**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Construcción y Puesta en Marcha de Centrifugadora Vertical de Metales”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Carlos Armando Aranda Angamarca

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2010

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres, hermanos, esposa y a mis hijas por todo el apoyo y compresión que me brindaron durante toda mi carrera estudiantil.

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Ignacio Wiesner F. Director de tesis, por su invaluable ayuda.

**DEDICATORIA**

A mis padres

A mis hermanos

A mi esposa

A mis hijas

**TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Francisco Andrade S. Ing. Ignacio Wiesner F.

DECANO DE LA FIMCP DIRECTOR DE TESIS

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Eduardo Orcés P.

VOCAL

**DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Carlos Armando Aranda Angamarca.

**RESUMEN**

El objetivo principal de esta tesis es mejorar el proceso de fabricación que tiene la empresa Intramet. En la actualidad la empresa realiza su producción de manera artesanal, la nueva propuesta es pasar a un proceso de fabricación en serie, para lo cual es necesario contar con los equipos adecuados, un objetivo especifico de esta tesis es proveer a la empresa con una nueva máquina que mejore su proceso de fabricación y la calidad de sus productos. La máquina que se construyó es una centrifugadora vertical para fundición de metales.

Para la construcción de esta máquina fue necesario calcular y construir cada uno de los componentes principales, tales como: bastidor, eje, mesa giratoria, selección de motor y sistema de variador de frecuencia para controlar la velocidad de giro del motor de la máquina

Después de realizada la construcción, el montaje, las pruebas del sistema en vacio y con carga y sus respectivos correctivos fue necesario evaluar el producto obtenido para garantizar y certificar la calidad del mismo que para el caso se hizo en aleación de cobre con especificación SAE 64.

Una vez obtenido el producto por ensayos de centrifugación a varias velocidades se realizó la evaluación de la calidad por medio de los ensayos de tracción, dureza y microscópia.

**ÍNDICE GENERAL**

**Pág.**

RESUMEN….………………………………..……………………………….........IV

ÍNDICE GENERAL……………….…………………………..……………….......VI

ABREVIATURAS…………………..……………………………………………...VII

ÍNDICE DE FIGURAS ..………………………………………………………….VIII

ÍNDICE DE TABLAS………………………………..………………..……………XI

ÍNDICE DE PLANOS……………………………..………………..………. ……XII

INTRODUCCIÓN…………………………………….……………………………..1

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA…………………………………………… 4

* 1. Descripción de la planta, para producción no ferrosa …………… 6
  2. Fundición artesanal con moldes de arena, defectos frecuentes.. 11
  3. Producción centrifuga con moldes metálicos, diagrama de

producción en serie…………………………………………….…….. 16

* 1. Bocines centrifugados de alta resistencia…………………………. 30

CAPÍTULO 2

## 2. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA……………………………………………… 41

* 1. Capacidad de producción de partes en aleaciones de cobre….. 42
  2. Dimensionamiento de la máquina…..…………………………….. 51
  3. Cronograma de construcción del equipo…………………………. 53
  4. Cálculo y construcción de las partes estructurales…..……….…. 61
  5. Cálculo y construcción partes móviles: eje, mesa giratoria

y selección de rodamientos…………………………………….…… 74

* 1. Cálculo y adaptación del sistema de agua de enfriamiento……. 118
  2. Adaptación de motor de corriente continua y variador

de velocidad…………………………………………………………… 126

CAPÍTULO 3

3. PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE CENTRIFUGACIÓN

DE BOCINES DE BRONCE SAE 40…………………………………….. 131

3.1 Características de moldes metálicos para proceso de

fundición centrifugada……………………………………………….. 132

* 1. Pruebas en vacío del equipo, evaluación y correctivos…………. 136
  2. Control de propiedades por medio de: Ensayos de tracción,

ensayos de dureza y análisis microscópico………………………. 143

CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES …………………………… 158

* 1. Conclusiones...............………………………………………………. 158
  2. Recomendaciones…………………………………………………… 159

APÉNDICE

BIBLIOGRAFÍA

**ABREVIATURAS**

F Fuerza (N)

m Masa (Kg)

ω Velocidad rotacional (rad/sg)

r Radio interior del molde (m)

g Aceleración de la gravedad (m/sg2)

FG Relación de fuerza centrífuga dividida por el peso

D Diámetro interior del molde (m)

N Velocidad rotacional en (RPM).

l Longitud vertical de la fundición (m)

Rs Radio interno de la parte superior de la fundición (m)

Ri Radio interior en el fondo de la fundición (m).

Fp Fuerza aplicada al perno.

Ap Área en el fondo de la rosca del perno.

ρ Densidad.

V Volumen.

De Diámetro exterior.

Di Diámetro interior.

h Atura.

r Radio de la placa.

ro Radio de la zona central cargada.

t Espesor de la placa.

ω Carga uniforme por unidad de superficie.

μ Modulo de Poisson.

T Par de torsión resultante con respecto al centro de masa.

α Aceleración angular.

I Momento de inercia de masa con respecto a un eje que pasa por el centro de masa.

ωm Velocidad angular del motor.

Dpm Diámetro de la polea del motor.

ωe Velocidad angular del eje.

Dpe Diámetro de la polea del eje.

Nf Factor de seguridad a la fatiga.

Kf Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga debido a flexión.

M Momento.

Se Límite de resistencia a la fatiga corregida.

Kfsm Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga debido a torsión.

T Par de torsión.

Sy Límite de fluencia elástico.

P Presión (Pa).

ρ Densidad (Kg/m3).

g Aceleración de la gravedad (m/sg2).

h Altura del sistema (m).

M Masa de metal fundido (Kg)

Cp Poder calorífico del bronce ( W/m\*K)

Δt Diferencias de temperatura (K)

Rpm Revoluciones por minuto

ASM American Society for Materials

Min. Minutos

m Metros

m/s Metros por segundo

N Newton

Kg Kilogramos

m/s2 Metros por segundo al cuadrado.

ºC Grados centígrados

CO2 Dióxido de carbono.

UNS Unified National Standard.

BHN Brinell

gr/cm3 Gramos por centímetros cúbicos.

Sn Estaño

Cu Cobre

Pb Plomo

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**Pág.**

**Figura 1.1** Esquema áreas de trabajo de Intramet……………………… 10

**Figura 1.2** Esquema de molde listo para ser llenado…………………… 12

**Figura 1.3** Diagrama del proceso de fundición………………………….. 12

**Figura 1.4** Defectos más comunes en las fundiciones: (a) llenado

incompleto, (b) junta fría, (c) gránulos fríos. (d) cavidad por

contracción, (e) micro porosidad y (f) desgarramientos

calientes………………………………………………………… 18

**Figura 1.5** Esquema de la fundición centrífuga real horizontal……...… 18

**Figura 1.6** Esquema de la fundición centrífuga real vertical…………… 18

**Figura 1.7** Esquema de fundición semicentrífuga, (b) pieza fundida… 19

**Figura 1.8** Esquema de la fundición centrifugada (b) piezas fundidas 20

**Figura 1.9** Fundición centrifugada………………………………………… 21

**Figura 1.10** Perfil interior de una fundición centrifuga vertical de

forma parabólica………………………………………………… 25

**Figura 1.11** Diagrama de producción en serie para fundición centrifuga 29

**Figura 2.1** Etapas del proceso de fundición en arena…........................ 45

**Figura 2.2** Etapas del proceso de fundición centrifuga………………… 48

**Figura 2.3** Esquema de las dimensiones de la máquina….…………… 53

**Figura 2.4** Diagrama Gantt de la construcción de la máquina………… 55

**Figura 2.5** Construcción del bastidor de la máquina con anillos de refuerzo…………………………..……………………………… 63

**Figura 2.6** Esquema del sistema de contrapesa de la tapa……………. 65

**Figura 2.7** Sistema de bisagra de la máquina..…………………………. 66

**Figura 2.8** Base de chumacera modelada en inventor 2008………… 68

**Figura 2.9** Análisis de esfuerzos realizados en inventor 2008……… 68

**Figura 2.10** Estructura deformada realizada en inventor 2008……… 69

**Figura 2.11** Factores de seguridad calculados en inventor 2008……… 69

**Figura 2.12** Estructura para base de la chumacera………………….…. 70

**Figura 2.13** Chumacera utilizada para la máquina……………………..... 72

**Figura 2.14** Motor sujetado al bastidor…………………………………… 73

**Figura 2.15** Esquema de las dimensiones del bocín…………………… 75

**Figura 2.16** Reproducción de los diagramas de cálculo de espesor

de pared de molde de Nathan Janco 1988…..……………. 76

**Figura 2.17** Esquema de los componentes de un molde metálico para

fundición centrifuga…………………………………………… 77

**Figura 2.18** Esquema de las dimensiones del molde……………………... 77

**Figura 2.19** Molde con la fundición en su interior………………….… ..… 80

**Figura 2.20** Esquema del molde con la fundición en su interior……...….. 81

**Figura 2.21** Molde para la fundición de la mesa giratoria……………….... 85

**Figura 2.22** Mesa giratoria ya fundida y maquinada…………………….. 85

**Figura 2.23** Mesa giratoria modelada en inventor 2008………………… 86

**Figura 2.24** Análisis de esfuerzos realizados en inventor 2008………… 86

**Figura 2.25** Mesa deformada realizada en inventor 2008……………… 87

**Figura 2.26** Factores de seguridad calculados en inventor 2008……… 87

**Figura 2.27** Esquema del sistema rotatorio realizado en Autocad 3d…. 89

**Figura 2.28** Esquema del acople mesa – eje…………………………..... 90

**Figura 2.29** Ensamble sistema rotatorio realizado en inventor 2008…… 91

**Figura 2.20** Propiedades físicas del ensamble sistema rotatorio realizado

en inventor 2008……………………………………………… 92

**Figura 2.31** Esquema de las cargas aplicadas al eje………… ………. 95

**Figura 2.32** Esquema de la fuerza flexionante debido a las bandas… 98

**Figura 2.33** Esquema de las reacciones en el eje……………………… 99

**Figura 2.34** Esquema de resultados de las reacciones en el eje…… 100

**Figura 2.35** Diagrama de la fuerza cortante y el momento flexionante.. 100

**Figura 2.36** Eje con rodamientos y acople……………………………...…. 108

**Figura 2.37** Eje modelado en inventor 2008…………………………… 109

**Figura 2.38** Análisis de esfuerzos realizados en inventor 2008………… 109

**Figura 2.39** Eje deformado realizado en inventor 2008………………… 110

**Figura 2.40**  Factores de seguridad calculados en inventor 2008……… 110

**Figura 2.41** Molde donde se fundió el acople…………………………...… 111

**Figura 2.42** Esquema de las dimensiones del acople…………………… 112

**Figura 2.43** Diversas vista del acople realizadas en inventor 2008…….. 114

**Figura 2.44** Chumacera y rodamiento cónico…………………………….. 117

**Figura 2.45** Torre de enfriamiento………………………………………….. 120

**Figura 2.46** Sistema de radiadores ubicados en la parte superior de

la torre de enfriamiento…………………………...………….. 120

**Figura 2.47** Etapa de construcción anillo circular para enfriamiento….. 124

**Figura 2.48** Tubería de alimentación y drenaje de agua……....…………. 125

**Figura 2.49** Proceso de enfriamiento con el diseño propuesto………… 125

**Figura 2.50** Motor utilizado…………………………………………………. 126

**Figura 2.51** Partes constitutivas de un motor de corriente continúa...… 127

**Figura 2.52** Reóstato y rectificador industrial que se utilizó……………. 128

**Figura 2.53** Esquema eléctrico……………………………………………… 128

**Figura 2.54** Sistema del motor con reóstato y rectificar de voltaje……… 130

**Figura 3.1** Esquema de las partes de un molde para fundición

centrifuga………………...……………………………………… 135

**Figura 3.2** Diferentes formas de sujetar la tapa superior…………… 135

**Figura 3.3** Molde instalado en la mesa giratoria ………...…………… 136

**Figura 3.4** Mesa completamente mecanizada…………………………… 137

**Figura 3.5** Mesa puesta horizontalmente para proceso de

Balanceamiento……..………………………………………… 137

**Figura 3.6** Mesa ya balanceada…………………………………………… 138

**Figura 3.7** Esquema de la disposición de las escobillas y su

relación al sentido de rotación correcto…………………….. 139

**Figura 3.8** Posición vertical de trabajo para el motor…………………… 141

**Figura 3.9** Sistema de nivelación de la máquina con pernos………… 142

**Figura 3.10** Esquema de las dimensiones del molde que se empleo

en las pruebas………………………………………………….. 144

**Figura 3.11** Esquema de las dimensiones del bocín de prueba………… 144

**Figura 3.12** Molde y fundición de prueba en aluminio……………………. 145

**Figura 3.13** Diagrama de velocidades para fundición centrifuga……… 147

**Figura 3.14** Curvas de enfriamiento para fundición centrifuga ..…….…...148

**Figura 3.15** Desmontaje de la pieza fundida de aluminio ………………...150

**Figura 3.16** Esquema de las dimensiones de la probeta para ensayo de

tracción según la norma ASTM E8-08……………………….. 151

**Figura 3.17** Etapas para la elaboración de las probetas para ensayo de

tracción, dureza y metalografía en las pruebas de aluminio. 152

**Figura 3.18** Microestructura fundición de aluminio en arena....………… 154

**Figura 3.19** Microestructura fundición centrifuga de aluminio a

800 rpm …………………………………………………………. 154

**Figura 3.20** Microestructura fundición centrifuga de aluminio a

1000 rpm ……………………………………………………… 154

**Figura 3.21** Etapas para la elaboración de las probetas para ensayo de

tracción, dureza y metalografía en las pruebas de bronce . 155

**Figura 3.22** Microestructura fundición de bronce en arena………………. 157

**Figura 3.23** Microestructura fundición centrifuga de bronce a 800 rpm… 157

**Figura 3.24** Microestructura fundición centrifuga de bronce a 1000rpm 157

**ÍNDICE DE TABLAS**

Pág.

**Tabla 1** Características técnicas de los bronces…………………… 36

**Tabla 2** Características mecánicas y físicas de los bronces……… 37

**Tabla 3** Etapas y tiempos del proceso de fundición en arena por

gravedad……………………………………………………… 46

**Tabla 4** Etapas y tiempos del proceso de fundición centrifugada…. 49

**Tabla 5** Tareas que se ejecutaron para la construcción de la máquina…………………………………………………………. 54

**Tabla 6** Aceleraciones en la etapa de llenado y en la de centrifugado…..................................................................... 93

**Tabla 7** Valores calculados para las diferentes secciones del eje… 108

**Tabla 8** Aceros recomendados para moldes metálicos……………... 134

**Tabla 9** Pruebas en aluminio a diferentes factores de gravedad….. 146

**Tabla 10** Resultados del ensayo de tracción realizado en las pruebas

de aluminio……………………………………………………. 153

**Tabla 11** Resultados del ensayo de dureza realizadas en las pruebas

de aluminio………………………………………………………. 153

**Tabla 12** Resultados del ensayo de tracción realizado en las pruebas

de bronce…...………………………………………………… 156

**Tabla 13** Resultados del ensayo de dureza realizadas en las pruebas

de bronce………………………………………………………… 156

**ÍNDICE DE PLANOS**

**Plano 1** Bastidor.

**Plano 2** Tapa de maquina.

**Plano 3** Bastidor y tapa acoplados.

**Plano 4** Base de chumacera.

**Plano 5** Chumacera.

**Plano 6** Eje.

**Plano 7** Plato giratório.

**Plano 8** Acople eje – mesa.

**Plano 9** Recolector de água.

**Plano 10** Toberas| de enfriamiento.

**Plano 11** Perno de nivelacion.

**Plano 12** Molde metalico.

**Plano 13** Tapa de molde.

**Plano 14** Base de molde.

**Plano 15** Tobera de alimentación.

**Plano 16** Polea del eje.

**Plano 17** Polea motriz.

**Plano 18** Ensamble de máquina.

**Plano 19** Ensamble sistema rotatorio.

**Plano 20** Ensamble sistema rotatorio y base.

**Plano 21** Ensamble de molde.

**Plano 22** Ensamble de máquina y molde.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Rober L. Norton, Diseño de maquinas, Editorial Prentice Hall, Mexico 1999.
2. Robert L. Mott, Diseño de elementos de maquinas, Editorial Pearson educación, Mexico 2006
3. Shigley, Joseph e, Elementos de maquinaria: fundamentos de diseño de maquinas, Editorial Mc Graw Hill, 1995
4. Robert L. Norton, Diseño de Maquinaria, editorial Mc Graw Hill, México 2000
5. Ferdinand L. Singer / Andrew Pytel, Resistencia de materiales, Editorial Harla, Mexico 1982.
6. Egor P. Popov, Mecanica de Solidos, editorial Pearson Educacion, mexico 2000.
7. INVESTIGATION OF CENTRIFUGAL CASTING CONDITIONS INFLUENCE ON PART QUALITY, Department of marine and manufacturing Technology, national Technical university of Athens, Greece.
8. INFLUENCE OF THE ROTATIONAL SPEED IN CENTRIFUGAL CASTING, International conference on advanced materials and composities (ICAMC – 2007),Oct 24 – 26, 2007
9. Metal handbook, Ninth Edition, Tomos 2 y 15.
10. Fundición Centrifuga, UMSS – Facultad de Ciencias y tecnología, Capitulo II.
11. SAE HANDBOOK, Part 1, 1979.
12. CENTRIFUGAL CASTING, Janco, Nathan, Illinois, 1988
13. CURSO SUPERIOR DE RESISTENCIA DE MATERIALES , Seely y Smith, 1976