### **2.6.1.3 Descripción del procedimiento**

**Bosquejo a mano alzada.** También llamado esbozo o borrador, es un dibujo realizado de forma esquemática y sin preocuparse de los detalles o terminaciones para representar ideas, lugares y objetos. Puede ser un primer apunte del objeto ideado que aún no está totalmente definido. Se pueden utilizar tanto técnicas de perspectiva como vistas ortogonales. Es un dibujo rápido de lo que luego llegará a ser un dibujo definido.

**Tabla morfológica.** La matriz morfológica es una serie de cuadros en donde se comparan opciones de diseño para cada una de las diferentes partes del objeto diseñado.

En este cuadro se analizan las ventajas y desventajas de cada una de las opciones y se selecciona la mejor de acuerdo a los criterios analizados en la misma.

**Diseño Preliminar.** Es una etapa de análisis de las alternativas de diseño y definición basado en tres ejes principales, rendimiento coste y calidad es decir analiza un gran

número de factores tales como: componentes, tamaño y forma, tiempo, materiales a emplear, costo de producción.

Es en esta etapa donde una vez analizado todos los factores y las diferentes alternativas se procede a seleccionar la que más se ajusta a los requerimientos (QUEZADA, y otros, 2013)

### **Método de selección**

**Matriz de selección.** Se debe elaborar un matriz de evaluación en donde se encuentren todas las opciones, antes mencionadas de las matrices morfológicas, en esta matriz se comparan todas las opciones de diseño que se contemplaron, y de acuerdo a diversos criterios se les va asignando un valor a cada una de las opciones, dichos valores conceden un puntaje final a cada una de estas, y este puntaje final nos deja ver claramente que opción conviene más para el diseño.

Para esta matriz se toman en cuenta detalles de fabricación, seguridad, modificaciones, mantenimiento, cambio de partes, costos, vibraciones, ruidos, tamaño, peso, resistencia, durabilidad y la utilización de piezas estándar fáciles de encontrar en el mercado.

Dentro de la matriz, cada opción tendrá una variable y un valor determinado el cual se proporcionará según el grado de importancia del elemento.

**Prototipo.** Es aquel que una vez encontrado la alternativa más adecuada, es creado con la finalidad de realizar pruebas en situaciones reales o explorar su uso, creando así un proceso de diseño de iteración que genera calidad.

Los prototipos son útiles para comunicar, discutir y definir ideas entre los diseñadores y las partes responsables, lo habitual es que un prototipo se emplee a modo de prueba antes de proceder a realizarlos en serie.

**Ventajas y desventajas.** Una vez elaborado el prototipo, servirá para realizar las pruebas respectivas, esto nos ayudará a conocer las ventajas y desventajas que presenta a pesar de haber sido la mejor alternativa.

***Dimensionamiento y selección del material.*** Ya conocido los resultados de las diferentes pruebas y haber realizado las correcciones correspondientes es necesario realizar el dimensionamiento y la elección del material más adecuado de cada una de las partes, se lo deberá realizar teniendo en cuenta factores como: ergonomía, seguridad, costos, disponibilidad.

***Planos de Ingeniería.*** Son los que servirán como guía para la fabricación del prototipo seleccionado, en ellos se reflejarán dimensiones, tolerancias, detalles, etc., de cada una de las partes del prototipo, para de esta forma proporcionar toda la información requerida por el constructor.

***Manual de operación y mantenimiento.*** Culinado la construcción del prototipo y comprobado su funcionamiento es necesario elaborar un manual de operación y mantenimiento, el cual contendrá el procedimiento para la puesta en marcha y operación.

Además este manual debe contener las instrucciones para el mantenimiento del prototipo y de esta manera conservarlo y evitar su deterioro (QUEZADA, y otros, 2013).

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE LA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS.

#### 3.1 Diseño Conceptual

Se ha proyectado la construcción e implementación de una cuchara mecánica para el colado de fundición gris en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con la finalidad que las prácticas de los estudiantes se la realice en el menor tiempo posible, de manera segura en el transporte y vertido del material fundido, máquina que debe tener las siguientes características:

- El cuerpo de la cuchara debe ser segura y adecuada por lo que se construirá con una plancha de acero estructural A-36 con un espesor de 5mm, el cual se encuentra con facilidad en el mercado.
- La estructura debe estar diseñada para soportar la colada de hierro gris y los accesorios de la cuchara mecánica.
- La velocidad de vertido debe ser rápido y sin mucho esfuerzo para el operario.
- El material refractario utilizado debe ser el adecuado para conservar la vida útil de la cuchara mecánica.
- El diseño de la cuchara mecánica debe ser ergonómico y segura ya que va ser manipulada por los estudiantes.
- La cuchara debe tener un grado de conicidad para que el vertido sea eficaz.
- La suelda a utilizar debe ser la adecuada para soportar las fuerzas internas y la presión del material fundido.
- La cuchara debe tener la capacidad de contener el material fundido proveniente del alto horno.
- El mantenimiento de la cuchara debe ser sencillo y fácil de realizarlo.
- El peso total de la cuchara incluido el material fundido no debe exceder a la carga que soporta el puente grúa.

**3.1.1** *Método de generación de ideas.* Para generación de las ideas se tomarán en cuenta los siguientes parámetros que ayudarán a resolver el problema:

- Investigar sobre el tema en revistas libros y sitios webs toda la información que se pueda conseguir.
- Observar el tipo de necesidad que se tiene para proceder a bosquejar el modelo.
- Se procede a diseñar, dimensionar y seleccionar las partes que componen todo el sistema de la cuchara mecánica el mismo se puede modelar y analizar en cualquier software.
- Entonces se realiza la construcción y montaje de todo el modelo antes plasmado.

**3.1.2** *Lluvia de ideas.* Parte importante para realizar el diseño óptimo de la cuchara mecánica, porque es donde se verificara su factibilidad del diseño, tomando como detalles los parámetros de construcción, así tenemos como alternativas los siguientes tipos de cucharas utilizadas en la industria metalúrgica:

- Cuchara tipo tambor
- Cuchara de pico
- Cuchara tipo tetera
- Cuchara de colada con descarga por el fondo.
- Cuchara de colada para dos personas

**3.1.3** *Bosquejo de alternativas.* Ayudan a determinar todos los componentes para cada una de las alternativas anteriormente mencionadas, lo que permite una vista general de toda la estructura de la cuchara mecánica a ser construida.

Con las alternativas de diseño, es necesario realizar un bosquejo que permita mostrar una idea clara de los diferentes elementos que posiblemente formen el diseño final.

***Cuchara tipo tambor.*** Son utilizadas cuando se desea mantener el calor del material fundido y para la producción de moldes pequeños, medianos de paredes delgadas, además sirven para repartir la colada a cucharas pequeñas para luego ser llenado los moldes.

Figura 13. Cuchara tipo tambor



Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/textooficialfun>

**Cuchara de pico.** Se utilizan para el llenado de los moldes, dispuestos en puentes grúas, son llenadas del metal fundido del mismo horno o mediante cucharas grandes.

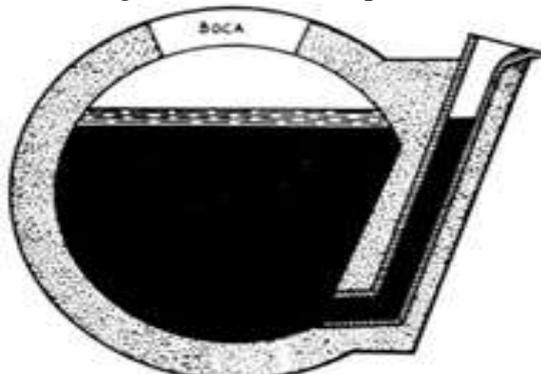
Figura 14. Cuchara de pico



Fuente: GROOVER Mikell. Fundamentos de Manufactura Moderna. Pág. 284

**Cuchara tipo tetera.** Es una excelente cuchara porque posee la ventaja de atrapar mejor la escoria durante el vertido del material fundido.

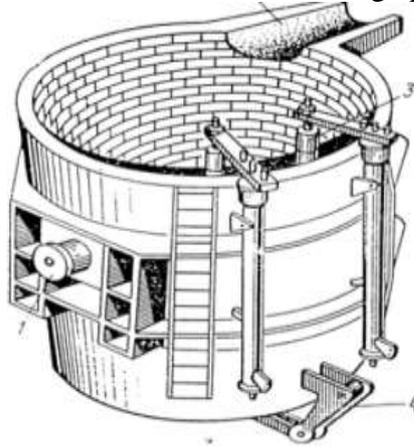
Figura 15. Cuchara tipo tetera



Fuente: [http://oa.upm.es/1669/1/MONO\\_TREMPS\\_2009\\_01.pdf](http://oa.upm.es/1669/1/MONO_TREMPS_2009_01.pdf)

**Cuchara de colada con descarga por el fondo.** Son utilizadas en empresas donde su volumen de producción del metal fundido es bien alta, estas cucharas son especialmente adecuadas en el método de colada continua.

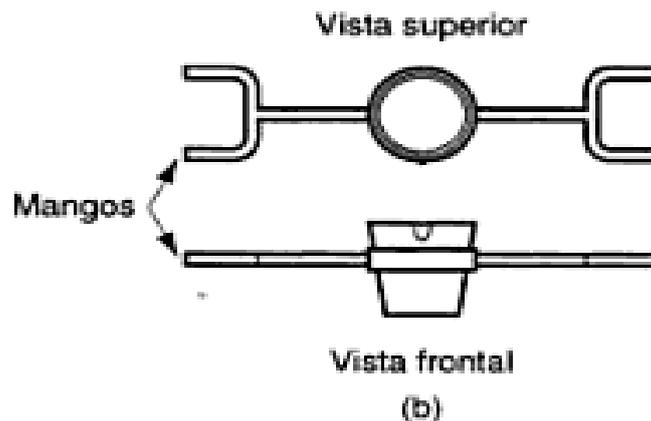
Figura 16. Cuchara de colada con descarga por el fondo



Fuente: [http://oa.upm.es/1669/1/MONO\\_TREMPS\\_2009\\_01.pdf](http://oa.upm.es/1669/1/MONO_TREMPS_2009_01.pdf)

**Cuchara de colada para dos personas.** Son utilizadas para pequeños volúmenes de producción de metal fundido, no son suficientemente seguras en el transporte del material fundido además q se requiere un gran esfuerzo por parte del operario para su transporte lo q no permite un buen desarrollo en las practicas.

Figura 17. Cuchara para dos personas



Fuente: GROOVER Mikell. Fundamentos de Manufactura Moderna. Pág. 284

**3.1.4 Tabla morfológica.** Antes de realizar la matriz morfológica tomaremos encuentra algunos de los parámetros que nos ayudaran al diseño y selección de la cuchara y son los siguientes.

**Capacidad.** Es uno de los parámetros más importantes que se debe tomar para el diseño, dimensionamiento que es la cantidad de hierro fundido gris, es material que contendrá en su interior la cuchara para luego trasladar y proceder a poner el material en los moldes.

**Flexibilidad.** Es un aspecto que se debe tomar en cuenta ya que se refiere a la posibilidad de poner en diferentes posiciones la cuchara y la facilidad de trabajo que brinda.

**Tamaño y peso.** Se refiere básicamente a las dimensiones y forma de la estructura de la cuchara mecánica ya que de ello va a depender la facilidad para poder transportarlo en caso de que sea necesario.

**Mantenimiento.** Es necesario realizar una limpieza de la cuchara mecánica y de cada uno de los elementos utilizados después de las prácticas realizadas que no es muy complicado de hacerlo por las personas encargadas.

Además el equipo deberá tener fácil acceso a las partes que requieran mantenimiento y no tener costos elevados para realizarlo.

**Manejo.** Debe ser fácil de operarlo con la finalidad de que exista una capacitación mínima al estudiante y desarrollar su actividad en forma segura.

**Seguridad.** En el manejo del equipo no debe existir ningún tipo de peligro para el estudiante ni para las personas que se encuentren alrededor de manera que no exista posibilidad de producir un accidente esto se evitara poniendo una señal ética adecuada.

**Costo de construcción.** Considerando la necesidad y el funcionamiento que presta la cuchara mecánica, se lo construirá con materiales de fácil adquisición en el mercado nacional, la inversión no será elevada y esta permitirá construirla sin ningún problema.

Se incluye en la siguiente tabla los principales componentes de la cuchara mecánica para determinar el diseño más adecuado del cual se realizará el análisis correspondiente, donde

( X ) =Menor porcentaje de satisfacción.

( ✓ ) =Mayor porcentaje de satisfacción.

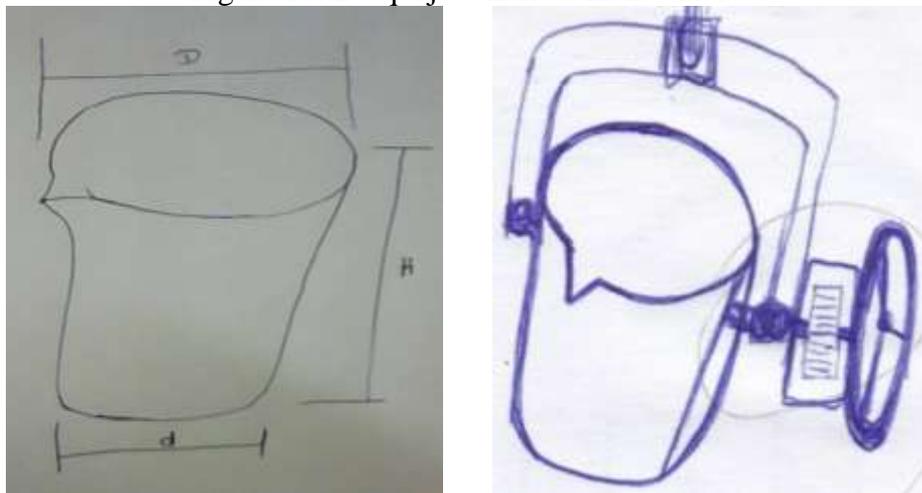
Tabla 3. Tabla morfológica para el diseño de la cuchara mecánica.

Medios Características y funciones	Cuchara tipo tambor	Cuchara tipo tetera	Cuchara de pico
Humanos	x	x	√
Reductor de velocidad	√	√	√
Tornillo sin fin y rueda helicoidal	√	x	√
Engranajes	√	x	x
trinquete	x	√	x
Vertido	x	√	√
Refractario	x	x	√

Fuente: Autores

**3.1.5 Bosquejo a mano alzada.** Se aclara el objetivo del funcionamiento y los requerimientos para la construcción de la cuchara para ello se desarrolla el siguiente bosquejo:

Figura 18. Bosquejo a mano a mano alzada



Fuente: Autores

### 3.2 Diseño preliminar.

Para el diseño de la cuchara mecánica se ha tomado en cuenta la alternativa de construcción de la cuchara de pico de labio por el simple hecho que es sencilla, fácil de construir y se puede dimensionar para la cantidad requerida por el usuario

Figura 19. Cuchara pico de labio



Fuente: BIEDERMAN A, Tratado moderno de fundición del hierro y el acero, Pág. 183

Además esta tiene la facilidad de acoplamiento de los diferentes elementos que se requiere para solucionar el problema del tema planteado, lo más importante es que los materiales se los pueden adquirir en el mercado nacional.

### 3.2.1 Método de selección.

3.2.1.1 *Matriz de selección.* En base a las diferentes características de los tipos de cucharas mecánicas a utilizar se procederá a realizar una ponderación, cuyo valor será de un rango de 1 a 10

Tabla 4. Matriz de selección en relación a los objetivos

<b>Objetivos</b> \ <b>Alternativas</b>	<b>Cuchara tipo tambor</b>	<b>Cuchara tipo tetera</b>	<b>Cuchara de pico</b>
Costos	6	7	10
Disponibilidad de material	10	10	10
Estructura segura	10	10	10
Peso	7	8	9
Tamaño adecuado	8	9	10
Ergonomía del usuario	10	10	10
Velocidad de vertido	8	10	9
Menor tiempo de practica	9	10	10

Fuente: Autores

Tabla 4. (Continuación)

Seguridad	10	10	10
Mantenimiento	7	8	9
Fácil utilización	10	10	10
<b>TOTAL</b>	<b>92</b>	<b>102</b>	<b>107</b>

Fuente: Autores

Se determina que el mayor porcentaje de conformidades se encuentra en la cuchara de pico, por lo que se procede al planteamiento de su diseño.

### *Selección del sistema de transmisión*

Tabla 5. Matriz de selección

	Costo	Mantenimiento	Velocidad de vertido	Seguridad	Transmisión de movimiento requerido	Total
Tren de engranajes	7	8	9	7	9	<b>40</b>
Tornillo sin fin rueda helicoidal	6	9	9	10	10	<b>44</b>
Reductor de velocidades	9	10	10	10	10	<b>49</b>
Trinquete	10	10	8	7	8	<b>43</b>

Fuente: Autores

De los resultados de la tabla anterior, el sistema de transmisión a utilizar en la cuchara mecánica es el reductor de velocidades.

**3.2.1.2 Prototipo.** Aquí se pretende reflejar las características más importantes que la máquina debe presentar en su estado final, se ha determinado en base a la matriz de selección que la cuchara mecánica sería la cuchara de pico con un sistema de transmisión de reductor de velocidades.

Figura 20. Prototipo de cuchara



Fuente: CAPELLO Edoardo, Tecnología de la Fundición, Pág. 417

Como se puede observar en la figura el prototipo de la cuchara mecánica consta de las siguientes partes:

- Recipiente en forma de tronco de cono
- Ejes y rodamientos
- Volante
- Estructura soporte del recipiente
- Un tornillo sin fin
- Rueda helicoidal

En conjunto todas las partes brindan la facilidad de transportar el material en estado líquido que permiten realizar la fundición de diferentes tipos de piezas o partes de hierro gris.

***Para qué sirve la cuchara mecánica*** Es la que permite transportar el material fundido desde el alto horno hacia los moldes facilitando el transporte y vaciado del mismo con ello se busca disminuir el tiempo de trabajo.

**3.2.1.3 Ventajas y desventajas.** Las ventajas de la cuchara mecánica son las siguientes:

- Brinda mayor facilidad de transporte de la fundición gris.
- Disminuye el número de operarios.
- Es más seguro el momento que realiza el trabajo el operario.

- El operario no realiza mucho esfuerzo físico para realizar el trabajo.
- Mayor facilidad al momento de verter el material.
- El vaciado de la colada es constante y rápido.

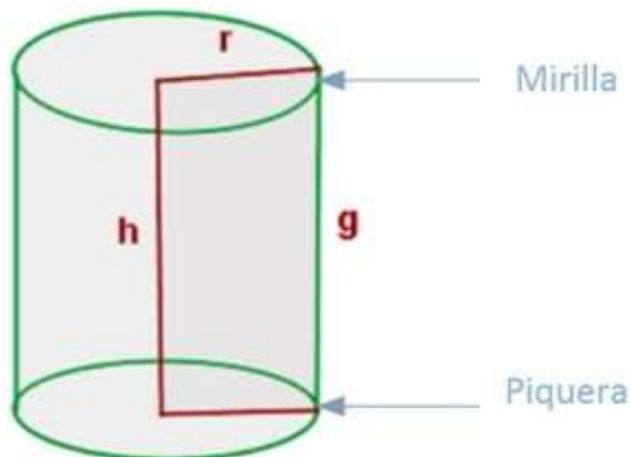
Las desventajas de la cuchara mecánica son las siguientes:

- Ocupa más espacio debido a las dimensiones que posee.
- Mayor tiempo al realizar el mantenimiento de los elementos de la cuchara.
- Es necesario utilizar un tecla para la transportación de la cuchara.
- La estructura de la cuchara es soldada y no tiene partes móviles o empernadas.

### 3.3 Dimensionamiento y selección del material

Para el dimensionamiento de la cuchara se toma en cuenta el volumen que saldrá del crisol que tiene por dimensiones de diámetro 20cm y de altura 45 cm y se procede a calcular el volumen.

Figura 21. Volumen del crisol



Fuente: Autores

Para el cálculo del volumen del material fundido que sale del crisol se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h \quad (1)$$

Dónde:

$V$  = Volumen de la colada a salir [ $m^3$ ]

$r$  = radio del crisol [ $m$ ]

$h$  = altura del crisol desde la mirilla a la piquera [ $m$ ]

$$V_{Rcol} = \pi(0,2^2) m^2(0,5) m$$

$$V_{Rcol} = 0,063 m^3$$

En el crisol se estima que el metal líquido ocupa entre el 50% y el 65% del volumen real, por consiguiente el volumen que se tendría disponible en la cuchara mecánica será: (PASTOR, 2000)

$$V_{col} = V_{Rcol} * 0,65$$

Dónde:

$V_{Rcol}$  = Volumen real de la colada

$V_{col}$  = Volumen de trabajo

$$V_{col} = 0,063m^3 * 0,65$$

$$V_{col} = 0,041 m^3$$

Con este volumen ahora encontramos el peso del metal líquido con la siguiente relación:

$$V_{col} = \frac{P}{\delta} \tag{2}$$

Despejamos P y tenemos la siguiente ecuación:

$$P_F = V_{col} * \rho \tag{3}$$

Dónde:

$V_{col}$ : Volumen de trabajo [ $m^3$ ]

$P_F$ : Peso de la fundición gris [kg]

$\rho$ : Densidad de la fundición gris es de 7250 [ $kg/m^3$ ]

$$P_F = V_{col} * \rho$$

$$P_F = (0,041 m^3)(7250 kg/m^3)$$

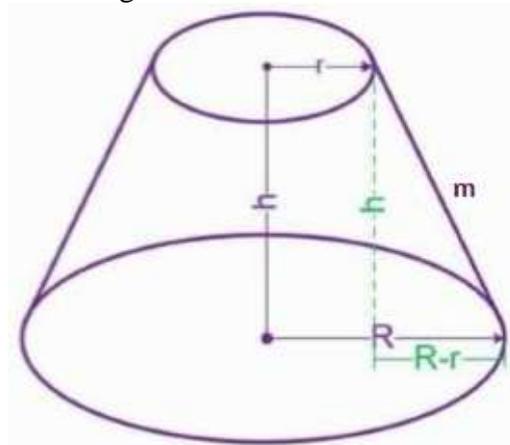
$$P_F = 297.25 kg \approx 300 kg$$

El peso aproximado del material líquido será:

$$P_F = 300 kg$$

Con la determinación del peso del material líquido a contener en el envase tronco cónico se procede a determinar su respectiva altura como se muestra en la siguiente figura.

Figura 22. Tronco de cono



Fuente: Autores

Para el cálculo de la altura del envase cónico se empleará la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + r^2 + Rr) \quad (4)$$

Dónde:

V = Volumen del tronco cónico [m<sup>3</sup>]

h = Altura del tronco cónico [m]

R = Radio mayor del tronco cónico [m]

r = Radio menor del tronco cónico [m]

Para el volumen requerido de material líquido que es igual a 0,041m<sup>3</sup> , mediante el método de iteraciones se ha llegado a determinar un radio menor de 40 cm y radio mayor 60 cm, a continuación se procede a hallar la altura de la cuchara y comparar con la altura hallada producto de las iteraciones que es de h = 0.43678 m.

Tabla 6. Determinación de altura y radios en función del volumen

V	R	r	h
0.0031416	0.1	0	3.91520244
0.00431761	0.11	0.01	2.94376124
0.00576379	0.12	0.02	2.27628049
0.00704451	0.13	0.03	1.80424076
0.00898079	0.14	0.04	1.46089643
0.01123122	0.15	0.05	1.20467768
0.01381466	0.16	0.06	1.0090728
0.01674996	0.17	0.07	0.85671826
0.02005597	0.18	0.08	0.73594031
0.02375154	0.19	0.09	0.63869534
0.02785552	0.2	0.1	0.55931463
0.03238675	0.21	0.11	0.49372036
0.04110051	0.22	0.12	0.43892404
0.04698263	0.23	0.13	0.39269834
0.0487325	0.24	0.14	0.35335762
0.05516126	0.25	0.15	0.31960836
0.06211153	0.26	0.16	0.29044529

Fuente: Autor

Tomando en consideración que en las paredes de la cuchara se ubicara el cemento refractario marca Concrax 1500, que tendrá un espesor de 8 cm entonces los radios respectivos serán:

$$R = 0.22 \text{ [m]}$$

$$r = 0.12 \text{ [m]}$$

$$h = \frac{3V}{\pi(R^2+r^2+Rr)} \quad (5)$$

$$h = \frac{3(0,041)}{\pi(0,22^2 + 0,12^2 + (0,22)(0,12))}$$

$$h = 0,439 \text{ m}$$

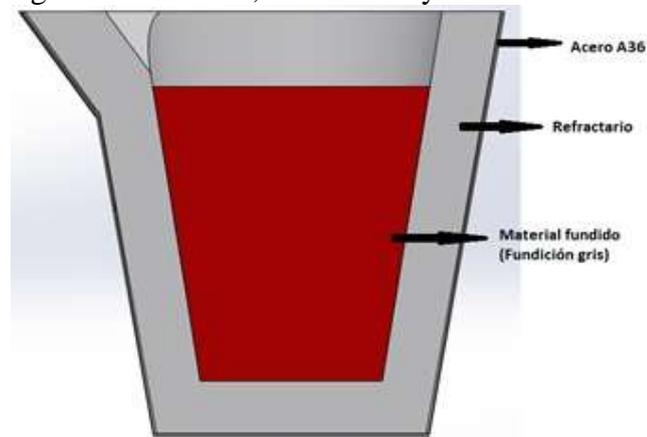
Aproximando y redondeando la altura seria:

$$h = 0.45 \text{ m}$$

A esta altura se le adiciona 10cm que es el espesor del refractario en la parte inferior de la cuchara y 10 cm que es de la colada al filo de la cuchara para evitar salpicaduras chispeos o se derrame de la misma.

Obteniendo una altura total de 65cm aproximadamente.

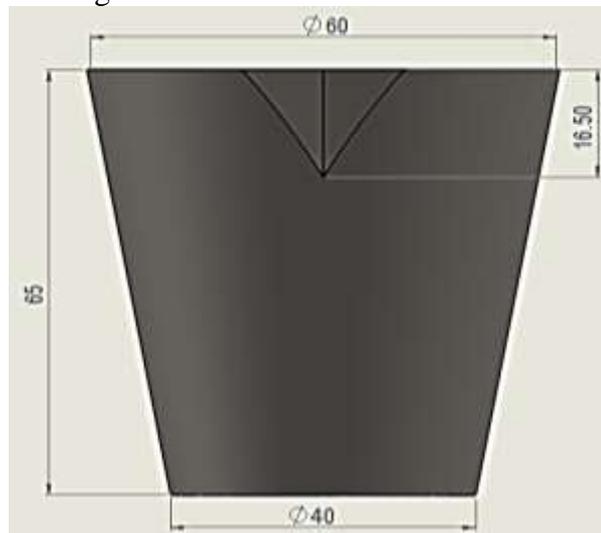
Figura 23. Cuchara, Refractario y material fundido



Fuente: Autores

Entonces la cuchara tendrá las siguientes dimensiones como se muestra a continuación.

Figura 24. Dimensiones de la cuchara



Fuente: Autores

**3.3.1 Cálculo de centro de gravedad.** Para ensamblar los ejes de transmisión y los refuerzos tanto rectangulares como cuadrados se debe calcular el centro de gravedad del conjunto de la cuchara para esto debemos conocer el peso de cada elemento, los cuales son el material refractario, el material fundido y el peso del envase.

**3.3.1.1 Peso refractario.** El material refractario que se utilizará, se trata de un concreto refractario silico aluminoso, cuyas características son:

65% de silicio y 35% de alúmina

Densidad volumétrica a 110 °C: 2200 kg / cm<sup>3</sup>

El volumen a ocupar el refractario viene dado por:

$$V_{Ref} = V_{Vext} - V_{Vint} + V_{Tinf} \quad (6)$$

Dónde:

$V_{ref}$  = Volumen refractario [m<sup>3</sup>]

$V_{Vext}$  = Volumen refractario exterior [m<sup>3</sup>]

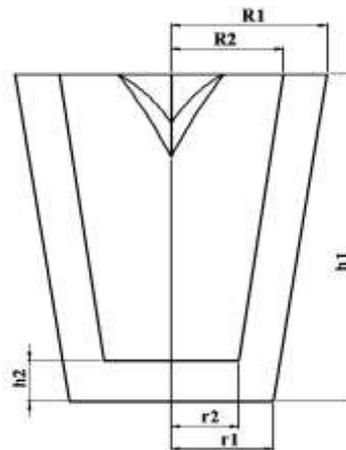
$V_{\text{vint}} = \text{Volumen refractario interior [m}^3\text{]}$

$V_{\text{Tinf}} = \text{Volumen tapa inferior [m}^3\text{]}$

Desarrollando la fórmula tenemos:

$$V_{ref} = \frac{1}{3}\pi h_1(R_1^2 + r_1^2 + R_1 * r_1) - \frac{1}{3}\pi h_1(R_2^2 + r_2^2 + R_2 * r_2) + \frac{1}{3}\pi h_2(r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2)$$

Figura 25. Dimensiones del material refractario



Fuente: Autores

$$V_{ref} = \frac{1}{3}\pi(0,65)(0,3^2 + 0,2^2 + 0,3 * 0,2) - \frac{1}{3}\pi(0,65)(0,22^2 + 0,12^2 + 0,22 * 0,12) + \frac{1}{3}\pi(0,1)(0,2^2 + 0,12^2 + 0,2 * 0,12)$$

$$V_{ref} = 0,1702 \text{ m}^3$$

$$V_{ref} = 170.2 \text{ cm}^3$$

Con este volumen ahora encontramos el peso del refractario con la siguiente relación:

$$V = \frac{P}{\rho}$$

$$P_{ref} = V * \rho$$

Dónde:

V: Volumen total del refractario [m<sup>3</sup>]

$P_{ref}$ : Peso total del refractario [kg]

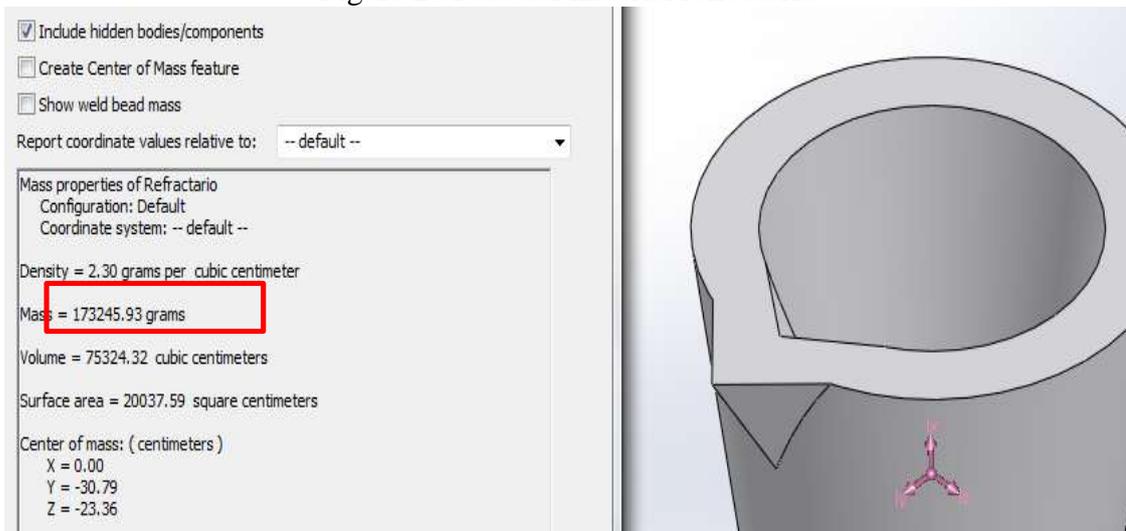
$\rho$ : Peso específico del refractario es de 2200 [kg/m<sup>3</sup>]

$$P = V * \rho$$

$$P = (0,1702 \text{ m}^3)(2200 \text{ kg/m}^3)$$

$$P = 168,84 \text{ kg}$$

Figura 26 Peso del material refractario



Fuente: Autores

**3.3.1.2** *Peso de la cuchara.* El material del que se elaborara la cuchara se trata de una plancha de acero A36 de 5mm de espesor, el peso del mismo viene dado en el catálogo de DIPAC.

Determinando el área del cono truncado que es la forma de la cuchara se tiene:

$$A = A_{cono} + A_{tapa} \quad (7)$$

$$A = \pi[m(R + r) + R^2 + r^2] + \pi r^2$$

Dónde:

A= Área de la cuchara [ $m^2$ ]

m= Hipotenusa de la cuchara [m]

R= Radio mayor de la cuchara [m]

r= Radio menor de la cuchara [m]

$$A = \pi[0,65(0,3 + 0,2) + 0,3^2 + 0,2^2] + \pi * 0,2^2$$

$$A = 1,429 + 0,13 [m^2]$$

$$A = 1,56 [m^2]$$

Datos técnicos de la plancha de acero A36. **ANEXO A**

Peso total; 172,39 kg

Área total: 4,392m<sup>2</sup>

Para calcular el peso de la cuchara realizamos una regla de tres simple así tenemos:



$$x = \frac{172,39kg * 1,56m^2}{4,392m^2}$$

El peso de la cuchara es:

$$Pch = 61.19 kg$$

**3.3.1.3 Centro de gravedad.** Para el cálculo del centro de gravedad de la cuchara mecánica se suma todos los pesos aplicados a ella entonces tenemos que:

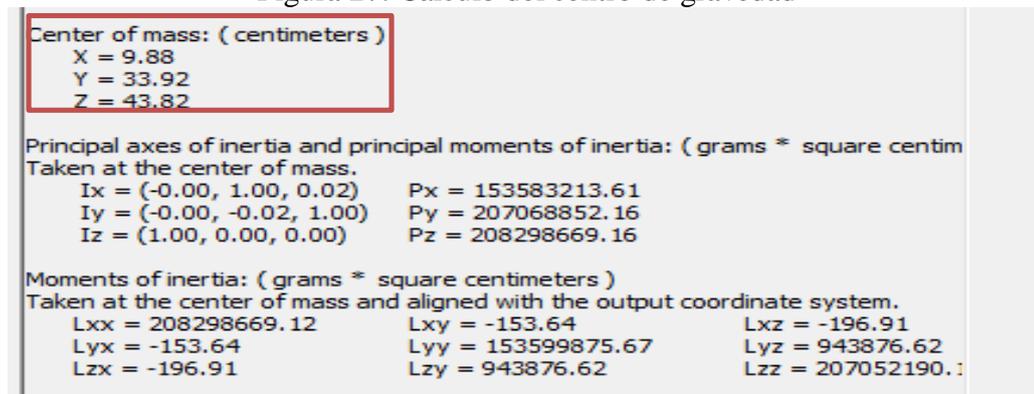
$$P_T = P_{ch} + P_{ref} + P_F \quad (8)$$

$$P_T = (61,19 + 168,64 + 300)kg$$

$$P_T = 529,83 \text{ kg}$$

Entonces el peso total es de 530 kg

Figura 27. Cálculo del centro de gravedad



Fuente: Autores

### 3.4 Diseño detallado

En el diseño detallado aquí se diseñarán y seleccionarán las partes que se acoplan a la cuchara.

Primero se diseñarán los ejes que están acoplados a la cuchara, éstos permitirán que la cuchara gire en cualquiera de los dos sentidos y hasta los trescientos sesenta grados en caso de ser necesarios.

Primero de diseñarán los ejes de la cuchara los cuales son los que permiten el movimiento de la cuchara, el peso que soportaran es de 530 kg o 5217.72 N.

#### 3.4.1 Dimensionamiento y selección del material

**Ejes de transmisión.** Es necesario determinar los diámetros y el coeficiente de seguridad del eje, esto permitirá garantizar que el diseño del mismo es el óptimo, para que esto se

cumpla el coeficiente de seguridad deberá estar por arriba de  $n > 1.8$  este valor se toma de la página 279 de Shigley

Para el cálculo del eje se necesita saber los pesos que actúan sobre el eje:

Peso total que actuara sobre cada eje será de 530 kg, como este peso actúa sobre los dos ejes se tiene:

$$P_{AE} = \frac{P_{total}}{2} = [kgf] \quad (9)$$

Dónde:

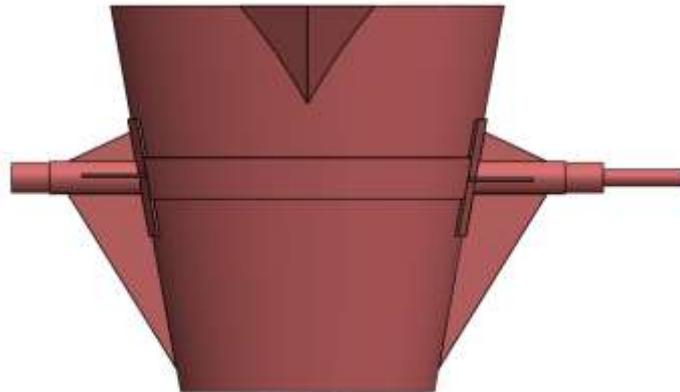
PAE = Peso aplicado al eje [kgf]

PCL = Peso real total [kgf]

$$P_{CL} = \frac{530}{2} = 265 [kgf]$$

A continuación se presenta el diseño y como están acoplados los dos ejes.

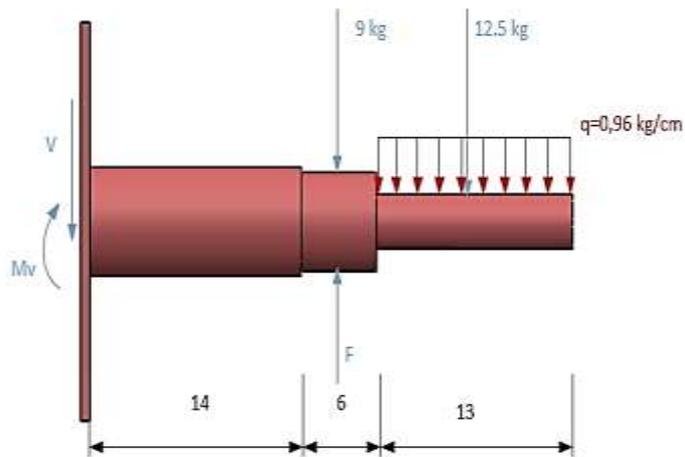
Figura 28. Envase tronco cónico, refuerzos y ejes



Fuente: Autores

**3.4.1.1** *Diseño del eje derecho.* Para este cálculo se ha tomado en cuenta el peso de la fundición gris más el peso del material de la cuchara y además las cargas que actuaran en los ejes para lo cual se describe en la siguiente figura.

Figura 29. Fuerzas aplicadas al eje



Fuente: Autores

La reacción V es igual al peso de la colada más el peso del material de la cuchara y se tiene que es igual a.

$$V = (P_{cl} + P_{ch} + P_{rf})/2 \quad (10)$$

Dónde:

V= Fuerza cortante [kgf]

P<sub>cl</sub>= Peso de la colada [kgf]

P<sub>ch</sub> = Peso de la cuchara [kgf]

P<sub>rf</sub>= Peso del refractario [kgf]

$$V = \frac{(300 + 61.19 + 168,84) [kg]}{2} = 265 [kg]$$

Realizamos la sumatoria de momentos en V para encontrar el M<sub>v</sub> y F.

M<sub>v</sub> = Momento flector en V

F= La fuerza que es ejercida hacia arriba

$$\sum Fy = 0 \quad (11)$$

$$F - 265 - 9 - 12,5 = 0$$

$$F = 286,5 \text{ kg}$$

$$\sum Mv = 0 \tag{12}$$

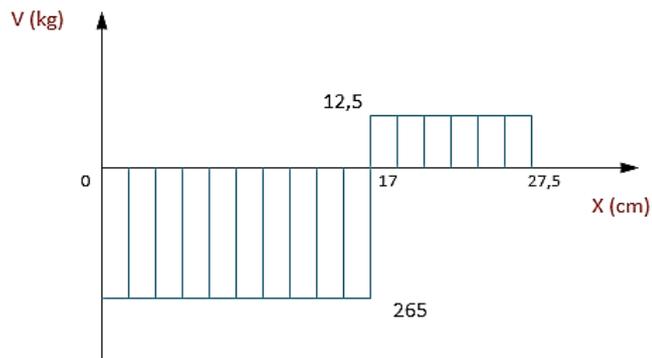
$$Mv = 286,5(17) - 9(17) - 12,5(17,5)$$

$$Mv = 4481,75 \text{ kg.cm}$$

En función de los cálculos los diagramas de esfuerzo cortante y diagrama de momento flector son los siguientes.

***Diagrama de esfuerzo cortante***

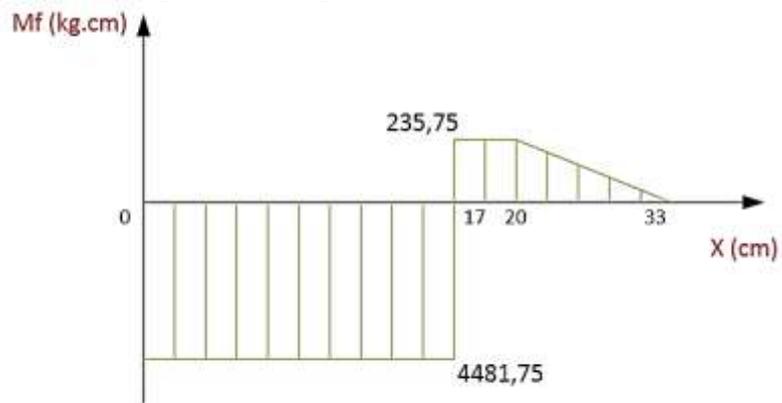
Figura 30. Diagrama de esfuerzo cortante



Fuente: Autores

***Diagrama de momento flector***

Figura 31. Diagrama de momento flector

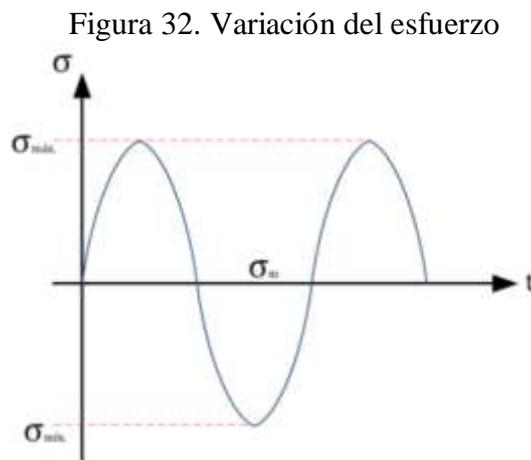


Fuente: Autores

El momento flector máximo se tiene que es 4481,75 kg.cm

$$M_{fmax} = 4481,75 \text{ kg.cm}$$

Con el momento flector máximo se procede a calcular los esfuerzos. Durante el trabajo de la cuchara el eje estará sometido a flexión alternadamente, por lo que se producen esfuerzos flexionantes, los cuales se estarán invirtiendo continuamente, como muestra la siguiente figura:



Fuente: Autores

### *Esfuerzo fluctuante*

$$\sigma_f = \frac{M.C}{I} \quad (13)$$

Dónde:

$\sigma_f$  = Esfuerzo de flexión [Kg/cm<sup>2</sup>]

M= Momento flector máximo [Kg/cm]

I/C= Módulo de la sección [m<sup>3</sup>]

Para el cálculo del módulo de inercia de la sección transversal se utilizara la ecuación:

$$I = \frac{\pi}{64} D^4 \quad (14)$$

Dónde:

I= Momento de inercia de la sección transversal [m<sup>4</sup>]

D= Diámetro del eje [m]

$$\sigma_f = \frac{M \cdot C}{\frac{\pi}{64} D^4}$$

$$\sigma_f = \frac{4481,75 \text{ kg} \cdot \text{cm} \left(\frac{D}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} D^4}$$

$$\sigma_f = \frac{45650,73 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{D^3}$$

En este el único esfuerzo aplicado al eje es de flexión alternada, por lo que:

$$\sigma_{eq_a} = \sqrt{(\sigma_{f_a})^2} \quad (15)$$

$$\sigma_{eq_a} = \sigma_f$$

### ***Calculo del límite de fatiga***

Se determina la resistencia a la fatiga, utilizando para ello la ecuación de Marín:

$$S_e = K \cdot S_e' \quad (16)$$

Dónde:

K= ka.kb.kc.kd.ke.kg

Se: Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico [kg/cm<sup>2</sup>]

K: Coeficiente de Marín.

Se': Límite de resistencia a la fatiga de la muestra [kg/cm<sup>2</sup>]

$$Se' = 0,5 Sut \quad \text{Por estar sometido a flexión}$$

Dónde:

$Sut$ : Resistencia última a la tensión. Calculado según Shigley. (Ver **ANEXO B**)

$$Sut = 55 \text{ [kpsi]}$$

$$Se' = 0,5 (55) \text{ [kpsi]}$$

El límite de resistencia a la fatiga será entonces:

$$Se' = 27,5 \text{ Kpsi} = 189 \text{ MPa}$$

### **Factores de mayoración de esfuerzos**

#### ***ka, Factor de superficie.***

Se determina con la siguiente expresión:

$$ka = a Sut^b \tag{17}$$

Donde  $a$  y  $b$  son factores adimensionales que se los determina de la Tabla 7, según sea el acabado superficial final que posee el material entonces:

Tabla 7. Constantes del factor de superficie.

Surface Finish	Factor $a$		Exponent $b$
	$S_{ut}$ kpsi	$S_{ut}$ MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hotrolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Fuente: SHIGLEY, Joseph 2006. Mechanical Engineering Desing, Pág. 337.

Entonces:

$$ka = 14,4 (55^{-0,718})$$

$$ka = 0,81$$

***kb, Factor de forma y tamaño.***

Puesto que no se conoce el diámetro del eje no es posible determinar este factor por fórmula por lo que se asume un factor de 1.

Entonces:

$$kb = 1$$

***kc, Factor de confiabilidad.***

Se tiene según la Tabla 8, para una confiabilidad de un 99%, lo que corresponde a:

Tabla 8. Factor de confiabilidad

Reliability, %	Transformation Variate $z_0$	Reliability Factor $k_0$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: SHIGLEY, Joseph 2006. Mechanical Engineering Desing, Pág. 337.

$$kc = 0,814 \quad \text{Confiabilidad del 99\%}$$

***kd, Factor de temperatura.***

Para temperaturas menores de 450 °C, según la Tabla 9, corresponde a un valor de:

Tabla 9. Factor de temperatura

Temperatura	$C_{\text{Temperatura}}$
$T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$	1.0
$450 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 550 \text{ }^\circ\text{C}$	$1 - 0.0058 (T - 450 \text{ }^\circ\text{C})$

Fuente: ÁLVAREZ, C. 2011. Diseño de máquinas, pág. 99.

$$k_d = 1$$

**$k_e$ , Factor de concentración de esfuerzos.**

$$k_e = \frac{1}{k_f}$$

$$k_f = q(kt - 1) + 1$$

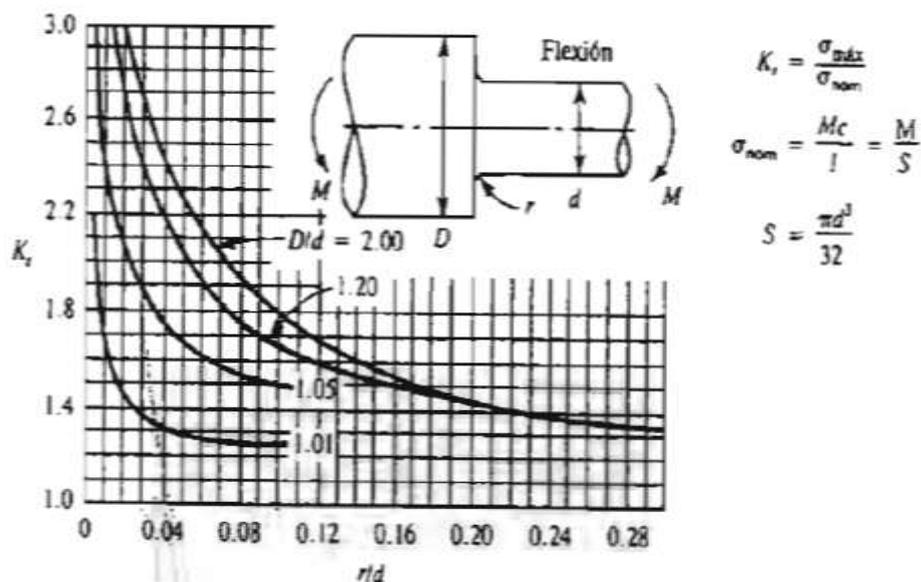
Dónde:

$k_f$ : Coeficiente de mayoración de esfuerzos.

$q$ : Coeficiente por cambio de sección. (Ver figura 33)

$k_t$ : Factor por configuración geométrica del elemento.

Figura 33. Factores de concentración de esfuerzos



Fuente: SHIGLEY, Joseph 2006. Mechanical Engineering Desing, Pág. 349.

$$ke = \frac{1}{q(kt - 1) + 1}$$

$$ke = \frac{1}{1(1,9 - 1) + 1}$$

$$ke = 0,53$$

$$kg = 1$$

$$Se = (0,81)(1)(0,84)(1)(0,53)(1)(27,5)kpsi$$

$$Se = 9,92 kpsi$$

$$Se = 697,64 \frac{kg}{cm}$$

Aplicando Goodman

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\frac{45650,73 \text{ kg.cm}}{D^3}}{697,64 \frac{kg}{cm}} = \frac{1}{n}$$

Para este caso se asume un n=2

$$\frac{\frac{45650,73 \text{ kg.cm}}{D^3}}{697,64 \frac{kg}{cm}} = \frac{1}{n}$$

$$D = 5,077 \text{ cm}$$

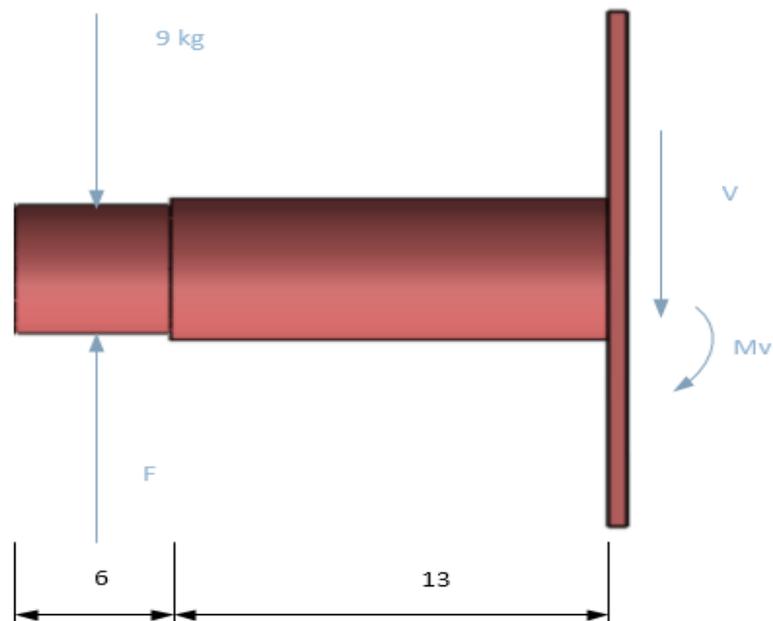
$$D = 1,99 \text{ plg}$$

Por lo que se toma

$$D = 2 \text{ plg}$$

**3.4.1.2 Diseño del eje del lado izquierdo.** Para el cálculo también se ha tomado en cuenta el peso de la fundición gris más el peso del material de la cuchara y además las cargas que actuarán en los ejes para lo cual se describe en la siguiente figura.

Figura 34. Fuerzas aplicadas al eje izquierdo



Fuente: Autores

La reacción V es igual al peso de la colada más el peso del material de la cuchara y se tiene que es igual a.

$$V = (P_{cl} + P_{ch} + P_{rf})/2$$

$$V = \frac{(300 + 61,19 + 168,84) [kg]}{2}$$

$$V = 265 [kg]$$

Realizamos la sumatoria de momentos en V para encontrar el Mv y F.

Mv = Momento flector en V

F= La fuerza q es ejercida hacia arriba

$$\sum Fy = 0$$

$$F - 265 - 9 = 0$$

$$F = 274 \text{ kg}$$

$$\sum Mv = 0$$

$$F(17) - Mv - 9(17) - 12,5(17,5) = 0$$

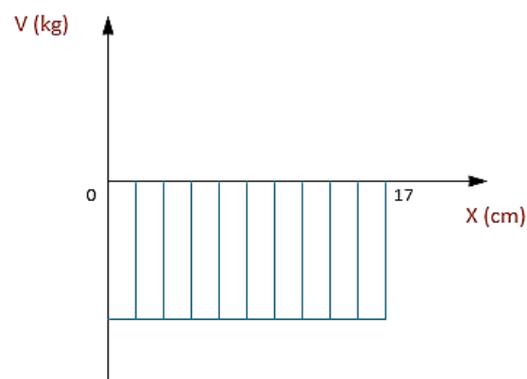
$$Mv = 286,5(17) - 9(17) - 12,5(17,5)$$

$$Mv = 4352 \text{ kg.cm}$$

En función de los cálculos los diagramas de esfuerzo cortante y diagrama de momento flector son los siguientes.

### *Diagrama de esfuerzo cortante*

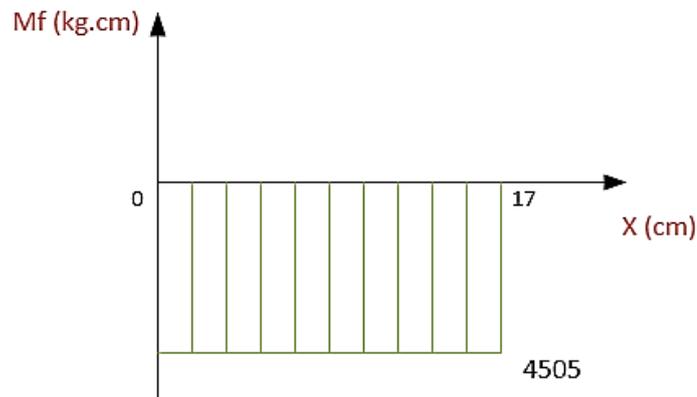
Figura 35. Diagrama de esfuerzo cortante



Fuente: Autores

## Diagrama de momento flector

Figura 36. Diagrama de momento flector



Fuente: Autores

El momento flector máximo se tiene que es 4481,75 kg.cm

$$Mf_{max} = 4505 \text{ kg.cm}$$

Con el momento flector máximo se procede a calcular los esfuerzos. Hay que tomar en cuenta que el eje está sometido solo a flexión.

$$\sigma_f = \frac{M.C}{I}$$

$$I = \frac{\pi}{64} D^4$$

$$\sigma_f = \frac{M.C}{\frac{\pi}{64} D^4}$$

$$\sigma_f = \frac{4505 \text{ kg.cm} \left(\frac{D}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} D^4}$$

$$\sigma_f = \frac{45887,55 \text{ kg.cm}}{D^3}$$

$$\sigma_f = \sigma_{eq}$$

Aplicando Goodman

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sut} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} = \frac{1}{n}$$

**Calculo del límite de fatiga**

$$Se = K \cdot Se'$$

$$K = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g$$

$$Se' = 0,5 Sut \quad \text{Por estar sometido a flexión}$$

$$Se' = 0,5 (55)$$

$$Se' = 27,5 \text{ Kpsi}$$

$$k_a = a Sut^b$$

$$k_a = 14,4 (55^{-0,718})$$

$$k_a = 0,81$$

$$k_b = 1$$

$$k_c = 0,814 \quad \text{Confiabilidad del 99\%}$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = \frac{1}{q(kt - 1) + 1}$$

$$k_e = \frac{1}{1(1,9 - 1) + 1}$$

$$k_e = 0,53$$

$$k_g = 1$$

$$S_e = (0,81)(1)(0,84)(1)(0,53)(1)(27,5)Kpsi$$

$$S_e = 9,92 Kpsi$$

$$S_e = 697,64 \frac{kg}{cm}$$

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\frac{45887,55 \text{ kg.cm}}{D^3}}{697,64 \frac{kg}{cm}} = \frac{1}{n}$$

Para este caso se asume un n=2

$$\frac{\frac{45887,55 \text{ kg.cm}}{D^3}}{697,64 \frac{kg}{cm}} = \frac{1}{n}$$

$$D = 5,08 \text{ cm}$$

$$D = 2 \text{ plg}$$

**3.4.1.3 Cálculo y diseño de la chaveta.** Para el cálculo de la chaveta se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

Diámetro del eje 28 mm = 2.8 cm

Material de la chaveta = A 37

Resistencia a la fluencia  $\sigma_{fl} = 2350 \left[ \frac{kgf}{cm^2} \right]$

Fuerza aplicada al eje:  $F = 274kg$

**Torque eje motriz:**

$$T = F * r \quad (18)$$

$$T = 274(1,4)kgf * cm$$

$$T = 383kgf * cm$$

Factor de seguridad  $\eta = 2.3$

**Fuerza de corte**

$$F_c = \frac{2T}{\phi} \quad (19)$$

$$F_c = \frac{2(383)kgf * cm}{2.8cm}$$

$$F_c = 273.57 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo de corte admisible**

$$\tau_{ad} = \frac{0,577\sigma_{fl}}{\eta} \quad (20)$$

$$\tau_{ad} = \frac{0,577(2350)}{2.3} \left[ \frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$\tau_{ad} = 589.54 \left[ \frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$\tau_{ad} = \frac{F_c}{L * b} \quad (22)$$

Los valores de b y h se toman de la tabla del (ANEXO C)

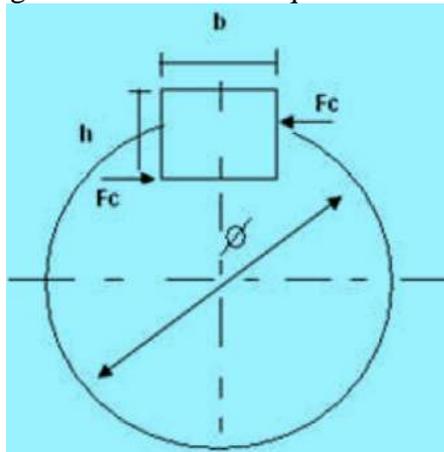
Para un diámetro de 28 mm, que se halla en el rango de 22 a 30 mm se tienen los valores:

$$b = 8 \text{ mm}$$

$$h = 7 \text{ mm}$$

Con estos valores se procede a calcular la longitud de la chaveta:

Figura 37. Diagrama de las fuerzas que actúan sobre la chaveta



Fuente: Autor

$$\tau_{ad} = \frac{F_c}{L * b}$$

$$589.54 = \frac{273.57}{L(0,8)}$$

$$L = 5.8 \text{ cm}$$

La longitud de la chaveta será de 6 cm.

### 3.4.2 Selección de la chumacera

#### 3.4.2.1 Cálculo de cargas estáticas

##### *Carga estática equivalente*

$$P_o = X_o Fr + Y_o Fa \quad (23)$$

Dónde:

$P_o$  = Carga estática equivalente [N]

$Fr$  = Carga radial real [N]

$X_o$  = Factor radial

$Y_o$  = Factor axial

Si  $P_o < Fr$  se toma  $P_o = Fr$

$$P_o = 0,6Fr + 0,5Fa$$

$$Fr = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2}$$

$$R_{AY} = Fr$$

$$Fr = 2687.94 \text{ [N]}$$

$$Fa = 0 \text{ [N]}$$

$$P_o = 0,6(2687.94) \text{ [N]}$$

$$P_o = 1612,76 \text{ [N]}$$

### ***Capacidad de Carga Estática Necesaria (Co)***

La capacidad de carga estática se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$C_o = S_o P_o \quad (24)$$

Dónde:

$C_o$  = Capacidad de carga estática [N]

$S_o$  = Carga estática equivalente [N]

$P_o$  = Factor de seguridad estático

$$1 \leq S_o < 1,5 \rightarrow S_o = 1,3$$

$$C_o = 1,3 (1612,76) \text{ [N]}$$

$$C_o = 2096.6 \text{ [N]}$$

$$C_o = 2100 \text{ [N]}$$

Con los datos obtenidos se elige la chumacera con las siguientes características:

Diámetro del agujero: 2 plg. = 50 mm

Capacidad de Carga Estática ( $C_o$ ) = 2100 [N]

Masa = 2.64 kg

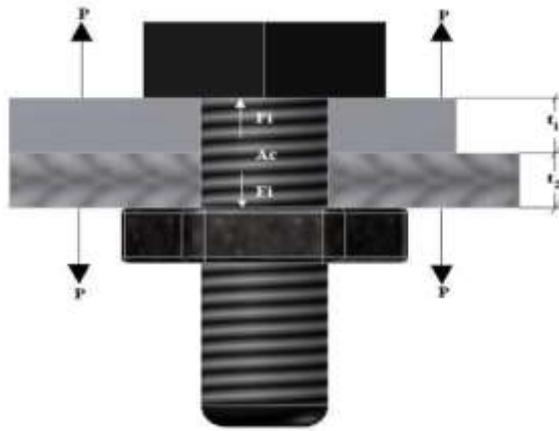
Designación = FBJ – UCP 2

Rodamiento = UC 210

Soporte = P210

**3.4.3 Selección de pernos.** Los pernos utilizados en la cuchara mecánica para la sujeción de las chumaceras al pórtico son:

Figura 38. Diagrama para el diseño de los pernos



Fuente: SHIGLEY, J: Manual de Diseño Mecánico. Editorial Mc Graw- Hill: Cuarta Edición 1989: México; Pág. 797- 815

Donde el esfuerzo de empuje se determinara mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_P = \frac{P}{A} \quad (25)$$

Dónde:

$\sigma_P$  = Esfuerzo de empuje [N/m<sup>2</sup>]

P = Fuerza de empuje [N]

A = Área de sección [m<sup>2</sup>]

El módulo de rigidez del perno se lo determina con la siguiente expresión:

$$k_b = \frac{\pi * E * d^2}{4 * l} \quad (26)$$

Dónde:

$k_b$  = Constante de rigidez del perno [N/m]

d = Diámetro mayor [m]

E = Módulo de elasticidad [N/m<sup>2</sup>]

l = Longitud de agarre del perno [m]

$$k_b = \frac{\pi(1.87 * 10^5)(0.016)^2}{4(0.022)}$$

$$k_b = 1690.75 \text{ [N/m]}$$

En dónde la constante de rigidez de los elementos es:

$$k_m = \frac{\pi * E * d}{2 * \ln \left[ \frac{5 * (l + 0.5 * d)}{l + 2.5 * d} \right]} \quad (27)$$

Dónde:

$K_m$  = Constante de rigidez de los elementos [N/m]

$d$  = Diámetro mayor [m]

$E$  = Módulo de elasticidad [N/m<sup>2</sup>]

$l$  = Longitud de agarre del perno [m]

#### ***Análisis para el hierro fundido***

$$k_{m1} = \frac{\pi * E_{\text{hierro fund.}} * d}{2 * \ln \left[ \frac{5 * (l + 0.5 * d)}{l + 2.5 * d} \right]}$$

$$k_{m1} = \frac{\pi(100 * 10^9)(0.016)}{2 * \ln \left[ \frac{5 * (0.022 + 0.5(0.016))}{0.022 + 2.5(0.016)} \right]}$$

$$k_{m1} = 2.84 * 10^9 \text{ [N * m]}$$

#### ***Análisis para el acero***

$$k_{m2} = \frac{\pi * E_{\text{acero}} * d}{2 * \ln \left[ \frac{5 * (l + 0.5 * d)}{l + 2.5 * d} \right]}$$

$$k_{m2} = \frac{\pi(207 * 10^9)(0.016)}{2 * \ln \left[ \frac{5*(0.022+0.5(0.016))}{0.022+2.5(0.016)} \right]}$$

$$k_{m1} = 5.9 * 10^9 [N * m]$$

La constante C se determina con la ayuda de la siguiente expresión:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (28)$$

$$C = \frac{1690.75}{1690.75 + 7.74 * 10^9}$$

$$C = 2.18 * 10^{-7}$$

Determinando la carga de prueba obtenida, Fp con la siguiente expresión se tendrá:

$$F_p = S_p * A_t \quad (29)$$

Dónde:

F<sub>p</sub> = Carga de prueba [N]

S<sub>p</sub> = Resistencia a la tensión [N/m<sup>2</sup>]

A<sub>t</sub> = Área de tensión [m]

Para determinar la resistencia a la tensión (S<sub>p</sub>), Resistencia a la fluencia (S<sub>y</sub>) y resistencia a la ruptura (S<sub>ut</sub>), se utiliza la tabla. (Ver **ANEXO D**)

$$0.6F_p \leq F_i \leq 0.9F_p$$

El área de tensión se determina mediante la tabla siguiente:

Tabla 10. Diámetros y áreas de roscas métricas de paso fino y de paso basto  
(Dimensiones en milímetros).

Diámetro mayor nominal, $d$	Serie de paso basto			Serie de paso fino		
	Paso $p$	Área de esfuerzo de tensión, $A_t$	Área del diámetro menor, $A_r$	Paso $p$	Área de esfuerzo de tensión, $A_t$	Área del diámetro menor, $A_r$
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.4	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	2	272	259

Fuente: SHIGLEY, J: Manual de Diseño Mecánico. Editorial Mc Graw- Hill: Cuarta Edición 1989: México; Pág. 382

$$F_p = S_p + A_t \quad (30)$$

$$F_p = 157 + (5.86 \cdot 10^6)$$

$$F_p = 913 \cdot 10^6 \text{ [N]}$$

$$F_i = 0.8(913 \cdot 10^6) \text{ [N]}$$

$$F_i = 730 \cdot 10^6 \text{ [N]}$$

### *Diseño estático*

$$\frac{F_i}{A_t} + \frac{\eta \cdot C \cdot F}{A_t \cdot N} = S_y \quad (31)$$

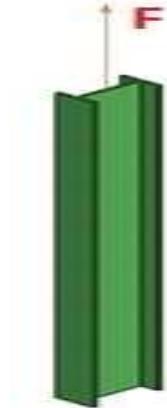
$$\frac{\eta \cdot C \cdot F}{A_t \cdot N} = S_y - \frac{F_i}{A_t}$$

$$\eta = \frac{(6.3 \cdot 10^8)(2)(157)}{(2810.57)(2.18 \cdot 10^7)}$$

$$\eta = 3.22$$

**3.4.4 Análisis del parante perfil.** Para el cálculo de la viga se tomará en cuenta las fuerzas que actuarán sobre él.

Figura 39. Fuerzas aplicadas al perfil



Fuente: Autores

La carga crítica de pandeo para una columna empotrada en su base y sometida a tracción pura, viene dado por la ecuación:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(2L)^2} \quad (32)$$

Dónde:

$P_c$  = Fuerza crítica [N]

$E$  = Módulo de elasticidad [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]

$I$  = Momento de inercia [ $\text{m}^4$ ]

$L$  = Longitud de la columna [m]

$$P_c = \frac{\pi^2(207 * 10^9)(6.29)}{(2(1))^2}$$

$$P_c = 3.21 * 10^4 \text{ [N]}$$

***Esfuerzo crítico en la columna***

$$\sigma_{cr} = \frac{P_c}{A} \quad (33)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{3.21 * 10^4}{7 * 10^{-4}}$$

$$\sigma_{cr} = 4.6 * 10^8$$

Determinando el factor de seguridad para la columna

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{cr}} \quad (34)$$

$$\eta = \frac{6.34 * 10^8}{4.6 * 10^8}$$

$$\eta = 1.49$$

**3.4.5 Selección de reductor de velocidades sin fin – rueda helicoidal.** Los reductores sin fin – rueda helicoidal son mecanismos que presentan grandes relaciones de transmisión, son ligeros, de fácil instalación, otras de las cualidades es que la salida del mismo se bloquea cuando se deja de mover la entrada del reductor, eso permite que al detener el sistema no se necesita un freno para dejar el elevador en distintas posiciones.

Figura 40. Reductor de velocidades



Fuente: Catálogo Worn Gear Reducers , MOTOVARIO

Para la selección del motor reductor se utilizará el catálogo MOTOVARIO, para esta selección se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- El torque máximo necesario obtenido de cálculos el mismo que es  $T = 72.72$

[N\*m].

- Relación de transmisión.
- Potencia del motor reductor.

Analizados los parámetros que se necesitan para el reductor, se elige el motor reductor NRV050, que tiene una salida de torque de 76 N\*m con un motor de 0.21 kw.

Tabla 11. Tabla reductora sin fin

### NRV050

M2 [Nm]	i	P1 [kW]	n2 [1/min]	Fr2 [N]	Fr1 [N]
82	5	1,76	180	1827	400
91	7,5	1,33	120	2091	444
92	10	1,02	90	2302	490
92	15	0,72	60	2635	490
83	20	0,51	45	2900	490
76	25	0,39	36	3124	490
94	30	0,43	30	3320	490
88	40	0,32	22,5	3654	490
81	50	0,25	18	3936	490
76	60	0,21	15	4183	490
68	80	0,16	11,3	4604	490
56	100	0,12	9	4840	490

Fuente: Catálogo Worn Gear Reducers , MOTOVARIO

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN DE LA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS.

#### 4.1 Construcción de la cuchara.

Antes de iniciar la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris, se analizarán los procesos que se van a tomar en cuenta para conseguir su fin y los que se ajustan a la necesidad de la máquina son: corte, rolado, torneado y soldadura, previos al montaje, instalación y funcionamiento de la misma.

Para la construcción de la cuchara mecánica se utilizó un diagrama de flujo de procesos en el cual se indica la secuencia de actividades que se deben realizar para la construcción de la máquina, este diagrama se lo puede observar de forma clara y precisa en el (ANEXO E.)

**4.1.1 Medición.** Utilizando un flexómetro y un compás se procedió con la realización de tomas de medidas exactas de cada uno de los elementos que conformarán la cuchara mecánica antes de ser cortados.

Figura 41. Medición y trazado



Fuente: Autores

**4.1.2 Corte.** Para la construcción de la cuchara mecánica el proceso de corte es de vital importancia ya que es necesario realizar esta actividad con precisión para obtener las medidas requeridas de los diferentes elementos, el material utilizado para la construcción del cono, la tapa inferior del cono, el pico de la cuchara y los refuerzos son de acero A 36 de espesor de 5mm, para este proceso de corte utilizamos una amoladora con disco de corte.

Figura 42. Corte



Fuente: Autores

**4.1.3 Rolado.** Una vez cortado la plancha de tool se procedió a rolar para formar el cono de la cuchara que es donde se acoplarán los demás elementos de la máquina esta actividad se lo realizó en una roladora de planchas neumática, para la construcción del volante fue necesario utilizar una roladora de tubos semiautomática.

Figura 43. Rolado de la plancha



Fuente: Autores

**4.1.4 Soldadura.** El proceso de soldadura de los elementos que componen la cuchara mecánica, se la realizó bajo el proceso de suelda SMAW arco eléctrico con electrodos revestidos 6011, esta clase de electrodo es apto para ser utilizado en aplicaciones de soldadura en acero con bajo contenido de carbono.

Deben evitarse porosidades y grietas añadiendo elementos de aleación al metal de aportación, y sujetando firmemente las piezas que se quieren soldar para evitar deformaciones. También puede suceder que la zona afectada por el calor quede dura y quebradiza, para evitar este efecto indeseable en ocasiones es necesario realizar un precalentamiento a las partes a ser soldadas.

Para obtener una buena calidad de acabado en los cordones de soldadura se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Regulación de la intensidad de corriente.
- Ángulo adecuado de posición de soldadura.
- Ambiente libre de humedad.
- Evitar que el material base esté contaminado.
- Electrodo en buen estado
- Velocidad de avance del electrodo.
- Enfriamiento lento para aliviar tensiones.

Figura 44. Soldadura



Fuente: Autores

**4.1.5 Torneado.** El proceso de torneado se utiliza para realizar tareas de cilindrado y refrentado, estos procesos se lo deben realizar por que el material adquirido tiene medidas superiores a las requeridas en la construcción de los ejes.

Esto con el fin de obtener las dimensiones exactas en los elementos para que se acoplen de manera segura y precisa en las chumaceras, en los engranajes cónicos y en la entrada y salida de la caja reductora de velocidades, estos ejes tienen un acabado superficial N7.

Figura 45. Torneado.



Fuente: Autores

**4.1.6 Fresado.** Este proceso se lo realizó para la realización de chaveteros en los ejes, que es donde se alojarán las chavetas para asegurar la transmisión eficaz del movimiento y esfuerzo entre dos elementos.

Figura 46. Fresado



Fuente: Autores

**4.1.7 Pulido y pintado.** Terminada la etapa de soldadura de las partes constitutivas de la cuchara mecánica, procedemos a pulir las juntas para eliminar todo tipo de rebabas e imperfecciones por consecuencia de la suelda, así como aristas no deseadas que puedan causar algún tipo de daño físico.

Terminado el proceso de pulido procedemos a limpiar con tiñer todos los componentes para eliminar la grasa y otro tipo de impurezas previo a la actividad de pintado con la finalidad de obtener un mejor acabado de la cuchara mecánica.

Figura 47 Pulido y pintado



Fuente: Autores

## **4.2 Montaje de los elementos de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.**

Terminadas las actividades anteriores de construcción se procederá a la unión de la estructura de levantamiento con el cuerpo, sistema de transmisión y demás elementos que conformarán la cuchara mecánica para el colado de hierro gris, para ello debemos identificar que elementos van ser ensamblados de forma permanente, no permanente y semipermanentes.

El ensamblado de la cuchara mecánica se lo realizó de forma manual, para esta actividad fue necesario el uso de herramientas manuales.

Figura 48. Ensamble



Fuente: Autores

Partes constitutivas de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris

Tabla 12. Componentes de la máquina

Elementos	Cantidad	Tipo
Cuerpo de la cuchara	1	Plancha de acero A 36 de 5mm
	2	Platinas acero A 36, 200mm x 170mm, e=5mm
	2	Platinas acero A 36, 70mm x 670mm, e=5mm
	2	Ejes acero transmisión ASTM 1040, Ø55mm x 200mm
	4	Platinas acero A 36 forma triangular
	1	Tapa inferior de la cuchara acero A 36, Ø 400mm, e=5mm
	1	Pico en forma de V
Estructura de levantamiento	2	Perfiles IPN 80 , L= 1000m
	1	Perfil IPN 80, L=675mm
	2	Platinas acero A36, 130mm x 80mm, e=16mm
Pernos	15	SAE ½ in x 1½ in
Tuercas hexagonales	15	SAE ½ in
Chumaceras	2	PBJ-P211
Sistema de Transmisión	1	Eje acero transmisión ASTM 1040, Ø20mm x 90mm
	1	Eje acero transmisión ASTM 1040, Ø20mm x 230mm

Fuente: Autores

Tabla 12. (Continuación)

	1	Engranaje cónico 16 dientes, modulo 5
	1	Engranaje cónico 10 dientes, modulo 5
	1	Reductor 1:60, 2 HP
	2	Chumaceras NTN-P204J
	4	Chavetas acero de transmisión ASTM 1040
	1	Manivela
	1	Volante tubo galvanizado ¾ de Ø500mm

Fuente: Autores

**4.2.1 Máquinas y herramientas utilizadas.** El uso incorrecto de las máquinas y herramientas puede ocasionar un desgaste superior al normal en ellas, provocando un deterioro rápido a las mismas lo que hace peligroso su uso, ya que pueden fallar en cualquier momento.

Para cada actividad de construcción se debe utilizar la herramienta adecuada para así evitar accidentes o lesiones humanas.

Es muy importante también considerar el lugar de cada herramienta después de su uso ya que la acumulación de las mismas en el lugar de trabajo o sitios destinados a la circulación de personal, son factores importantes dentro de la generación de riesgos y accidentes.

En la siguiente tabla se muestra una lista de las máquinas y herramientas utilizadas según la parte constitutiva que se elaboró

Tabla 13 Máquinas y herramientas para la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris

<b>Máquinas y herramientas utilizadas en la construcción y montaje de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.</b>				
<b>Parte elaborada</b>	<b>Proceso</b>	<b>Máquina</b>		<b>Herramienta</b>
Cuerpo de la cuchara	Medir			flexómetro
	Cortar	Amoladora	1	
	Rolar	Roladora neumática	1	

Fuente: Autores

Tabla 13. (Continuación)

	Doblar	Dobladora de tool	1		
	Pulir	Amoladora	1		
	Soldar	Soldadora	1		
	Limpiar			Capillo metálico	1
	Pintar	Compresor	1	Pistola	1
Estructura de levantamiento	medir			flexómetro	1
	Cortar	Amoladora	1		
	taladrar	Taladro pedestal	1	Broca	1
	Soldar	Soldadora	1		
Ejes	Medir			calibrador	1
	Cilindrar	Torno	1	cuchillas	1
	Refrentar			cuchillas	1
	Corte(chaveteros)	Fresadora	1	Fresa	1
Volante	Medir			Flexómetro	1
	Cortar	Amoladora	1		
	Rolar	Roladora de tubos	1		
	Soldar	Soldadora	1		
Ensamble	Ajustar			Llaves	3
				Racha	1
				Juego de hexagonales	1
	Alinear(ejes)			Nivel-regla	1
	TOTAL	Máquinas	9	Herramientas	14

Fuente: Autores

**4.2.2 Montaje de la chumacera de piso en el cuerpo.** Se verifica el lugar correcto a ser colocada la chumacera, para garantizar que la transmisión del movimiento sea la correcta, manteniendo la chumacera en ángulo recto al eje se inserta dentro del agujero del rodamiento sin girar el rodamiento, con una llave hexagonal damos el par de apriete recomendado por los fabricantes al tornillo de fijación.

Figura 49. Ensamble de chumaceras



Fuente: Autor

**4.2.3 Montaje de la estructura de levantamiento.** La estructura de levantamiento junto con la chumacera tiene la función de elevar y transmitir el movimiento de volteo hacia el cuerpo de la cuchara, por esta razón está construido con perfil IPN 80 la placa donde se alojará la chumacera es de acero A 36 con un espesor de 10mm

Estos elementos fueron acoplados mediante pernos de manera que queden fijos, formen un solo elemento, puedan ser acoplados y desacoplados fácilmente.

Figura 50. Estructura de levantamiento



Fuente: Autores

#### 4.2.4 Montaje del sistema de transmisión

**4.2.4.1 Montaje del reductor de velocidades.** El reductor de velocidades es de 1:60 de capacidad 2 HP que esta acoplado con el eje del cuerpo de la cuchara mediante una chaveta, la sujeción del reductor se la realiza mediante una plancha de acero A 36 de espesor 10mm emperrada a la estructura de levantamiento.

Figura 51. Reductor de velocidades.



Fuente: Autores

**4.2.4.2 Montaje de los engranajes cónicos.** El engranaje conductor es de 16 dientes que esta acoplado a un eje mediante una chaveta, el eje esta sostenido mediante dos chumaceras las cuales están fijas a la placa base del reductor de velocidades, el engranaje conducido es de 10 dientes que es acoplado a la entrada del movimiento del reductor de velocidades.

Figura 52. Montaje engranajes cónicos



Fuente: Autores

**4.2.4.3 Montaje del volante.** Está acoplado a la entrada del eje motriz de movimiento y es aquel elemento que efectuara el movimiento manual para el volteo de la cuchara su construcción es de tubo redondo galvanizado de  $\frac{3}{4}$  in con un diámetro de 500mm para realizar el giro fácilmente.

Figura 53 Volante



Fuente: Autores

### **4.3 Seguridad e higiene en la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.**

La seguridad es un conjunto de técnicas y procedimientos que tiene por objetivo eliminar o disminuir el riesgo de que se produzcan los accidentes de trabajo y la ocurrencia de enfermedades profesionales.

La higiene industrial es un conjunto de técnicas que prevé la aparición de enfermedades profesionales. Para ello, se estudia el ambiente de trabajo, se valoran los riesgos y se actúa modificando el ambiente físico, químico o biológico.

Lo que ocasiona un accidente o incidente dentro de un taller industrial puede estar ocasionados por la combinación de factores humanos y técnicos como son:

*Factores humanos:*

- Psicológicos.
- Fisiológicos.
- Sociológicos.

- Económicos.

*Factores técnicos:*

- Organización. Su disfuncionamiento origina el accidente o las enfermedades laborales. Se pueden agrupar en.
  - El individuo.
  - La tarea.
  - Material y equipo.
  - Medio ambiente o lugar de trabajo.
  - Entorno.

**4.3.1** *Seguridad en los procesos.* Antes de realizar cualquier trabajo es necesario un análisis general de todas las máquinas y herramientas a utilizarse de esta forma crear un buen ambiente de trabajo para el buen desenvolvimiento del operario dentro de las instalaciones.

Una vez determinadas las necesidades y realizado un análisis de operaciones, se procede a definir las características de la máquina en función de los siguientes factores:

- Operario.
- Producción.
- Tiempo.

La selección adecuada de la máquina- herramienta ayudará que la actividad a desarrollarse tenga éxito y sea eficiente sin causar daños al operario.

**4.3.2** *Higiene en el taller.* Es muy importante porque nos permite reconocer, evaluar y controlar situaciones que afecten a la salud del operario.

El orden y limpieza son fundamentales dentro de un taller de mecanizado, debido a que los pisos y zonas de paso pueden ser obstaculizados rápidamente por materiales, herramientas y cables que son capaces de provocar tropiezos.

La higiene unida a la seguridad genera un ambiente sano y seguro para el operario, debemos tener en cuenta aspectos importantes a controlar en los procesos de construcción, los cuales son los siguientes:

- Falta de orden y limpieza
- Emisión de gases
- Generación de polvos
- Falta de equipo de protección
- Falta de ventilación
- Falta de iluminación
- Piso resbaladizo
- Caídas a distinto nivel

**4.3.3** *Seguridad en el taller de fundición.* Una vez dentro del taller de fundición existen muchos riesgos y peligros entre ellos tenemos:

- Ambiente cerrado.
- Desprendimiento de gases y vapores.
- Ambiente caliente.
- Propensos de quemaduras.
- Incendios

Para la realización de las pruebas de funcionamiento y posterior operación de la cuchara mecánica, se pueden producir quemaduras por el hierro fundido, la escoria, los derrames, las salpicaduras y por explosiones del metal caliente durante su transformación.

En el transporte del material fundido hacia los moldes puede darse contacto directo con el metal fundido.

Por estas razones es indispensable que no haya humedad en el refractario de la cuchara mecánica que transporta el metal fundido porque estos pueden generar fuerzas explosivas que hagan saltar el metal caliente en una amplia zona.

Dentro del taller de fundición se deben cumplir con todas las recomendaciones de seguridad para evitar riesgos, para ello hemos especificado unas recomendaciones a seguir:

- Verificar que las conexiones eléctricas estén en buen estado y evitar su contacto.
- Los combustibles deben estar almacenados a una distancia prudencial para evitar salpicaduras de los materiales incandescentes.
- Utilizar equipos de protección personal
- Limpiar los obstáculos en las zonas de circulación para evitar tropiezos.
- Verificar que los equipos contra incendios extintores estén operativos caso contrario reemplazarlos.
- Siempre tener a mano un equipo de primeros auxilios.

**4.3.4 Los Equipos de Protección Personal.** Los E.P.P comprenden todos aquellos dispositivos, accesorios y vestimentas de diversos diseños que emplea el trabajador para protegerse contra posibles lesiones. (COPORACION ACEROS AREQUIPA S.A)

Los E.P.P son de diversos tipos y tienen diferentes propósitos. Cada uno de ellos está diseñado y fabricado para protegerte en cada riesgo específico.

**Vestimenta.** No utilices prendas muy amplias o sueltas, pueden quedar atrapadas en las partes móviles de la maquinaria.

**Protección de la cabeza.** El casco te protegerá de golpes, así como también de contactos eléctricos.

**Protección de los pies.** Los zapatos, botines de seguridad protegen tus pies de perforaciones, aplastamientos y contactos eléctricos.

**Protección de los ojos y la cara.** Gafas de seguridad y gafas protectoras de goma, además del equipo de protección personal tales como los cascos o protectores especiales, las caretas y protectores laterales pueden ayudar a proteger de impactos por fragmentos, astillas de gran tamaño, chispas calientes, radiación óptica, salpicaduras de metal fundido, arenas, vapores que puedan causar algún daño a la persona.

***Protección de los oídos.*** Utilizar tapones para oídos u orejeras puede ayudar a protegerlos de la exposición a altos niveles de ruidos, pueden causar pérdidas o discapacidades auditivas irreversibles así como estrés físico o psicológico.

Los tapones para oídos de material alveolar, de algodón encerado o de lana de fibra de vidrio son fáciles de ajustar correctamente. Tapones de oídos moldeados o preformados deben ser adecuados a los trabajadores que van a utilizarlos y con regularidad deben estar limpios.

***Protección respiratoria.*** Te protege de gases tóxicos, polvos nocivos y vapores orgánicos.

***Protección de manos y brazos.*** Los trabajadores expuestos a sustancias nocivas mediante absorción por la piel a laceraciones o cortes profundos, abrasiones serias, quemaduras químicas, térmicas y temperaturas extremas, deben proteger sus manos.

## **Ventajas y limitaciones de los E.P.P**

### ***Ventajas.***

- Rapidez de su implementación.
- Gran disponibilidad de modelos en el mercado para diferentes usos.
- Fácil visualización de sus usos.
- Costo bajo, comparado con otros sistemas de control.
- Fáciles de usar.

### ***Desventajas.***

- Crean una falsa sensación de seguridad, pueden ser sobrepasados por la energía del contaminante o por el material para el cual fueron diseñados
- Hay una falta de conocimiento técnico generalizada para su adquisición.
- Requieren un esfuerzo adicional de supervisión.

- Necesitan un mantenimiento riguroso y periódico.

### ***Consideraciones generales.***

Para que los elementos de protección personal resulten eficaces se deberá considerar lo siguiente:

- Entrega del protector a cada usuario.
- La responsabilidad de la empresa es proporcionar los EPP adecuados; la del trabajador es usarlos. El único EPP que sirve es aquel que ha sido seleccionado técnicamente y que el trabajador usa durante toda la exposición al riesgo.
- Capacitación respecto al riesgo que se está protegiendo.
- Es fundamental la participación de los supervisores en el control del buen uso y mantenimiento de los EPP. El supervisor debe dar ejemplo utilizándolos cada vez que este expuesto al riesgo. (PARITARIOS)

Tomando en cuenta las especificaciones de seguridad y los reglamentos que exigen las normas se detalla los EPP más importantes para el trabajo:

Tabla 14 Equipos de protección personal.

<b>Equipos de protección personal</b>			
<b>Soldadura</b>	<b>Mecanizado</b>	<b>Corte</b>	<b>Fundición</b>
Guantes de cuero(OSHA 21CFR)	Guantes anti corte	Guantes anti corte	Guantes de cuero
Mangas de cuero	Overol manga corta	Overol manga larga (UNE-EN 531)	Mangas de cuero(OSHA 21CFR)
Mascarilla (AS/NZS 1716 & AS/NZS 1337 / CE EN175)	Gafas	Gafas (ANSI Z 87.1)	Overol manga larga
overol manga larga (ANSI-ISEA 107-2004)	Zapatos de seguridad	Zapatos de seguridad	Mandil de cuero
Mandil de cuero	Orejeras(ANSI S 3.19)	Orejeras	Protección facial
Mascarilla para vapores (ANSI Z88.2)			Mascarilla para vapores
Zapatos de seguridad(ANSI Z41)			Zapatos de seguridad

Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

### 5. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CUCHARA MECÁNICA PARA EL COLADO DE HIERRO GRIS.

#### 5.1 Pruebas de funcionamiento de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris.

Luego de haber realizado el ensamblaje de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento las cuales se detallan a continuación.

**5.1.1 Prueba de equilibrio de la cuchara mecánica.** Ensamblada la cuchara mecánica se procedió a izar la misma con la ayuda de un tecele para comprobar su equilibrio

*Resultado de la prueba.*

La cuchara presenta un desequilibrio en su parte derecha por el peso de la caja reductora y el sistema de transmisión. Pará compensar el desequilibrio se procede a soldar una caja de metal con el peso equivalente al lado derecho.

Figura 54. Prueba de equilibrio de la cuchara



Fuente: Autores

**5.1.2 Prueba de funcionamiento de la cuchara mecánica sin carga.** Una vez verificado el equilibrio de la máquina se procede a realizar la operación de la misma donde se verificó los siguientes parámetros indicados en la tabla siguiente:

Tabla 15. Parámetros de funcionamiento de la cuchara mecánica sin carga

Volteo		Sistema de transmisión		Chumaceras		Estructura de levantamiento	
Completa	Incompleta	Falla	No falla	Falla	No falla	Falla	No falla
X			X		X		X

Fuente. Autores

**5.1.3 Prueba de funcionamiento de la cuchara mecánica con carga en frío.** Para esta prueba, se realiza con un peso total de 530 kg que es el peso del material fundido, del material refractario y de la cuchara mecánica.

Tabla 16. Parámetros de funcionamiento de la cuchara mecánica con carga en frío

Volteo		Sistema de transmisión		Chumaceras		Estructura de levantamiento	
Completa	Incompleta	Falla	No falla	Falla	No falla	Falla	No falla
X			X		X		X

Fuente: Autores

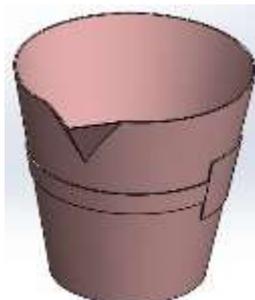
**5.1.4 Prueba de funcionamiento de la cuchara mecánica utilizando Solidworks.** Para el dimensionamiento de la cuchara tomaremos en cuenta que en su interior abarcara 530 kg que es el peso que se ha impuesto para el diseño y su dimensionamiento de la cuchara el cual nos ayudara a la selección del material.

Con las dimensiones obtenidas procedemos a modelar y simular en el software Solidworks el que ayuda a tener una idea clara si resiste o no el material que escogimos y que el diseño y selección es correcto.

A continuación les mostramos el procedimiento de cómo se hizo la simulación.

Para lo cual se asumido un acero estructural A36 de un espesor de 6 mm, a continuación le mostramos el modelo y forma de la cuchara mecánica.

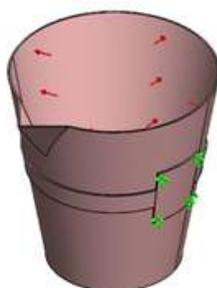
Figura 55. Forma de la cuchara mecánica



Fuente: Autores

Entonces se procede a aplicar las cargas a la cual estará sometido la cuchara y los puntos fijos que son los que están representando la parte fija de la misma.

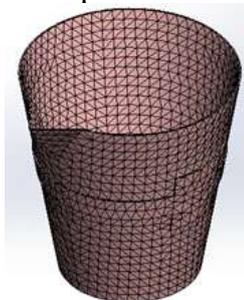
Figura 56. Aplicación de cargas



Fuente: Autores

Se procede hacer el mallado para verificar que la cuchara este perfectamente dibujado y modelado, con esto aseguramos que los resultados que arroje el software sean los correctos.

Figura 57. Aplicación de mallado



Fuente: Autores

Uno de los resultados que se obtiene es las tensiones de von mises el cual son los esfuerzos máximos y mínimos que soportara el material y está representado por colores como se muestra en la figura.

Figura 58. Esfuerzos máximos y mínimos que soporta la cuchara

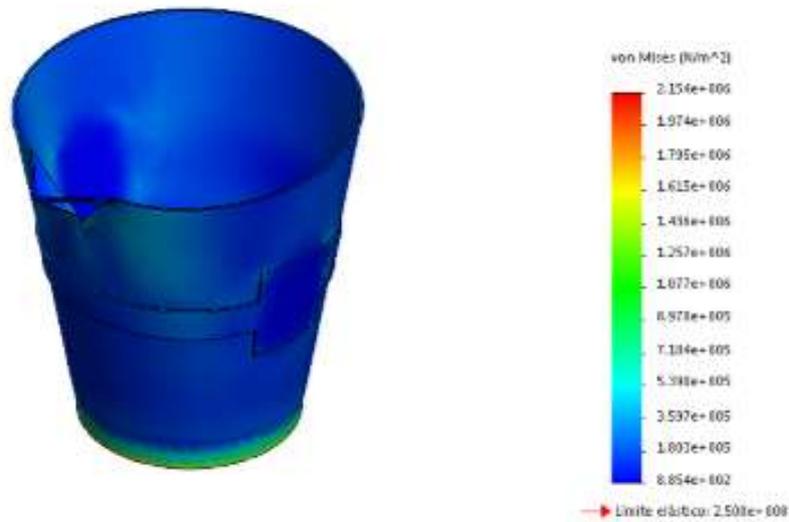
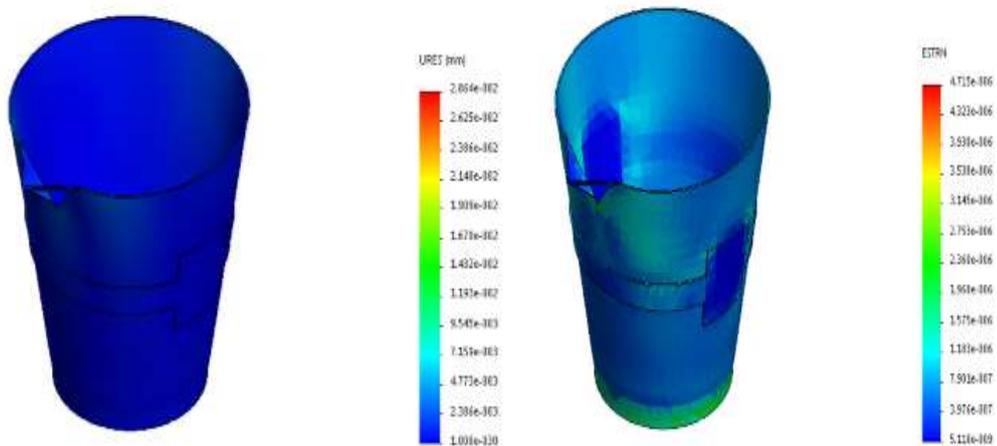


Figura: Autores

El resultado de las deformaciones unitarias es un parametro importante aquí se puede observar con el resultado y tambien por colores que ayudan a observar cual es la mínima y máxima deformación que sufrira la cuchara mecánica(Ver figura 59).

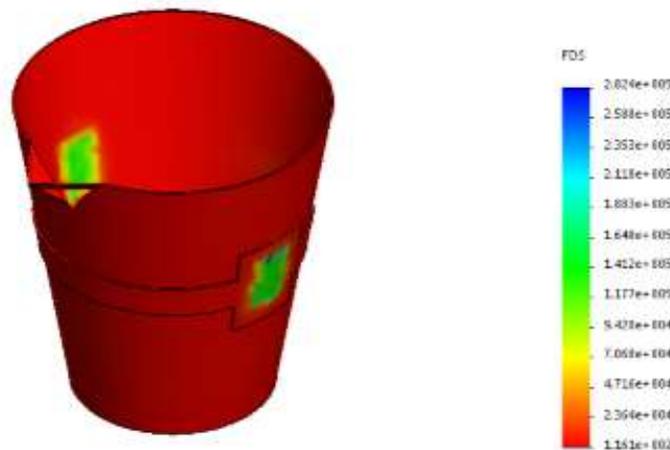
Figura 59. Deformación máxima y mínima de la cuchara mecánica



Fuente: Autores

El factor mas importante dentro del diseño es el factor de seguridad que para nuestro caso se debe tomar en cuenta el mínimo que para nuestro caso el valor arrojado es muy aceptable y esta cuchara resiste sin ningun problema y si se quiere tener un menor coeficiente de seguridad solamente se debe disminuir el espesor del material.

Figura 60. Factor de seguridad



Fuente: Autores

## 5.2 Elaboración de un manual de mantenimiento

El principal objetivo de un buen mantenimiento para la cuchara mecánica es lograr que no presente fallas ni paros y al mismo tiempo trabaje lo más silenciosamente posible.

El mantenimiento está relacionado muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en los trabajadores, ya que este departamento tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones la maquinaria y herramienta, equipo de trabajo lo cual permite un mejor desenvolvimiento evitando riesgos en el área laboral.

*Objetivos del mantenimiento.* Su información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos.

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.
- Disminución de los costos de mantenimiento.

El mantenimiento representa un instrumento importante dentro de la seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos los cuales pueden ser prevenidos.

Dentro de los tipos de mantenimiento podemos citar los siguientes.

*Mantenimiento correctivo.* Se lleva a cabo para corregir las fallas de un equipo se clasifica en:

- No planificado. Es de emergencia debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por alguna condición la cual haya que satisfacer.
- Planificado. Se sabe con atención lo que se debe hacer, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación se disponga del personal, repuestos y los técnicos para necesarios.

*Mantenimiento preventivo.* Se basa en la confiabilidad de los equipos sin considerar las peculiaridades de alguna instalación dada. Detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura o interferencias en la producción. Está basado en inspecciones, medidas y control de nivel de condiciones de equipos, también es conocido como mantenimiento predictivo.

*Mantenimiento de oportunidad.* Se realiza aprovechando la parada de los equipos por otros motivos y según la oportunidad calculada sobre bases estadísticas, técnicas y económicas, se procede al mantenimiento de algunos componentes predeterminados de aquellos.

*Mantenimiento de mejora.* Consiste en modificaciones que se pueden hacer a los equipos, si ello constituye una ventaja técnica o económica y si permiten reducir operaciones de mantenimiento.

Para garantizar el buen funcionamiento y vida prolongada de la cuchara mecánica, se debe seguir un mantenimiento adecuado en este caso será un mantenimiento por operación el cual consiste en:

- Limpieza externa e interna antes y después de cada práctica.
- Revisar el sistema de transmisión antes de realizar la práctica.

- Comprobar el ajuste de las tuercas, pernos y estructura de levantamiento ya que pueden llegar a aflojarse debido al levantamiento de del material fundido durante su transporte, de ser necesario realizar un apriete.
- Revisar las chumaceras y partes móviles comprobando que trabajen correctamente.
- Engrasar los engranajes cónicos con grasa grafitada de buena calidad.

### ***Mantenimiento y lubricación de las chumaceras.***

La cuchara mecánica se entrega con sus chumaceras ya engrasadas, la re lubricación es innecesaria, se recomienda engrasar, con grasa de calidad a base de litio, para evitar un sobre llenado. El exceso o ausencia de grasa provoca calentamiento.

### ***Montaje de las chumaceras.***

- La superficie sobre la cual se monta el alojamiento debe ser suficientemente rígida.
- La superficie sobre la cual se monta el alojamiento debe ser tan plana como sea posible. La deformación del alojamiento causada por un ensamble incorrecto, a su vez causará deformación del rodamiento; produciendo así fallas prematuras.
- Es aconsejable que el ángulo entre la superficie sobre la cual se monta la chumacera y el eje, mantenga una tolerancia de  $\pm 2^\circ$  como se muestra en la figura.
- Un excesivo apriete de los pernos de montaje puede ser causa de la deformación del alojamiento.

Figura 61 Montaje eje – chumacera



Fuente: Autores

## **5.3 Elaboración de medidas importantes de seguridad**

Antes de utilizar la cuchara mecánica se comprobará que sus protecciones y condiciones de uso son las adecuadas y que su conexión y puesta en marcha no representa peligro para

terceros, en caso de anomalía previsible deberá adoptarse las medidas de prevención para garantizar la seguridad de los trabajadores que la utilicen o se encuentren en sus proximidades.

Se deberá tener en consideración la necesidad de los elementos fijos o móviles de su entorno y de que puedan suministrarse o retirarse de manera segura, deben instalarse de forma que no puedan caer, volcar o desplazarse en forma incontrolada.

Comprobar periódicamente el buen funcionamiento de la cuchara mecánica así como realizar comprobaciones adicionales en los casos de cambios accidentales o falta de uso prolongada.

Las operaciones de mantenimiento, ajuste, revisión o reparación que pueden suponer un peligro para la seguridad de los operarios se realizarán cuando la cuchara mecánica este fijamente en el piso.

Específicamente se tomó en cuenta las siguientes instrucciones como las más relevantes antes del uso de la cuchara mecánica.

1. Antes de llenar el material fundido del cubilote se deberá hacer un precalentamiento a la cuchara mecánica para evitar las salpicaduras y explosiones del metal fundido.
2. Asegúrese de que la máquina está debidamente ensamblada.
3. Cuando se transporte el material fundido no debe existir obstáculos en el camino para evitar caídas del mismo nivel.
4. Nunca deje la máquina operando sin supervisión.
5. Evitar sobrecargar la máquina.

## CAPÍTULO VI

### 6. COSTOS

En este capítulo se realizó un análisis general de costos que intervinieron en la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris, de los materiales y demás elementos que fueron necesarios para la implementación de la máquina. Los gastos de la presente tesis son responsabilidad exclusiva de los ejecutores de la misma.

A continuación se especifican los costos directos los cuales son los que intervienen de manera directa en la construcción de la cuchara mecánica.

#### 6.1 Costos directos.

En el análisis de costos directos se toman en cuenta cargos como materiales, mano de obra y transporte, éstos influyeron directamente en la construcción de la cuchara mecánica por lo que se detallan a continuación.

Tabla 17. Costos directos

<b>Materiales</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Unitario (USD)</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
Plancha acero A 36 de 5mm	1	Unidad	150,40	150,40
Perfil IPN 80	3	Metro	18,67	56,00
Acero transmisión ASTM 1040 Ø 55mm x 200mm	2	Unidad	16,80	33,60
Chumaceras PBJ-P211	2	Unidad	20	40
Chumaceras NTN-P204J	2	Unidad	19,80	39,60
Caja reductora de velocidades 1:60 , 2HP	1	Unidad	300	300
Engranaje cónico 16 dientes, modulo 5	1	Unidad	25	25
Engranaje cónico 10 dientes, modulo 5	1	Unidad	15	15
Pernos SAE 1/2 in x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in	15	Unidad	0,50	7,50

Fuente. Autores

Tabla 17. (Continuación)

Tuercas de cabeza hexagonal SAE 1/2in	15	Unidad	0,25	3,75
Acero transmisión ASTM 1040 Ø20mm x 90mm	1	Unidad	1,50	1,50
Acero transmisión ASTM 1040 Ø20mm x 230mm	1	Unidad	3	3
Tubo galvanizado ¾ in	3	Metro	3,57	10,70
Pintura negra	2	Litro	12,00	24,00
Pintura gris	3	Litro	12	36
Galón de tiñer	1	galón	6	6
Electrodos 6011	3	Kilos	4	12
Electrodos 7018	3	kilos	6	18
Discos de corte	10	Unidad	2	20
Disco de desbaste	5	Unidad	2,50	12,50
Lijas	5	Unidad	0,40	2
Acero transmisión ASTM 1040, Ø50mm x 50mm	1	Unidad	4,20	4,20
Total materiales				820,75
Mano de obra				
Estructura de levantamiento	1	Unidad	150,00	150,00
Cuerpo de la cuchara	1	unidad	200,00	200,00
Mecanizado	1	Unidad	280,00	280,00
Ensamblaje	1	Unidad	100,00	100,00
Total de mano de obra				730,00
Transporte				
Fletes y otros			50,00	50,00
Total de transporte				50,00
Total costos directos				1600,75

Fuente. Autores

## 6.2 Costos indirectos.

Son aquellos costos de fabricación distintos de los materiales y de la mano de obra directa.

Tabla 18. Costos indirectos

<b>Detalle</b>	<b>Valor(USD)</b>
Diseño y supervisión	180,00
Imprevistos	70,00
Total costos indirectos	250,00

Fuente. Autores

### 6.3 Costos totales.

Los costos totales equivalen a la sumatoria de los costos directos y los costos indirectos.

Tabla 19. Costos totales

Costos directos(USD)	1600,75
Costos indirectos(USD)	250,00
Total de costos(USD)	1850,75

Fuente. Autores

Los costos totales de la construcción de la cuchara mecánica para el colado de hierro gris sumados los costos directos e indirectos ascienden a la suma de 1850,75 dólares americanos.

## CAPÍTULO VII

### **7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **7.1 Conclusiones.**

La construcción de la cuchara mecánica cumplió satisfactoriamente con el trabajo para la cual está diseñada y construida, lo que demuestra que todos los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, son indispensables para el desempeño profesional a gran nivel ante los problemas y necesidades que presenta la sociedad.

Con la implementación de la cuchara mecánica se logra disminuir el esfuerzo humano que se realizaba al transportar el material fundido de forma manual.

El diseño y construcción de la cuchara mecánica es tal que permite su montaje y desmontaje fácilmente, lo que favorece la revisión y mantenimiento de sus elementos.

Se puede transportar  $0,041\text{m}^3$  de material fundido por cada práctica a realizarse en condiciones normales.

#### **7.2 Recomendaciones.**

Colocar el material refractario en el interior de la chuchara con un espesor de 50mm en las paredes de la misma y en el fondo hacerlo con un espesor de 100mm.

Hacer la prueba de la cuchara con el material fundido.

Antes de verter el material fundido se debe hacer un precalentamiento a la cuchara mecánica para evitar choques térmicos con el material refractario y así evitar salpicaduras del material fundido.

Evitar sobrecargar la cuchara mecánica para garantizar una mayor durabilidad de los elementos que constituyen a la misma.

Utilizar como material refractario las arenas de moldeo porque son más económicas que los ladrillos refractarios.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACERO A36.** Acero A36. C.V., Aceros el Alamo S.A. [En línea] <http://aceroselalamo.com/acero-a36/>.

**ACERO. 2014.** Acero. es.wikipedia.org. [En línea] 26 de 09 de 2014. [Citado el: 26 de 09 de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>.

**ARMENDÁRIZ, Marco. 2010.** Materiales. Riobamba : s.n., 2010. Pág. 114.

**CAPELLO, Edoardo. 1989.** Tecnología de la Fundición. Barcelona : Gustavo Gili,S.A, 1989.

**CHUMACERAS TIPOS.** Chumaceras Industriales de Larga Duración. Copyright 2009 - 2011 NTN Sudamericana. [En línea] [http://www.ntnsudamericana.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=76&Itemid=108](http://www.ntnsudamericana.com/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=108).

**CONDUCCIÓN DE CALOR. 2014.** Conducción de calor. es.wikipedia.org. [En línea] 26 de 09 de 2014. [Citado el: 26 de 09 de 2014.] [http://es.wikipedia.org/wiki/Conducci%C3%B3n\\_de\\_calor](http://es.wikipedia.org/wiki/Conducci%C3%B3n_de_calor).

**COPORACION ACEROS AREQUIPA S.A. SEGURIDAD E HIGIENE EN OBRA.** [En línea] <http://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-maestro-de-obra/4-seguridad-e-higiene-en-obra/44-equipos-de-proteccion-personal-epp.html>.

**Corporation, NTN. 2004.** catalogo de rodamientos de bolas y de rodillos. 2004.

**CORPORATION, NTN. 2009.** chumaceras. 2009.

**DISEÑO REDUCTOR VELOCIDAD.** Diseño reductor velocidad. monografias.com. [En línea] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/disenoreductor-velocidad/disenoreductor-velocidad.pdf>.

**ENGRANAJE. 2014.** Engranaje. es.wikipedia.org. [En línea] 2014. <http://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje>.

**FUNDICION GRIS. 2014.** Fundicion gris. [En línea] 17 de 06 de 2014. [Citado el: 24 de 07 de 2014.] [http://www.ecured.cu/index.php/Fundici%C3%B3n\\_gris](http://www.ecured.cu/index.php/Fundici%C3%B3n_gris).

**FUNDICIÓN MALEABLE. 2014.** Fundición Maleable. es.wikipedia.org. [En línea] 15 de 07 de 2014. [Citado el: 21 de 07 de 2014.] [http://es.wikipedia.org/wiki/Fundici%C3%B3n\\_maleable](http://es.wikipedia.org/wiki/Fundici%C3%B3n_maleable).

**FUNDICIONES. 2014.** Tipos de fundiciones de Hierro. [En línea] 16 de 05 de 2014. [Citado el: 20 de 07 de 2014.]

[http://www.scribd.com/document\\_downloads/direct/51337595?extension=pdf&ft=1405822922](http://www.scribd.com/document_downloads/direct/51337595?extension=pdf&ft=1405822922).

**HOLMAN, J.P. 1996.** Tansferencia de calor. México : Septima Reimpresion, 1996. Pág. 17.

**LLUVIA DE IDEAS. 2014.** lluvia de ideas. es.wikipedia.org. [En línea] 23 de 09 de 2014. [Citado el: 23 de 09 de 2014.] [http://es.wikipedia.org/wiki/Lluvia\\_de\\_ideas](http://es.wikipedia.org/wiki/Lluvia_de_ideas).

**METALURGIA DE LA SOLDADURA.** Metalurgia de la soldadura. wordpress.com. [En línea] rvhiutjaa.files.wordpress.com/2013/07/metalurgia-de-la-soldadura.pptx.

**MIRANDA F. 2000.** La gestión del proceso de diseño y desarrollo de producto. [En línea] 07 de 2010. [Citado el: 30 de 04 de 2014.] <http://ciberconta.unizar.es/leccion/desapro/100.HTM>.

**NUEVOS PRODUCTOS. 2014.** Monografías.com. Creación y diseño de nuevos productos. [En línea] 27 de 02 de 2014. [Citado el: 30 de 04 de 2014.] <http://www.monografias.com/trabajos30/nuevos-productos/nuevos-productos.shtml>.

**PARITARIOS.** Equipos de Protección Personal. paritarios.cl. [En línea] [http://www.paritarios.cl/especial\\_epp.htm](http://www.paritarios.cl/especial_epp.htm).

**PASTOR, Mario. 2000.** Apuntes de Fundicion. Riobamba : s.n., 2000. Pag. 170.

—. 2000. Apuntes de Fundición. Riobamba : s.n., 2000. Pág. 15.

**QUEZADA, David y CALUÑA, Oscar. 2013.** “Construcción e Implementación de un Prototipo de una Máquina Centrifugadora para la Obtención de Cilindros Huecos sin Costura de Aluminio en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”. TESIS. Riobamba : Biblioteca de la Facultad de Mecánica, 2013.

**UTP.EDU. 2014.** Fundiciones de Hierro. utp.edu.co. [En línea] 11 de 07 de 2014. [Citado el: 20 de 07 de 2014.] <http://www.utp.edu.co/~publio17/fundiciones.htm>.

**vecindad grafica.** creación de ideas. [En línea] <http://blogvecindad.com/creacion-de-ideas/>.

**VILLARROEL, A. 2010.** Reductor de velocidad. [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 10 de Junio de 2014.] <http://adnervillarroel.files.wordpress.com/2010/07/reductores-de-velocidad.pdf>.

# **ANEXOS**