

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO,
PARA LA FABRICACIÓN DE BRIDAS DE ACERO INOXIDABLE
TIPO DESLIZABLE SEGÚN LAS NORMAS AWWA C207 DE
HASTA 20 KG DE CAPACIDAD PARA LA EMPRESA
FUNDIRECICLAR CÍA. LTDA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

OSCAR GIOVANNI LOACHAMIN QUINGA

oscargiova777@hotmail.com

CRISTIAN RODRIGO LUNA VACA

cristianlv69@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PATRICIO FLORES Msc.

pflores@epn.edu.ec

COLABORADOR: ING. ALCIVAR JARAMILLO MSc.

abaljar@hotmail.com

COLABORADOR: Dr. VÍCTOR MANUEL CÁRDENAS

victor.cardenas@epn.edu.ec

Quito, Octubre, 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Oscar Giovanni Loachamín Quinga y Cristian Rodrigo Luna Vaca, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Oscar Giovanni Loachamín Quinga

Cristian Rodrigo Luna Vaca

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Oscar Giovanni Loachamín Quinga y Cristian Rodrigo Luna Vaca, bajo mi supervisión.

Ing. Patricio Flores Msc.

Ing. Alcivar Jaramillo MSc.

Dr. Víctor Cárdenas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por haberme dado el apoyo necesario e incondicional en todo momento de mi vida.

A mis hermanas y sobrinas que son la luz de mis ojos y toda la fuente de mi alegría.

Al Ing. Patricio Flores, por su acertada dirección en este proyecto.

Al Ing. Alcivar Jaramillo, por colaboración y guía en la duración de este proyecto.

Al Dr. Víctor Cárdenas, por colaboración y guía en la duración de este proyecto.

A mi compañero de tesis, Giovanni Loachamín por su amistad y por el trabajo conjunto que realizamos en la tesis.

Cristian Rodrigo Luna Vaca

Agradezco a Dios por haberme dado la vida sin la cual no hubiera sido posible desarrollar este proyecto, a mi padre Víctor Loachamín y mi madre Yolanda Quinga, quienes me apoyan cada día de mi vida, a mis hermanos y hermanas que me han dado su apoyo.

Al ingeniero Patricio Flores, por la guía en este proyecto, a los ingenieros Alcivar Jaramillo y Dr. Víctor Cárdenas, por su apoyo.

A los ingenieros Jaime Chávez, y Fernando Chávez, que han servido de guía e inspiración en mi vida profesional.

A mi compañero Cristian Luna por el apoyo durante toda la carrera, y el trabajo conjunto en este proyecto.

A mis compañeras y compañeros de trabajo, por el apoyo mientras desarrollaba este proyecto.

Oscar Giovanni Loachamín Quinga

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación va dedicado a Mi Abuelo Enrique Luna, pilar fundamental de mi desarrollo, un gran ejemplo y amigo incondicional.

Cristian Rodrigo Luna Vaca

Este proyecto está dedicado a mi padre Víctor Loachamín y mi madre Yolanda Quinga, quienes han sido mi mejor ejemplo en la vida, y nunca dejaron de creen en mi.

Oscar Giovanni Loachamín Quinga

CONTENIDO

1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1	DEFECTOS ENCONTRADOS EN BRIDAS DE ACERO INOXIDABLE PRODUCIDAS EN FUNDIRECICLAR	3
1.2.1.1	Cavidad por contracción	3
1.2.1.2	Microporosidad	4
1.2.2	CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LAS BRIDAS	5
1.2.2.1	Cavidad por contracción	5
1.2.2.2	Microporosidades.	5
1.3	OBJETIVOS	5
1.3.1	OBJETIVO GENERAL:	5
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	5
1.4	JUSTIFICACIÓN	6
2	MARCO TEÓRICO	10
2.1	ACERO INOXIDABLE AISI 304	10
2.1.1	CARACTERÍSTICAS	11
2.1.1.1	Maquinabilidad:	11
2.1.1.2	Soldabilidad:	11
2.1.2	APLICACIONES	12
2.1.2.1	Equipos para industrias químicas y petroquímicas, agro-alimentarias y farmacéuticas.	12
2.1.2.2	Tubos para el transporte de fluidos, decoración y aplicaciones estructurales.	12
2.1.3	TRATAMIENTO TÉRMICO.	13
2.1.4	PROPIEDADES MECÁNICAS	13

2.2 PROCESO DE FUSIÓN.....	14
2.2.1 HORNO DE INDUCCION DE CRISOL.....	15
2.2.2 FABRICACIÓN DE ALEACIONES:	17
2.3 FUNDICION CENTRIFUGA.....	18
2.3.1 PROCESOS DE COLADO CENTRÍFUGO.....	19
2.3.1.1 Fundición centrífuga real	19
2.3.1.2 Fundición Semicentrífuga	20
2.3.1.3 Fundición centrifugada	20
2.3.2 FUNDICION CENTRÍFUGA HORIZONTAL	20
2.3.2.1 Equipo:	21
2.3.2.2 Moldes	22
2.3.2.3 Temperatura de Colada.....	23
2.3.2.4 Temperatura del molde.....	24
2.3.2.5 Velocidad de rotación.....	24
2.3.2.6 Solidificación.....	25
2.3.2.7 Aspectos metalúrgicos de la solidificación.....	27
2.3.2.8 Ventajas del proceso.....	28
2.3.2.9 Materiales.....	29
2.3.2.10 Aplicaciones.....	30
2.3.2.11 Otras aplicaciones.....	31
2.3.3 FUNDICIÓN CENTRÍFUGA VERTICAL.....	32
2.3.3.1 Practica de Alimentación.....	32
2.3.3.2 Moldes de arena.....	34
2.3.3.3 Moldes de arena verde.....	34
2.3.3.4 Moldes de arena seca.....	35
2.3.3.5 Costos de moldeo.....	35
2.3.3.6 Otras consideraciones del moldeo en arena.....	36

2.3.3.7 Moldes permanentes.....	37
2.3.3.8 Espesor de la pared del molde.....	41
2.3.3.9 Espesor de la placa de extremo.....	41
2.3.3.10 Diseño del cierre de la placa de extremo.....	42
2.3.3.11 Diseño de la cuña y el pin de la placa de extremo.....	43
2.3.3.12 Platos adaptables para molde.....	43
2.3.3.13 Tratamiento previo para moldes de metal.....	44
2.3.3.14 Lavado del molde para moldes permanentes.....	45
2.3.3.15 Detalles del proceso.....	46
2.3.3.16 Equipo.....	51
3 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA.....	53
3.1 MODELO DE DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN.....	53
3.1.1 CONCEPTO.....	54
3.1.2 FECHA.....	55
3.1.3 PROPONE.....	55
3.1.4 TIPO.....	55
3.1.5 DESCRIPCIÓN.....	55
3.2 CASA DE LA CALIDAD.....	57
3.2.1 PASO 1. (Voz del usuario).....	57
3.2.2 PASO 2. (Análisis de la competencia).....	59
3.2.3 PASO 3. (La voz del Ingeniero).....	61
3.2.4 PASO 4. (Correlaciones).....	63
3.2.5 PASO 5. (Evaluación técnica).....	64
3.2.6 PASO 6. (Compromisos técnicos).....	64
4 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.....	65
4.1 ALTERNATIVA 1.....	65
4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA.....	65

4.1.2	FUNCIONAMIENTO.....	68
4.2	ALTERNATIVA 2	69
4.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA.....	69
4.2.2	FUNCIONAMIENTO.....	70
4.3	ALTERNATIVA 3	73
4.3.1	DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA.....	73
4.3.2	FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	74
5	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	75
5.1	EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	75
5.1.1	MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.....	75
5.1.1.1	Evaluación del peso específico de cada criterio	76
5.1.1.2	Evaluación del peso específico del criterio Seguridad Industrial.	76
5.1.1.3	Evaluación del peso específico del criterio Sistema de colado.....	77
5.1.1.4	Evaluación del peso específico del criterio Precio.....	77
5.1.1.5	Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.....	78
5.1.1.6	Evaluación del peso específico del criterio Facilidad de operación.	78
5.1.1.7	Evaluación del peso específico del criterio Dimensiones generales....	79
5.1.2	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	79
6	DISEÑO DEL EQUIPO	80
6.1	DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA COQUILLA.....	80
6.1.1	Piezas a fabricarse.	80
6.1.1.1	Piezas a obtenerse por colado por centrifugado.	81
6.1.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA COQUILLA.....	84
6.2	DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLATO SOPORTE.....	86
6.2.1	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DEL PLATO SOPORTE.....	87
6.2.1.1	Pre-procesamiento.	87
6.2.1.2	Solución del análisis. Solucionar el modelo de elementos finitos	90

6.2.1.3 Post-procesamiento de resultados usando herramientas de visualización	91
6.3 DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE CENTRIFUGADO.....	93
6.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	95
6.4.1 Sistema de poleas para transmisión del movimiento.....	95
6.4.1.1 Potencia requerida en la máquina conducida.....	95
6.4.1.2 Potencia del motor.....	98
6.4.1.3 Tipo de máquina motriz y máquina conducida.	99
6.4.1.4 Selección del tipo de banda.....	102
6.4.1.5 Fuerzas generadas en el sistema.....	104
6.4.2 DISEÑO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN.	107
6.4.2.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector.	109
6.4.2.2 Diagrama de momento torsor.	112
6.4.2.3 Determinación del punto crítico.	113
6.4.2.4 Diseño estático del árbol de transmisión.	115
6.4.2.5 Diseño dinámico del árbol de transmisión.	118
6.4.3 SELECCIÓN DE PERNOS PARA EL ACOPLÉ PLATO, BRIDA EJE.127	
6.4.3.1 Diseño estático de los pernos:.....	128
6.4.3.2 Determinación del factor dinámico.....	132
6.4.4 DISEÑO DE LAS CHAVETAS.....	133
6.4.4.1 1ra Teoría corte	134
6.4.4.2 2da Teoría aplastamiento	134
6.4.5 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL EJE.....	135
6.4.5.1 Cálculo de la vida de los rodamientos.	136
6.4.5.2 Selección rodamiento de bolas para el punto B.	138
6.4.5.3 Selección del rodamiento de rodillos cónico para el punto D.	139
6.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	141

6.5.1	DISEÑO DE LA VIGA.....	141
6.6	CONTROL DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR.....	147
6.6.1	VARIADOR DE FRECUENCIA.....	147
6.6.1.1	Selección del Variador de Frecuencia	147
6.6.2	DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	148
6.6.2.1	Elementos.....	148
6.6.2.2	Esquema	148
6.6.2.3	Simulaciones.	149
6.7	CALCULO DEL TIEMPO DE CENTRIFUGADO Y DESMOLDEO.....	153
6.8	TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA COQUILLA.....	158
7	ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO VERTICAL DE BRIDAS EN ACERO INOXIDABLE.....	162
7.1	TARIFA DE MAQUINARIA INSTALADA EN FUNDIRECICLAR.....	162
7.2	TARIFA DE MANO DE OBRA EN FUNDIRECICLAR.....	163
7.3	COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO.....	164
7.3.1	ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO.....	164
7.3.1.1	Eje.....	165
7.3.1.2	Plato soporte de coquillas.....	166
7.3.1.3	Brida de acople plato eje	167
7.3.1.4	Estructura soporte de la máquina.....	168
7.3.1.5	Estructura contenedor de coquilla.	169
7.3.1.6	Embudo	170
7.3.1.7	Soporte de contenedor y embudo.	171
7.3.2	ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS DE HERRAMENTAL PARA PRDUCCIÓN DE LAS BRIDAS.....	172

7.3.2.1	Base coquilla para brida de 6 plg.....	172
7.3.2.2	Tapa coquilla para brida de 6 plg.....	173
7.3.2.3	Base coquilla para brida de 8 plg.....	174
7.3.2.4	Tapa coquilla para brida de 8 plg.....	175
7.3.2.5	Base coquilla para brida de 10 plg.....	176
7.3.2.6	Tapa coquilla para brida de 10 plg.....	177
7.3.2.7	Base coquilla para brida de 12 plg.....	178
7.3.2.8	Tapa coquilla para brida de 12 plg.....	179
7.3.3	COSTO DE CONTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	180
7.3.4	COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BRIDAS.....	182
7.3.4.1	Costos de producción brida de 6 plg.....	182
7.3.4.2	Costos de producción brida de 8 plg.....	183
7.3.4.3	Costos de producción brida de 10 plg.....	184
7.3.4.4	Costos de producción brida de 12 plg.....	185
7.3.5	PRODUCCIÓN DE BRIDAS DE COLADO POR CENTRIFUGADO.....	186
8	PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCION DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO VERTICAL DE BRIDAS EN ACERO INOXIDABLE.....	188
8.1	CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	188
8.1.1	TAREAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	189
8.1.1.1	Diseño de la máquina.....	189
8.1.1.2	Planeación de la construcción de la máquina.....	189
8.1.1.3	Adquisición de Materia prima, y partes complementaria.....	189
8.1.1.4	Fabricación de Piezas.....	190
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	202
9.1	CONCLUSIONES.....	202
9.2	RECOMENDACIONES.....	203

10. BIBLIOGRAFIA..... 204

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1 *Cavidad por contracción encontrada en una brida de 6 Plg.....4*

Figura 1.2 *Micro porosidad encontrada en una brida de 6 Plg.....4*

CAPITULO II

Figura 2.1 *Esquema elemental de un horno de Inducción.....16*

Figura 2.2 *Esquema de un diseño común para una máquina de fundición centrifuga horizontal.....21*

Figura 2.3 *Típico ciclo de rotación en colado por centrifugación horizontal.23*

Figura 2.4 *Efecto del espesor del recubrimiento del molde (a) y la temperatura del metal fundido (b) en la solidificación de la fundición centrifuga horizontal. Los numero 1 y 2 indican las curvas de líquidos y sólidos respectivamente.....26*

Figura 2.5 *Tres tipos de estructuras en fundición bruta, vistas en aleaciones ferrosas centrifugadas. (a) Superficie columnar fina, muy delgada. (b) Estructuras bien orientadas adyacentes a la superficie. (c) Estructuras equiaxiales medianamente finas.....27*

Figura 2.6 *Tres aplicaciones para partes fundidas por centrifugado en la industria del hierro y el acero. (a) Rodillo para colada continua, (b) bobina de carrete, (c) rodillos de un horno de recocido.....30*

Figura 2.7 *Aplicaciones de las piezas fundidas por centrifugado en la industria petrolera de altamar.....31*

Figura 2.8 *Variadas aplicaciones para piezas fabricadas por centrifugado. (a) Cilindros hidráulicos, (b) rodillo de vidrio flotado, (c) columnas exteriores de museo Beaubour, Paris.....32*

Figura 2.9 *Relación entre velocidad perimetral en fundición centrifuga y mazarota equivalente.....33*

Figura 2.10	<i>Seis diseños de la placa de extremo usado en fundición centrífuga a) a través de b) son los más comunes.....</i>	38
Figura 2.11	<i>El espesor de la pared del molde es una función del diámetro interior del molde. Los valores son recomendaciones de un constructor de moldes de.....</i>	41
Figura 2.12	<i>Mesa adaptable para montaje de moldes en la máquina de centrifugado vertical. Los rangos dimensionales se dan en milímetros.....</i>	44
Figura 2.13	<i>Gráfico para determinar la velocidad del molde basado en el diámetro interior de la fundición y la fuerza centrífuga requerida.....</i>	48
Figura 2.14	<i>Diseño típico del pico vertedor (a) pico vertedor posicionamiento del pico vertedor durante la colada (b).....</i>	50
Figura 2.15	<i>Montaje de pinzas de elevadoras para extracción de piezas por fundición centrífuga.....</i>	51
Figura 2.16	<i>Instalación típica de una máquina de colado centrífuga vertical. El equipo se controla desde un mando a distancia consola (no mostrado).....</i>	52

CAPITULO 4

Figura 4.1	<i>Alternativa 1, diseño propio.....</i>	61
Figura 4.2	<i>Alternativa 1, vista lateral.....</i>	66
Figura 4.3	<i>Coquilla y sistema de sujeción, Alternativa 1.....</i>	67
Figura 4.4.	<i>Alternativa 1 contenedor cerrado.....</i>	67
Figura 4.5	<i>Alternativa 1 contenedor cerrado y embudo en posición de colado.....</i>	68
Figura 4.6	<i>Alternativa 2, diseño propio.....</i>	69
Figura 4.7	<i>Alternativa 2, vista de sistema de transmisión.....</i>	70

Figura 4.8 *Alternativa 2 con la tapa abierta*.....72

Figura 4.9 *Alternativa 2 con tapa cerrada lista para iniciar el proceso*.....72

Figura 4.10 *Alternativa 3, diseño propio*.....73

CAPITULO 6

Figura 6.1 *Brida tipo deslizable según norma AWWA C207*.....80

Figura 6.2 *Detalle de Bridas tipo deslizable según norma AWWA C207*.....81

Figura 6.3 *Pieza a obtenerse mediante colado por centrifugado*.....82

Figura 6.4 *Dimensiones de las piezas a obtenerse mediante colado por centrifugado*.....83

Figura 6.5 *Dimensiones de las coquillas para obtener las piezas de colado por centrifugado*.....85

Figura 6.6 *Dimensiones generales del plato soporte de la coquilla*.....87

Figura 6.7 *Plato soporte de la coquilla, modelado en Inventor 2011*.....88

Figura 6.8 *Fuerza de -2175,600 N aplica en el eje x que representa el peso de la coquilla y la tapa de la brida de 12 plg*.....90

Figura 6.9 *Fuerza de la gravedad sobre el plato*.....91

Figura 6.10 *Sección fija donde se apoyara el plato al unirse con la brida*.....91

Figura 6.11 *Factor de seguridad en el plato con las dimensiones y cargas aplicadas*.....92

Figura 6.12 *Selección del perfil de la correa*.....102

Figura 6.13 *Esquema de fuerzas en un sistema de poleas y bandas*.....105

Figura 6.14 *Esquema simplificado de la máquina*.....107

Figura 6.15 *Diagrama de cuerpo libre del eje*.....108

Figura 6.16 *Diagrama de esfuerzo cortante*.....111

Figura 6.17	<i>Diagrama de momento flector.....</i>	112
Figura 6.18	<i>Diagrama de Momento Torsor.....</i>	112
Figura 6.19	<i>Corte p-q en C. Determinación del punto crítico.....</i>	113
Figura 6.20	<i>Esfuerzos en diferentes elementos de la sección crítica.....</i>	114
Figura 6.21	<i>Diseño estático del árbol de transmisión.....</i>	115
Figura 6.22	<i>Teoría de energía de distorsión.....</i>	117
Figura 6.23	<i>Diseño dinámico del árbol de transmisión.....</i>	118
Figura 6.24	<i>Diagrama de Fatiga. Línea de Soderberg.....</i>	121
Figura 6.25	<i>Factores de modificación de acabado superficial para el acero.....</i>	122
Figura 6.26	<i>Factor K_t para flexión.....</i>	124
Figura 6.27	<i>Factor K_{ts} para flexión.....</i>	124
Figura 6.28	<i>Diagrama de sensibilidad a las ranuras para aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a cargas flexionantes o axiales invertidas.....</i>	125
Figura 6.29	<i>Diagrama de sensibilidad a las ranuras para materiales en torsión invertida alternativamente.....</i>	125
Figura 6.30	<i>Sistema de acople brida plato.....</i>	128
Figura 6.31	<i>Tensión Simple.....</i>	128
Figura 6.32	<i>Diagrama de fuerzas sobre la chaveta.....</i>	134
Figura 6.33	<i>Diagrama del sistema de movimiento de la máquina de colado por centrifugado.....</i>	135
Figura 6.34	<i>Fuerza aplicada en la viga.....</i>	136
Figura 6.35	<i>Diagrama del cuerpo libre de la viga.....</i>	141
Figura 6.36	<i>Fuerzas aplicadas en la viga.....</i>	142
Figura 6.37	<i>Diagrama de cuerpo libre de la viga.....</i>	143

Figura 6.38	<i>Diagrama de fuerza cortante de la viga.....</i>	145
Figura 6.39	<i>Diagrama de momento de la viga.....</i>	145
Figura 6.40	<i>Circuito de control con lógica de contactos.....</i>	145
Figura 6.41	<i>Secuencia de inicio del variador.....</i>	148
Figura 6.42	<i>Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación a la primera velocidad.....</i>	149
Figura 6.43	<i>Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación de la segunda velocidad.....</i>	150
Figura 6.44	<i>Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación de la tercera velocidad.....</i>	151
Figura 6.45	<i>Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación de velocidades.....</i>	152
Figura 6.46	<i>Pantalla principal Novacast Foundry Tech III.....</i>	153
Figura 6.47	<i>Selección aproximada de la forma de la pieza en bruto.....</i>	154
Figura 6.48	<i>Selección del material de la pieza a fundirse.....</i>	155
Figura 6.49	<i>Ingreso de datos de forma de la pieza.....</i>	155
Figura 6.50	<i>Resultado del tiempo de centrifugado y desmoldeo de las piezas.....</i>	156

INDICE DE TABLAS.

CAPITULO 1

Tabla 1.1	<i>Dimensiones y cantidades de bridas tipo deslizables (slip-on) en acero inoxidable solicitadas por INPAC, el 23 de septiembre de 2008.....</i>	<i>7</i>
------------------	--	----------

CAPITULO 2

Tabla 2.1	<i>Composición química del AISI 304.....</i>	<i>10</i>
Tabla 2.2	<i>Tratamientos Térmicos recomendados.....</i>	<i>13</i>
Tabla 2.3	<i>Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304.....</i>	<i>13</i>
Tabla 2.4	<i>Comparación del rendimiento de fundición para fundiciones estáticas y centrifugadas.....</i>	<i>36</i>
Tabla 2.5	<i>Tolerancias mínimas de mecanizado para diseño de moldes de fundición centrífuga.....</i>	<i>39</i>
Tabla 2.6	<i>Guía de tolerancia de contracción para varios metales y aleaciones.....</i>	<i>40</i>
Tabla 2.7	<i>Carga de seguridad.....</i>	<i>43</i>

CAPITULO 3

Tabla 3.1	<i>Lista de referencia de especificaciones.....</i>	<i>54</i>
Tabla 3.2	<i>Especificaciones para el diseño de una Máquina vertical de colado por centrifugado para la producción de bridas en acero inoxidable.....</i>	<i>56</i>
Tabla 3.3	<i>Voz del usuario.....</i>	<i>58</i>
Tabla 3.4	<i>Formato de evaluación de la satisfacción de las necesidades del cliente en relación a la propia empresa y a la competencia.....</i>	<i>60</i>
Tabla 3.5	<i>Evaluación de la satisfacción de las características técnicas en relación a la propia empresa y a la competencia.....</i>	<i>62</i>

CAPITULO 5

Tabla 5.1	<i>Evaluación del peso específico de cada criterio.....</i>	<i>76</i>
Tabla 5.2	<i>Evaluación del peso específico del criterio Seguridad Industrial.....</i>	<i>76</i>
Tabla 5.3	<i>Evaluación del peso específico del criterio Sistema de colado....</i>	<i>77</i>
Tabla 5.4	<i>Evaluación del peso específico del criterio Precio.....</i>	<i>77</i>
Tabla 5.5	<i>Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.....</i>	<i>78</i>
Tabla 5.6	<i>Evaluación del peso específico del criterio Facilidad de operación.....</i>	<i>78</i>
Tabla 5.7	<i>Evaluación del peso específico del criterio Dimensiones generales.....</i>	<i>79</i>
Tabla 5.8	<i>Resultados y conclusiones.....</i>	<i>79</i>

CAPITULO 6

Tabla 6.1	<i>Dimensiones de las bridas en pulgadas según norma AWWA C507.....</i>	<i>81</i>
Tabla 6.2	<i>Dimensiones de las piezas a fabricarse por centrifugado, todas las medidas están en mm.....</i>	<i>83</i>
Tabla 6.3	<i>Dimensiones de las coquillas.....</i>	<i>85</i>
Tabla 6.4	<i>Propiedades físicas del material.....</i>	<i>89</i>
Tabla 6.5	<i>Objetivo general y opciones.....</i>	<i>89</i>
Tabla 6.6	<i>Opciones avanzadas del software.....</i>	<i>89</i>
Tabla 6.7	<i>Propiedades del material.....</i>	<i>89</i>

Tabla 6.8	<i>Resultados del análisis por elementos finitos.....</i>	<i>92</i>
Tabla 6.9	<i>Resultados de las velocidades de centrifugado en función del diámetro interior de la fundición y la fuerza de la gravedad.....</i>	<i>95</i>
Tabla 6.10	<i>Tiempo de llegada a la velocidad angular nominal.....</i>	<i>96</i>
Tabla 6.11	<i>Momento de inercia de las bridas a producirse.....</i>	<i>97</i>
Tabla 6.12	<i>Determinación del Torque para diferentes velocidades angulares.....</i>	<i>99</i>
Tabla 6.13	<i>Factores para máquinas conducidas.....</i>	<i>100</i>
Tabla 6.14	<i>Resumen de datos del sistema de transmisión.....</i>	<i>104</i>
Tabla 6.15	<i>Valores del diámetro del eje tomando en cuenta los esfuerzos principales para diferentes aceros.....</i>	<i>116</i>
Tabla 6.16	<i>Factor de seguridad estático para diferentes aceros.....</i>	<i>118</i>
Tabla 6.17	<i>Factor de confiabilidad.....</i>	<i>123</i>
Tabla 6.18	<i>Resultados de S_e para diseño dinámico del árbol de transmisión.....</i>	<i>126</i>
Tabla 6.19	<i>Factores que modifican S_e de diseño dinámico del árbol de transmisión.....</i>	<i>126</i>
Tabla 6.20	<i>Valores de S_e, para el diseño dinámico del árbol de transmisión.....</i>	<i>126</i>
Tabla 6.21	<i>Factor de seguridad dinámico del árbol de transmisión, para diferentes aceros.....</i>	<i>127</i>
Tabla 6.22	<i>Longitudes de chaveta en función de la velocidad de rotación.....</i>	<i>135</i>

Tabla 6.23	<i>Horas de servicio para diferentes tipos de máquinas.....</i>	137
Tabla 6.24	<i>Dimensiones de los rodamientos para el eje.....</i>	141
Tabla 6.25	<i>Características del motor a usar.....</i>	147
Tabla 6.26	<i>Datos de diseño de las bridas en bruto.....</i>	156
Tabla 6.27	<i>Tiempo de solidificación y desmoldeo para bridas centrifugadas.....</i>	157

CAPITULO 7

Tabla 7.1	<i>Tarifa de máquina en Fundireciclar por sistemas y procesos....</i>	162
Tabla 7.2	<i>Tarifa de mano de obra en Fundireciclar por proceso.....</i>	163
Tabla 7.3	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de eje.....</i>	165
Tabla 7.4	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de plato soporte coquillas.....</i>	166
Tabla 7.5	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de brida de acople plato eje.....</i>	167
Tabla 7.6	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de estructura soporte.....</i>	168
Tabla 7.7	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de contenedor de coquilla.....</i>	169
Tabla 7.8	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de embudo de colado.....</i>	170
Tabla 7.9	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de soporte contenedor de coquilla.....</i>	171
Tabla 7.10	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 6 plg.....</i>	172

Tabla 7.11	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 6 plg.....</i>	173
Tabla 7.12	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 8 plg.....</i>	174
Tabla 7.13	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 8 plg.....</i>	175
Tabla 7.14	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 10 plg.....</i>	176
Tabla 7.15	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 10 plg.....</i>	177
Tabla 7.16	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 12 plg.....</i>	178
Tabla 7.17	<i>Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 12 plg.....</i>	179
Tabla 7.18	<i>Costos de fabricación de la máquina de colado por centrifugado.....</i>	180
Tabla 7.19	<i>Costos de la máquina de colado por centrifugado.....</i>	181
Tabla 7.20	<i>Costos de fabricación de la brida de 6 plg.....</i>	182
Tabla 7.21	<i>Costos de fabricación de la brida de 8 plg.....</i>	183
Tabla 7.22	<i>Costos de fabricación de la brida de 8 plg.....</i>	184
Tabla 7.23	<i>Costos de fabricación de la brida de 10 plg.....</i>	185
Tabla 7.24	<i>Proyecciones anuales de producción de bridas.....</i>	186
Tabla 7.25	<i>Proyecciones con una utilidad del 27%.....</i>	186
Tabla 7.26	<i>Producción de bridas en un año.....</i>	187

CAPITULO 8

Tabla 8.1	<i>Planificación construcción de la máquina de colado por centrifugado.....</i>	188
Tabla 8.2	<i>Adquisición de materiales.....</i>	190
Tabla 8.3	<i>Fabricación del eje.....</i>	191
Tabla 8.4	<i>Fabricación del plato.....</i>	192
Tabla 8.5	<i>Fabricación de la brida.....</i>	193
Tabla 8.6	<i>Fabricación de la embudo.....</i>	194
Tabla 8.7	<i>Fabricación soporte de contenedor.....</i>	195
Tabla 8.8	<i>Fabricación de la estructura.....</i>	196
Tabla 8.9	<i>Fabricación de la estructura del contenedor.....</i>	197
Tabla 8.10	<i>Fabricación de las bases de las coquillas.....</i>	198
Tabla 8.11	<i>Fabricación de las tapas de las coquillas.....</i>	199
Tabla 8.12	<i>Tiempo de construcción de las piezas mecánicas.....</i>	200
Tabla 8.13	<i>Proceso de Ensamblaje de la máquina.....</i>	201

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A. NORMA AWWA C207
- ANEXO B. FICHAS TECNICAS DEL HORNO DE INDUCCION Y DEL PACER II
- ANEXO C. BITACORA DEL HORNO DE INDUCCION DE UNA COLADA DE 304
- ANEXO D. ENCUESTA DE LA VOZ DEL USUARIO
- ANEXO E. CENTRIFUGAL CASTING MACHINES MODELO VP-500
- ANEXO F. GIBSON CENTRI TECH LIMITED MODELO UGV1 SP
- ANEXO G. FORMATO DE EVALUACION DE LA SATISFACCION DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE EN RELACION A LA PROPIA EMPRESA Y A LA COMPETENCIA.
- ANEXO H. CASA DE LA CALIDAD
- ANEXO I. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MOTOR
- ANEXO J. TABLA DE LONGITUD DE CORREAS
- ANEXO K. TABLA DE SELECCIÓN DE POLEAS
- ANEXO L. CATALOGO DE PERNOS MILIMETRICOS
- ANEXO M. VARIADOR DE FRECUENCIA
- ANEXO N. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.
- ANEXO O. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES

SIMBOLOGÍA

CAPITULO II

C: Carbono

Mn: Manganeso

P: Fosforo

S: Azufre

Si: Silicio

Cr: Cromo

Ni: Níquel

L: Longitud de la espiral de fluido del metal

ΔT : Grado de sobrecalentamiento de la colada

g: Fuerza de gravedad

n_r : Velocidad de rotación de la fundición

r_1 : Radio interior en la parte superior de la fundición

r_2 : Radio interior en la parte inferior de la fundición

h: altura de la fundición

D: diámetro interior de la fundición

CAPITULO 3

I_d : Factores de incidencia,

S_{at} : Valor de la ponderación

CAPITULO 6

D_b : Diametro exterior de las bridas

d_b : Diametro interior de las bridas

c_b : Diametro de la sección circular interna de las bridas

b_b : Distancia de los agujeros de las bridas hasta el centro de las mismas

a_b : Diámetro de los agujeros de las bridas

e_b : Espesor de las bridas

f_b : Espesor de la sección interna circular de las bridas

A_b : Diametro interno de las bridas a obtenerse por centrifugado

B_b : Diametro exterior de las bridas a obtenerse por centrifugado

C_b : Espesor de las bridas a obtenerse por centrifugado

D_c : Diametro exterior de las coquillas

d_c : Diametro interior de las coquillas

E_c : Espesor de las coquillas

D_t : Espesor de la tapa de las coquillas

ρ : Densidad

E: Modulo de Young

γ : Grado de Poisson

Kw: Kilovatios

rpm: revoluciones por minuto

N: Newtons

T Torque mínimo necesario que debe generarse para provocar la rotación del molde a la velocidad angular solicitada.

I : Momento de inercia del molde y su sistema de sujeción.

α : Aceleración angular del molde.

ω : Velocidad angular a la que gira el molde permanente.

t : Tiempo que tarda el eje en llegar a la velocidad deseada.

I : Momento de inercia

m_i : Masa de las partículas individuales de un objeto

r_i : Distancia desde el eje de un objeto hasta cada una de las partículas de un objeto

d_m : Diferencial de masa

d_v : Diferencial de volumen

Pot: Potencia

n_{rpm} : Velocidad de rotación del plato, en rpm.

Hp: Caballos de fuerza

C_1 : Factor de servicio para una máquina conducida

Ps: Potencia activa de salida del motor

f: Frecuencia

d_p : Diámetro primitivo interior

D_p : Diámetro primitivo exterior

L_c : Longitud de la correa

C: Distancia relativa entre ejes

F_N : Fuerza impulsora neta de la correa

F_1 : Fuerza en el lado tenso de la correa

F_2 : Fuerza en el lado flojo de la correa

F_B : Fuerza de flexión de la correa

F_c : Fuerza centrípeta

L_1 : Longitud del eje, desde el plato hasta el perfil rectangular del marco de la máquina

L_2 : Longitud del eje desde el perfil rectangular del marco de la máquina hasta la polea

L_3 : Longitud del eje desde la polea hasta su base.

ΣF_y : Sumatoria de fuerzas en el eje y.

W: Peso del conjunto de la coquilla material de fusión y plato giratorio

R_{Dy} : Reacción en el punto D en el sentido del eje y

R_{Dx} : Reacción en el punto D en el sentido del eje x

R_{Bx} : Reacción en el punto B en el sentido del eje x

ΣM_{zB} : Sumatoria de momentos en el punto B, en la dirección del eje z.

M: Momento flector

V: Fuerza cortante

ΣF_V : Sumatoria de fuerzas cortantes

σ_x : Esfuerzo de compresión o tensión en el sentido del eje x

σ_{AB} : Esfuerzos principales

τ_{xy} : Esfuerzo cortante en el plano xy

J: Momento polar de inercia

d: Diámetro de la sección del eje

d_1 : Distancia desde eje centroidal de la sección del eje hasta el centro de la sección del chavetero

Mpa: Mega Pascales

S_y : Resistencia a la fluencia

S_{sy} : Resistencia de fluencia al cortante

S_{ut} : Última resistencia a la tracción

A_1 : Área de la sección del chavetero

S_{yt} : Resistencia a la fluencia en tensión

S_{yc} : Resistencia a la fluencia en compresión

S_A : Amplitud de resistencia a la fatiga

S_m : Resistencia media a la fatiga

n_d : Factor de seguridad para el diseño

σ_a : Esfuerzo alternante.

σ_m , Esfuerzo medio.

σ'_a : Esfuerzos de Von Misses

σ'_m : Esfuerzos de Von Misses

S_e : Limite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

K_a : Factor de superficie

K_b : Factor de tamaño

K_c : Factor de confiabilidad

K_d : Factor de modificación por concentración de esfuerzos

K_e : *Factor de concentración de esfuerzos*

K_f : *Factor de efectos diversos*

S'_e : Limite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

k_b : Constante de rigidez del perno

l : Longitud de agarre del perno

k_m : Constante de rigidez de los elementos (kgf/m)

F_p : Carga de prueba (kgf)

S_p : Resistencia a la tensión (kgf/m²)

A_t : Área de tensión (m²)

F_i (mín): Precarga mínima

F_i (máx): Precarga máxima

P: Reacción al peso W

F_L = Factor de esfuerzos dinámicos, para condiciones de servicio de una máquina

F_H = factor de dureza, depende del factor de servicio

F_n : factor de velocidad

F_a : Fuerza axial

F_r : Fuerza radial

X: factor radial que depende del tipo de material.

w : Peso del sistema aplicado sobre la viga.

Sxx: Inercia en x del perfil UPN 120

$T_{\infty,1}$: Temperatura de la colada de acero AISI 310

$T_{s,1}$: Temperatura de la pared interna de la coquilla de acero AISI 304

$T_{s,2}$: Temperatura de la pared externa de la coquilla de acero AISI 304

L_p : Altura de la brida

ρ : Densidad

c_p : Calor específico

k: Conductividad térmica

L_E : Espesor de la pared de la coquilla

Bi: Numero de Biot

Fo: Número de Fourier

θ_0^* : Temperatura de la línea central de la pared

RESUMEN

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

FUNDIRECICLAR S. A., inicia sus actividades en el año 2000, y los trabajos se realizaban en base a la experiencia de sus propietarios. Desde entonces ha experimentado un importante crecimiento y ha implementando nuevas técnicas, producido piezas en aleaciones ferrosas y no ferrosas, colando en molde de arena con resina furánica, y colado en molde permanente.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se hace necesario implementar un nuevo proceso para fabricar elementos como bridas, que trabajan a altas presiones, según norma AWWA C207 (ANEXO A), 200 psi, debido a esto, no pueden tener micro porosidad ni micro fisuras u otros defectos que provengan del proceso de la fundición, por lo tanto, se hace necesario diseñar y fabricar una máquina de colado por centrifugado, que se adapte a las necesidades de la empresa.



Figura 1.1. *Cavidad por contracción encontrada en una brida de 6 Plg.*

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general para el presente proyecto de titulación es, diseñar una máquina de colado por centrifugación, para la fabricación de bridas en acero inoxidable, para la empresa FUNDIRECICLAR S. A.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente Fundireciclar necesita la centrifuga, por lo que se requiere un diseño funcional y enfocado a sus necesidades específicas, esto constituirá el primer paso a la implementación de un nuevo proceso de producción innovador en la planta y en el país.

El proceso de centrifugado elimina los defectos como concavidad por contracción puesto que es un sistema presurizado, desde que el metal es líquido hasta que solidifica, e incluso elimina todo sistema de alimentación puesto que no necesita sobrealimentación, por lo que reduce costos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ACERO INOXIDABLE AISI 304.

El acero AISI 304 es un acero inoxidable de bajo Carbono, es austenítico y el más usado comúnmente. Es un acero no magnético. No se endurece por tratamiento térmico solo por trabajo mecánico.

El acero inoxidable AISI 304 fue desarrollado para que no se alteraren sus propiedades mecánicas luego de procesos de soldadura.

2.2. PROCESO DE FUSIÓN.

El término fusión se aplica al proceso de calentar una mezcla de sólidos para obtener una disolución líquida simple, como en el caso de las aleaciones.

En FUNDIRECICLAR S. A. El proceso de fusión, está conformado por un conjunto de máquinas, herramientas, sistemas y personal calificado que controla íntegramente dicho proceso, el cual es uno de los pasos más importantes a la hora de obtener un producto de alta calidad y de total conformidad para los clientes.

2.2.1. HORNO DE INDUCCION DE CRISOL.

El horno propiamente dicho consta simplemente de una bobina inductora de forma cilíndrica que se reviste interiormente de un material refractario, dejando

un espacio o crisol donde se funde la carga. El conjunto de carga, revestimiento y bobina va dispuesto dentro de una estructura metálica de gran rigidez¹

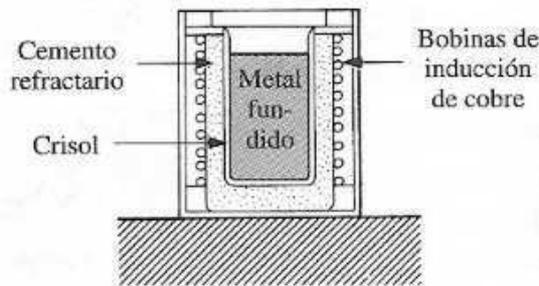


Figura 2.1. *Esquema elemental de un horno de Inducción*

Fuente: J. ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1999, Pagina 80.

2.3. FUNDICION CENTRÍFUGA²

El proceso de fundición centrífuga usa moldes en rotación para alimentar metal fundido uniformemente dentro de la cavidad del molde. La solidificación direccional proporciona fundiciones limpias y densas con propiedades físicas que son superiores a los procesos de la fundición estática principalmente en piezas sólidas de revolución.

2.3.1. FUNDICIÓN CENTRÍFUGA VERTICAL

El campo de aplicación de las máquinas de colado centrifugo vertical es considerablemente amplio. Fundiciones que no son cilíndricas, o incluso simétricas, pueden ser realizadas usando fundición centrífuga vertical.

2.3.1.1. Moldes permanentes.

Para el caso de producción de bridas en Fundireciclar se usaran moldes de metal

¹ J. ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1999, Pagina 73.

² D. M. STEFANESCU, ASM International, The Materials Information Company, Volume 15, 9th Edition Metals Handbook, 1992, Pag. 637-658.

2.3.1.1.1. Moldes de Metal.

Se recomiendan moldes de acero para fundición centrífuga. Es muy importante que los moldes sean perfectos y libres de cualquier defecto. Los moldes son totalmente maquinados para obtener una superficie pulida y asegurar balanceo dinámico. Una superficie maquinada final de 3 μm (125 $\mu\text{in.}$) RMS se recomienda en el núcleo del molde y diámetro exterior. Si hay algún defecto en la porción del molde que hace contacto con la fundición, será difícil, sino imposible, remover la pieza fundida del molde.

2.3.1.1.2. Técnicas de colado

Para moldes permanentes, el metal generalmente es colado alrededor de 40° C (100° F) arriba de la temperatura usada para la misma pieza si esta fuese colada en un molde de arena estático. Esto se debe al efecto de enfriamiento que sufre el metal colado en moldes permanentes.

Las tasas de vertido necesario para que el colado por centrifugado se dé con éxito en un molde permanente son bastante altos en comparación con los de colado estático en moldes de arena. Es particularmente importante que la velocidad inicial de colado sea alta al principio para evitar las vueltas frías del metal. Para la mayoría de tipos de piezas de fundición centrífuga de menos de 45 kg (100 libras) se recomienda una tasa de colado alrededor de 9 kg / s (20 lb / s). Al verter el metal en un molde que está girando verticalmente, es importante introducir el metal fundido en el molde de tal manera que se prevenga o minimice la turbulencia del metal fundido, la cual puede provocar salpicaduras, pulverización, o gotas y puede dar lugar a defectos de fundición indeseables.

Aunque muchas piezas de fundición centrífuga vertical se pueden verter directamente en el molde desde la cuchara, a menudo es mejor utilizar un embudo el cual garantice la calidad del centrifugado. Con un embudo, la boquilla se puede alinear a un diámetro requerido para que, con una altura de metal fundido en el embudo, vierta una velocidad controlada. Además con la utilización del embudo se puede direccionar el flujo del metal de tal forma que se evite la turbulencia generada por el metal al entrar en el molde.

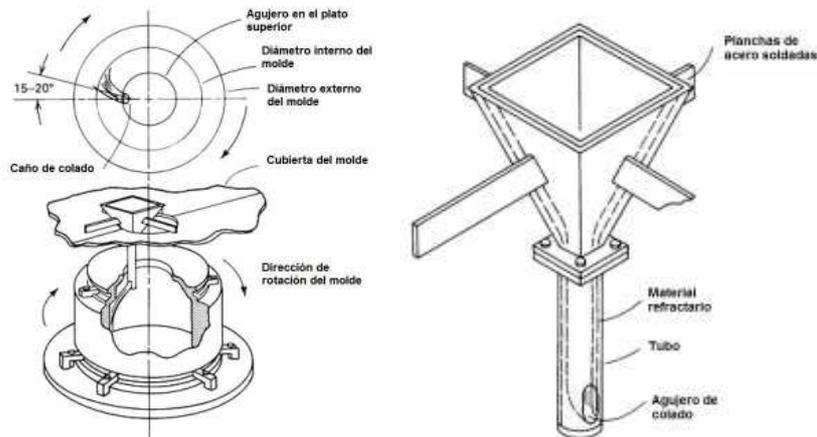


Figura 2.14. *Diseño típico del pico vertedor (a) pico vertedor posicionamiento del pico vertedor durante la colada (b).*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 654.

2.3.1.2. Equipo

Las máquinas de colado por centrifugado vertical se utilizan para la producción de bujes, bridas y piezas de fundición que son relativamente grandes de diámetro y cortas de altura. Las máquinas de eje vertical también se utilizan para la producción de piezas moldeadas de configuraciones asimétricas.

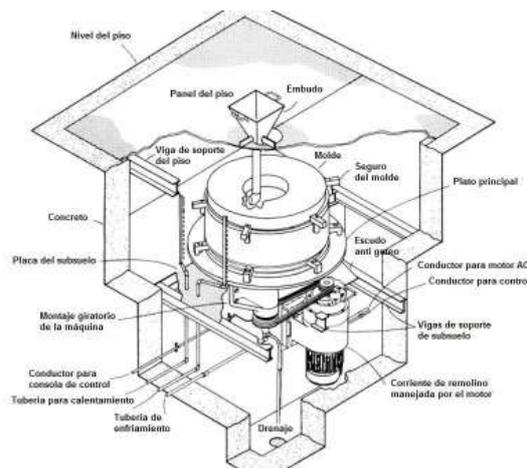


Figura 2.16. *Instalación típica de una máquina de colado centrífuga vertical. El equipo se controla desde un mando a distancia consola (no mostrado).*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 658.

3. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA

La decisión de desarrollar un producto parte de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad que puede tener numerosos orígenes comprendidos entre los dos casos extremos siguientes:

- La petición explícita de un cliente (producto por encargo, máquina especial)
- Un estudio de mercado del fabricante (nueva oferta, rediseño de un producto)

A partir de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad (ya sea por encargo o por consideraciones del mercado), hay que establecer la definición del producto, etapa fundamental para su diseño posterior.

3.1.1. DESCRIPCIÓN

Explicación breve y concisa de la especificación desde el punto de vista de los requerimientos y deseos del usuario del producto. Hay que evitar las descripciones que incluyan soluciones concretas.³

¹C. Riba, Diseño Concurrente, Departamento de Ingeniería Mecánica ETSEIB-UPC, España, 2002, Página 85

EMPRESA: FUNDIRECICLAR S.A.		PRODUCTO: Máquina vertical de colado por centrifugación.		Fecha inicial: 01/12/2010
				Ultima revisión: 20/12/2010
				Página 1/1
ESPECIFICACIONES				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	01/12/2010	C	R	Máquina para el colado por centrifugado de bridas tipo slip on
	01/12/2010	C	D	Incluir un sistema de calentamiento de la coquilla
	10/12/2010	C	R	Producir hasta 1000 Kg diariamente
	15/12/2010	C	MR	Producir hasta 500 Kg diariamente
	18/12/2010	C+I	D	Incluir un sistema de rápida extracción de la brida producida
Dimensión.	01/12/2010	C	R	Bridas desde 7 hasta 12 in.
	09/12/2010	C	R	Peso de las bridas hasta 15 Kg
	01/12/2010	C	R	Espacio disponible: 2x2 m
	10/12/2010	C	MR	Espacio disponible: 2x1,5 m
Movimiento	05/12/2010	C+I	R	Giro vertical de la coquilla
Materiales	01/12/2010	C	D	Bridas de Acero Inoxidable 304
Señales y control	01/12/2010	C	R	Consola de control automático de la máquina
	18/12/2010	C+I	D	Variación de la velocidad de rotación según el tamaño de la brida
Vida útil y mantenim.	18/12/2010	C	R	En operación: 10 años
	20/12/2010	I	D	Fácil mantenimiento especialmente al montar y desmontar la coquilla
Costes y plazos	20/12/2010	C	D	Coste máximo de fabricación: 15.000 USD
Seguridad y ergonomía	10/12/2010	C	D	Altura máxima de colado: 1,1 m
	05/12/2010	I	R	Carcasa protectora sobre la coquilla en funcionamiento
Aspectos legales	01/12/2010	C	R	Cumplimiento con la norma AWWA C 207

Propone: C = Cliente; I = Ingeniería.

R/D: R= Requerimiento; MR = Modificación del requerimiento; D = Deseo

Tabla 3.2. Especificaciones para el diseño de una Máquina vertical de colado por centrifugado para la producción de bridas en acero inoxidable

Fuente: Propia

3.2. CASA DE LA CALIDAD.

Es la más utilizada de las cuatro matrices que definen el proceso de desarrollo de la función de la calidad, la cual traduce las demandas de los usuarios en

requerimientos técnicos del producto, y da una clara concepción de las especificaciones más importantes que van a guiar el proceso de diseño de la máquina.

4. PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

4.1. ALTERNATIVA 1

4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

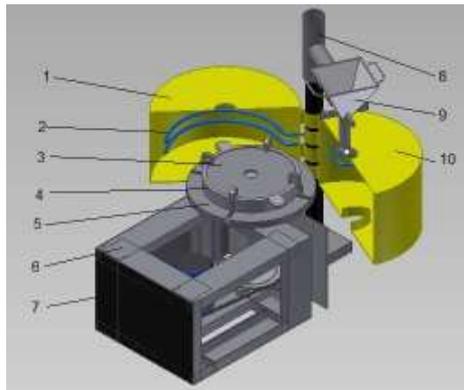


Figura 4.1. *Alternativa 1, diseño propio.*

1. Carcasa de la coquilla y del plato, parte 1.
2. Sistema de enfriamiento
3. Tapa de coquilla
4. Base coquilla
5. Plato de soporte
6. Estructura soporte
7. Tapas de la estructura para protección del motor y sistema de transmisión.
8. Soporte y guía de embudo de colado
9. Embudo para colado.
10. Contenedor de coquilla y plato, parte 2.

4.2. ALTERNATIVA 2

4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

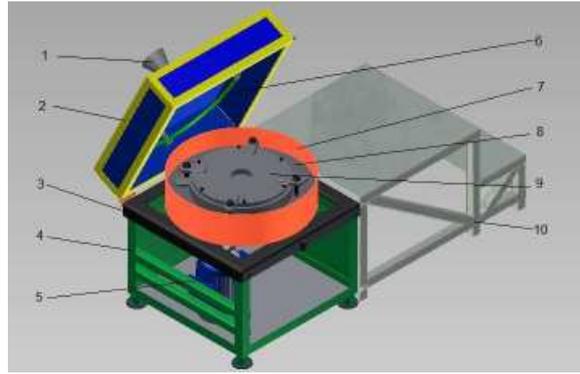


Figura 4.6. Alternativa 2.

1. Embudo.
2. Tapa.
3. Bastidor de hierro dúctil.
4. Estructura soldada de acero conformado en caliente, ángulos y tubos.
5. Motor.
6. Tubería para agua de enfriamiento.
7. Contenedor de tol rolado, y base soldada.
8. Plato.
9. Coquilla para colar bridas de acero inoxidable.
10. Escaleras

4.3. ALTERNATIVA 3

4.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

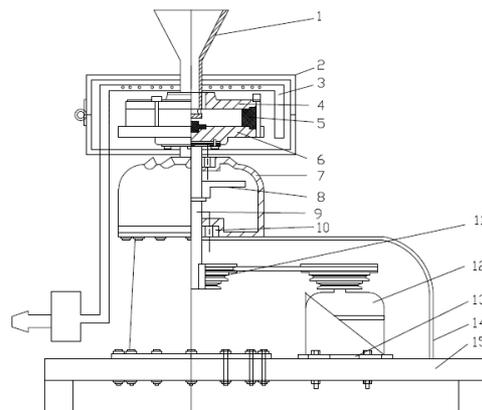


Figura 4.10. Alternativa 3, diseño propio.

La máquina mostrada tiene los siguientes componentes:

1. Embudo
2. Contenedor
3. Tubería de enfriamiento
4. Tapa de la coquilla
5. Cilindro de la coquilla
6. Base de la coquilla
7. Carcasa del sistema de movimiento.
8. Volante de inercia
9. Eje
10. Rodamiento
11. Poleas y banda
12. Motor eléctrico
13. Soporte del motor
14. Carcasa del sistema de transmisión
15. Soporte de la máquina de centrifugado.

5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

5.1. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Después de haber planteado tres alternativas, se procede con la evaluación de las mismas para tomar la decisión más adecuada. Esta evaluación se basará en distintos aspectos del sistema, obtenidos en la casa de la calidad como especificaciones técnicas.

5.1.1. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De los resultados cuantitativos antes obtenidos, se obtiene la prioridad del diseño entre las tres alternativas, que expresa cuál de ellas cumple de mejor manera con las especificaciones técnicas más importantes.

Conclusiones	Seguridad Industrial	Sistema de colado	Precio	Mantenimiento	Facilidad de operación	Dimensiones generales	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,0873	0,1310	0,0952	0,0595	0,0119	0,0298	0,4147	1
Alternativa 2	0,0437	0,0873	0,0635	0,0595	0,0357	0,0119	0,3016	2
Alternativa 3	0,1310	0,0437	0,0317	0,0238	0,0238	0,0298	0,2837	3

Tabla 5.8. Resultados y conclusiones

De los valores obtenidos podemos concluir que la mejor alternativa es la primera, por lo tanto se procederá con el dimensionamiento de la misma.

6. DISEÑO DEL EQUIPO

6.1. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA COQUILLA.

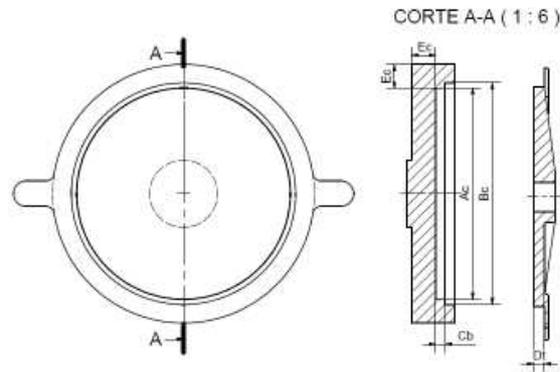


Figura 6.5. Dimensiones de las coquillas para obtener las piezas de colado por centrifugado.

% contracción	A_c	Ø. int. Fund	C_b	E_c	B_c	Tol. placa	Ø de la tapa	D_t
AISI 304	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2,10%	290	151	22	51	316	2,4	314	25
2,10%	358	191	22	53	384	5	379	25
2,10%	423	245	22	55	449	5	444	25
2,10%	501	294	25	57	526	5	522	25

Tabla 6.3. Dimensiones de las coquillas.

6.2. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLATO SOPORTE.

Según el gráfico 12 se tiene, que el espesor en base a la experiencia y recomendaciones del manual de la ASM para fundiciones centrifugadas, está entre 28.5 mm y 51 mm, y el diámetro entre 711 mm y 3200 mm. Esto simplemente da una idea del tamaño de los platos que se manejan.

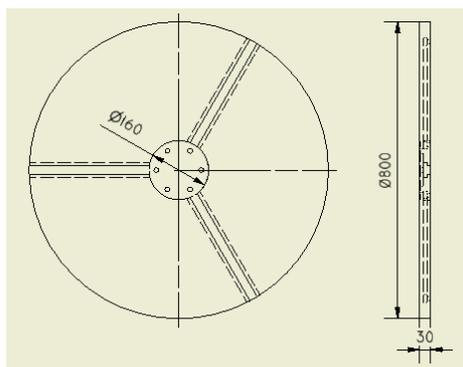


Figura 6.6. Dimensiones generales del plato soporte de la coquilla

6.3. DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE CENTRIFUGADO

Ítem	Tipo de brida	d_b (plg)	Fuerza (g)	Velocidad (rpm)
1	6 plg	6	75	950
2	8 plg	8		800
3	10 plg	10		720
4	12 plg	12		680

Tabla 6.9. Resultados de las velocidades de centrifugado en función del diámetro interior de la fundición y la fuerza de la gravedad.

6.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

6.4.1. Sistema de poleas para transmisión del movimiento

Los siguientes datos se obtuvieron al diseñar el sistema de transmisión.

Potencia del motor	5 Hp
Revoluciones del motor	1200 rpm
Sección de la banda	Tipo B
Relación de transmisión	1:1,25
Diámetro primitivo de la p Polea conductora	122,5 mm
Diámetro primitivo de la p Polea conducida	153,12 mm
Longitud de la banda	1770 mm

Tabla 6.14. Resumen de datos del sistema de transmisión

Díámetro mm	Acero AISI	Sm	n_d
30	1045	173.75	5,9
30	1040	171,5	5,5

Tabla 6.21. Factor de seguridad dinámico del árbol de transmisión, para diferentes aceros.

CONCLUSION:

Se observa que, el factor de seguridad para ambos casos es mayor a 2, por lo que se concluye en la selección del acero AISI 1045, por ser el más comercial de los estudiados y aquel que mas seguridad representa para el presente proyecto.

6.4.2. DISEÑO DE LAS CHAVETAS.

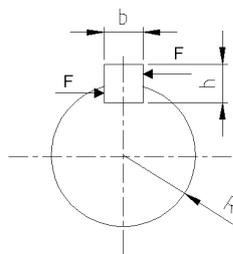


Figura 6.32. Diagrama de fuerzas sobre la chaveta.

r del eje (mm)	Potencia (Kw)	n (rpm)	T (N-m)	F (N)	n	b	Sy (Mpa)	l (mm)	h	l (mm) aplast
0,015	4,8	950	31,91	2127	2,5	8	236	6	7	6
0,015		800	31,04	2069		8		5	7	6
0,015		720	33,89	2259		8		6	7	7
0,015		680	40,69	2713		8		7	7	8

Tabla 6.22. Longitudes de chaveta en función de la velocidad de rotación.

De los valores obtenidos podemos concluir que la mínima longitud que debería tener la chaveta es de 8 mm teniendo en cuenta que la chaveta elegida será de 7 mm de alto y 8 mm de ancho⁴, por facilidad de construcción se realizaran chavetas de 1 pulgada de longitud, que se encuentran fácilmente en el mercado.

⁴ HERNANN JUTZ, Tablas para la industria metalúrgica, GTZ,3ra edición, Barcelona 1976, Página 139

6.4.3. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL EJE.

La selección de los rodamientos se realizará en base a cargas que soporta el eje como se indica en el diagrama del cuerpo libre de la figura 6. 15.

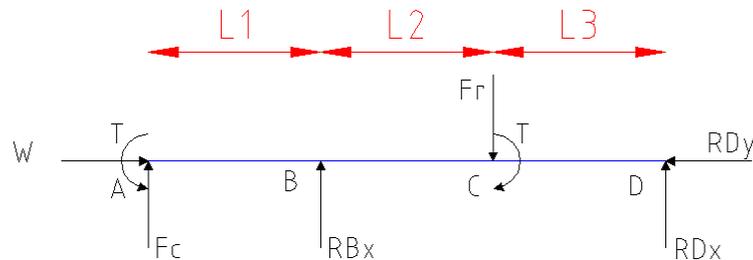


Figura 6.15. Diagrama del cuerpo libre del eje.

PUNTO	SERIE RODAMIENTO	Diámetro interior	Diámetro exterior	Ancho
B	16006	30	55	9
D	32305 ^a	25	62	25.25

Tabla 6.24. Dimensiones de los rodamientos para el eje.⁵

6.6. CÁLCULO DEL TIEMPO DE CENTRIFUGADO Y DESMOLDEO.

Para calcular el tiempo de solidificación de las bridas y su respectivo tiempo de desmoldeo, se utilizara un software especializado en fundición, Novacast Foundry Technology III.

Brida (in)	Modulo (cm)	Tiempo de Solidificación (s)	Tiempo de desmoldeo (s)
6	0,5	42	528
8	0,6	60	756
10	0,6	60	756
12	0,7	78	1026

Tabla 6.27. Tiempo de solidificación y desmoldeo para bridas centrifugadas.

⁵ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 158 y 328.

7. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO VERTICAL DE BRIDAS EN ACERO INOXIDABLE.

Este estudio comprende un análisis del costo beneficio que implica la construcción de la máquina de colado por centrifugado en la empresa Fundirecicar S. A. teniendo en cuenta que la empresa cuenta con toda la maquinaria y mano de obra calificada para construir la misma, y que se tiene una planificación de producción de bridas de acuerdo a solicitud de clientes y proyecciones de la empresa.

7.3.2. COSTO DE CONTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.

Ítem	DESCRIPCIÓN	COSTO USD
1	CONSTRUCCIÓN MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO	\$ 12.947,09
2	IMPREVISTOS QUE PUEDAN PRESENTARSE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN (15%)	\$ 1.942,06
	SUBTOTAL	\$ 14.889,15
	HORAS DE TRABAJO	4.000,00
	TARIFA POR HORA(USD/HORA)	\$ 3,72

Tabla 7.19. Costos de la máquina de colado por centrifugado.

7.3.4. PRODUCCIÓN DE BRIDAS DE COLADO POR CENTRIFUGADO.

Un proyecto como este se considera que producirá piezas con alto agregado nacional, por lo que Fundirecicar operara con una utilidad del 27%.

ITEM	Diámetro (Pig)	CANTIDAD (U)	Peso U (kg)	Peso T (kg)	Costo U. \$	Precio U. \$	Utilidad U. \$	Costo T \$	Precio T. \$	Utilidad T. \$
30181-02	6	750	5	3649,5	\$38,10	\$48,39	\$10,29	\$28.576,92	\$ 36.292,69	\$ 7.715,77
30182-02	8	300	7	2100	\$56,70	\$ 2,01	\$15,31	\$17.010,08	\$ 21.602,80	\$ 4.592,72
30183-02	10	72	9	664	70,22	\$89,17	\$18,96	\$5.055,53	\$ 6.420,53	\$ 1.364,99
30184-02	12	40	16	630,4	\$117,28	\$148,95	\$31,67	\$4.691,22	\$ 5.957,85	\$ 1.266,63
TOTAL		1.162	37	7.044	\$282,30	\$358,52	\$76,22	\$55.333,76	\$70.273,87	\$14.940,11
									Utilidad	27%

Tabla 7.25. Proyecciones con una utilidad del 27%.

De los datos obtenidos de la proyección de producción de bridas de acero inoxidable se puede obtener que con una utilidad del 27%, y una producción de por lo menos una hora diaria, la inversión en la máquina se recuperara en un año, produciendo la cantidad indicada en la tabla 7.26, produciendo las cantidades indicadas se está recuperando la inversión si se lo hace en menos tiempo esta se recuperaría más pronto.

8. PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO VERTICAL DE BRIDAS EN ACERO INOXIDABLE.

Se realizará la planeación para la construcción de la máquina de tal manera que se optimicen los recursos y se cumpla con los tiempos estimados de construcción de cada elemento como se indico en el Capitulo 7, y no se malgasten ni los recursos físicos, ni personal de la empresa, también para que sirva como una guía ordenada para obtener la máquina de la mejor manera posible.

Con los datos que se obtienen de los procesos de fabricación de cada uno de los elementos tenemos el tiempo en que se fabrican todas las piezas.

Item	Elementos a Fabricar	tiempo de construcción (h)	Tiempos areas (h)	Dias Lab (8 h)	
1	Eje	7,80	28	3,5	
2	Plato	12,70			
3	Brida	7,83			
4	Embudo	8,08	56	7,0	
5	Soporte contenedor	5,41			
6	Estructura	22,83			
7	Estructura contenedor	19,83			
8	Fundición y terminados de Bases coquilla	23,30	23	3	
9	Mecanizado de las Bases coquillas	26,00	26	3,3	
10	Fundición y terminados de Tapas coquilla	20,30	20	2,5	
11	Mecanizado Tapas de las coquillas	6,10	6	0,8	
	TOTAL	154,08	154	20,0	

Tabla 8.12 Tiempo de construcción de las piezas mecánicas.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener productos con mejores características que las ordinarias han llevado al desarrollo de nuevos procesos productivos en el mundo, en el país no se han dado grandes avances en la industria de Fundición, pero eso no impide que se puedan acoplar esos procesos probados a nivel mundial por varios años, a las necesidades de la industria nacional.

Fundireciclar con el afán de incursionar en nuevos mercados, decide incursionar en la fundición centrífuga, al no existir esta tecnología a nivel productivo en el país, se ve en la necesidad de desarrollar el proceso, pero el mismo debe acoplarse a la tecnología y recursos existente en la planta y en el país, por lo que se desarrolla el siguiente trabajo para contribuir al desarrollo de la empresa y el país.

En el primer capítulo se plantea el problema, basado en antecedentes, se puede reflejar en los objetivos, que se espera lograr con al desarrollar la investigación, por lo que se puede justificar la misma.

En el segundo capítulo se plantea el marco teórico que será la herramienta, para desarrollar la investigación, se encuentra las características generales y específicas del proceso, tanto de fundición como de centrifugado vertical, y las características del Acero Inoxidable AISI 304.

En el tercer capítulo se determina las especificaciones de la máquina, al ser para un fin y cliente específico, se toman básicamente las necesidades de toda la empresa para desarrollar este proceso, y se evalúan con una herramienta que es la casa de la calidad.

En el capítulo cuarto se plantean tres alternativas, pudiendo ser viable cualquiera de ellas, ya que cumplen con las especificaciones, se menciona el funcionamiento de cada una, y gráficos generales, para una mejor comprensión.

En el capítulo quinto se selecciona la alternativa más adecuada para proceder a desarrollar el diseño de la misma, para ello se evalúan los criterios más

importantes uno por uno hasta obtener el mejor resultado, usando el método ordinal corregido de criterios ponderados.

En el capítulo sexto se realiza el diseño del equipo, en este se desarrollan todos los cálculos de ingeniería para poder dimensionar cada elemento de la máquina y también el herramental de fundición que permitirá el uso de la misma, los parámetros con los que debe operar, además de contar con estudios, de tiempos de trabajo, sistema eléctrico y transferencia de calor.

En el capítulo séptimo se hace un estudio económico financiero de la máquina, se secan los costos que lleva producir la máquina, el herramental y los demás sistemas para que funcione la misma, también se obtiene los resultados estimados del costo de producción de las bridas, y el régimen de producción y tiempo para recuperar la inversión.

En el capítulo octavo se realiza una planificación para la construcción de la máquina, en base a diagramas de proceso y tiempos estimados, para obtener el tiempo de construcción relacionados con los recursos físicos y humanos de la empresa.

En el capítulo noveno se tienen las conclusiones a las que se llega después de realizado todo el presente trabajo, y algunas recomendaciones para las partes interesadas en el presente proyecto.

En el capítulo décimo se tiene la bibliografía que sustenta el presente trabajo de investigación.

CAPITULO 1

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

La empresa FUNDIRCICLAR inicia sus actividades en el año 2000, al inicio solo trabajaba en el área de fundición, no tiene áreas de mecanizado y diseño, los trabajos se realizan en base a la experiencia de sus propietarios.

La empresa inició trabajando con un horno a GLP, de tipo basculante para metales no ferrosos; aleaciones de Cu (300 kg de capacidad) y de Al (70 kg de capacidad), horno de cubilote para de hierro gris (1 ton/hora).

FUNDIRECICLAR ha experimentado un importante crecimiento desde sus inicios, por lo que se hace necesaria la implementación de nuevos equipos, para poder cumplir con el aumento de la demanda implementando nuevas técnicas.

Actualmente cuenta con los siguientes equipos:

- Equipo de mecanizado.
- Horno de inducción.
- Máquina de moldeo.
- Horno de tratamiento térmico.
- Puente grúa.
- Compactadora de chatarra.
- Laboratorio: Espectrómetro, analizador de Arenas, microscopio metalográfico, durómetro, paños de diamante.
- Área de desbaste: Arenado (Sand Blastig), granalladora, amoladoras.
- Equipos de soldadura: SMAW, GMAW, Oxiacetilénica, Cortadora de Plasma.

- Área de diseño: Estación de trabajo (Work Station), Software (INVENTOR), Synchro 32, diseño de sistemas de alimentación.

Fundireciclar S. A. ha producido piezas en aleaciones ferrosas y no ferrosas, para lo cual realiza colado en molde de arena con resina furánica, y colado en molde permanente, se hace necesario implementar un nuevo proceso que brinde mejores características, tanto interna como por ejemplo el tamaño de grano más pequeño, y externamente un mejor acabado superficial, mejores propiedades mecánicas, eficiencia, y velocidad de producción, debido a que con piezas fabricadas por colado por gravedad no se obtienen las propiedades mecánicas, que se espera en elementos como bridas, que trabajan a altas presiones, según norma AWWA C207 (ANEXO A), 200 psi, debido a esto, no pueden tener micro porosidad ni micro fisuras u otros defectos que provengan del proceso de la fundición.

El Ecuador no dispone de empresas que fabriquen máquinas para colado por centrifugación, ni siquiera cuenta con esa tecnología; además la dificultad de encontrar en el exterior fabricas de máquinas que se adapten a las necesidades específicas de la empresa, por tanto, se hace necesario diseñar y fabricar una máquina que se adapte a las necesidades de la empresa.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Fundireciclar S. A. ha venido realizando todos sus procesos mediante colado por gravedad, gracias a esta tecnología implementada se ha logrado realizar gran variedad de piezas, de todas las formas, pese a su experiencia y conocimientos, se ha tenido gran cantidad de problemas en la fabricación de piezas de revolución como por ejemplo bridas de acero inoxidable tipo deslizable (slip-on), por el método convencional.

A nivel nacional no se cuenta con el suficiente desarrollo tecnológico en procesos de manufactura para bridas tipos deslizable (Slip-on) en acero inoxidable, no se dispone de una empresa que fabrique estos elementos, por tal motivo actualmente la única manera de contar con elementos tan necesarios y

requeridos en el país, y que cumpla con normas nacionales e internacionales, es importándolos.

Para obtener bridas de acero inoxidable, por método de colado convencional se requiere grandes sistemas de alimentación (mazarotas), grandes sobredimensiones para el mecanizado, lo que conlleva a tener una gran pérdida de tiempo y altos costos de producción, aun así no garantizan alta calidad, por lo que no es posible competir con los productos importados.

El sistema de colado tradicional depende mucho de la experiencia y habilidad de la persona que realiza el colado, y del diseño del sistema de alimentación, pese a la experiencia que tenga la persona no realizará el proceso de manera idéntica cada vez, aspectos como este afectan al resultado final, por lo que se tiene que repetir el trabajo, perdiendo tiempo y recursos, disminuyendo el régimen de producción significativamente, volviéndola artesanal y antieconómica.

1.2.1. DEFECTOS ENCONTRADOS EN BRIDAS DE ACERO INOXIDABLE PRODUCIDAS EN FUNDIRECICLAR.

Entre los defectos que se encontraron al realizar control de calidad por parte de FUNDIRECICLAR, se tienen, cavidad por contracción y microporosidad.

1.2.1.1. Cavidad por contracción

Este defecto es una depresión de la superficie o un hueco interno en la fundición debido a la contracción por solidificación que restringe la cantidad de metal fundido disponible en la última región que solidifica. Ocurre frecuentemente cerca de la parte superior de la fundición, en cuyo caso se llama rechupe.¹

¹ <http://www.comosehace.cl/procesos/JoselgnacioSanchez/3-6.htm>



Figura 1.1. *Cavidad por contracción encontrada en una brida de 6 Plg.*

Fuente Propia

1.2.1.2. Microporosidad

Se refiere a una red de pequeños huecos distribuida a través de la fundición debida a la contracción por solidificación del último metal fundido en la estructura dendrítica. El defecto se asocia generalmente con aleaciones de acero, debido a la forma prolongada, en que ocurre la solidificación en estos metales.²



Figura 1.2. *Micro porosidad encontrada en una brida de 6 Plg.*

Fuente Propia

² <http://www.comosehace.cl/procesos/JoselgnacioSanchez/3-6.htm>

1.2.2. CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LAS BRIDAS

1.2.2.1. Cavidad por contracción

Este defecto se debe a que la brida tiene una forma plana alargada, y el sistema de alimentación no era suficiente para alimentar a la pieza, y al incrementar el sistema de alimentación se tendrían sistemas de más del 300% por lo que se incrementaba el costo de producción, causando pérdidas.

1.2.2.2. Microporosidades.

Debido a la naturaleza del acero inoxidable es muy difícil controlar su solidificación puesto que hay factores como el flujo cuando es colado que altera su solidificación, y se debe controlar la temperatura en todo momento tanto de producción como al verter en los moldes, además se debe tener amplia experiencia trabajando con este metal.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general para el presente proyecto de titulación es, diseñar una máquina de colado por centrifugación, para la fabricación de bridas en acero inoxidable, para la empresa FUNDIRECILCLAR S. A.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Entre los objetivos específicos del proyecto de titulación se pueden anotar los siguientes.

- Diseñar una máquina de colado por centrifugación que cumpla con las especificaciones técnicas requeridas por Fundireciclár S. A., y que fabrique bridas tipo deslizable (slip on), según normas técnicas internacionales AWWA C 207.
- Obtener un diseño adoptando los materiales y procesos de fabricación, existentes en Fundireciclár Cía. Ltda.

- Simular el prototipo de la máquina en el software de diseño Autodesk Inventor 2010.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Se cuenta con los conocimientos y experiencia en planta, necesarios para diseñar una máquina que cubra las necesidades de la empresa.

Se cuenta con el apoyo, y los recursos de la empresa destinados para desarrollar este proyecto, además del respaldo, del asesor y colaboradores; adicionalmente la apertura y la experiencia de los propietarios de la compañía Fundireciclar, y personal que ha trabajado en la empresa desde sus inicios, para obtener un diseño que cumpla las expectativas de producción.

Actualmente la compañía necesita la centrifuga, por lo que se requiere un diseño funcional y enfocado a sus necesidades específicas de Fundireciclar, esto constituirá el primer paso a la implementación de un nuevo proceso de producción innovador en la planta y en el país.

Se dispone de información, y recursos bibliográficos e informáticos necesarios para obtener un diseño y simulación de construcción, acorde a los procesos de fabricación que posee la empresa y materiales que se encuentran en el mercado local.

En Fundireciclar se cuenta con proveedores como Ivan Bohman, Boheler, La Llave, Quintal (Colombia), Corona (Brasil), Hidrus (Perú), los cuales pueden proveer de materia prima, como: metales, refractarios, los cuales servirían para la construcción de la máquina.

En la compañía, el personal está capacitado para la construcción de maquinaria para fundición, teniendo en cuenta que todo el mantenimiento de hornos, tanto preventivos como correctivos, se lo realiza internamente, de hecho incluso el horno de GLP, fue construido íntegramente por el personal, por lo tanto la máquina se puede construir, con la maquinaria y personal presente en planta, y asesoramiento de los proveedores de materia prima.

La empresa dispone de las siguientes máquinas herramientas:

- Tres tornos paralelos.
- Fresadora.
- Taladros de pedestal.
- Sierra de cinta.
- Prensa Hidráulica.
- Cortadora de lámina de acero
- Roladora de lámina de acero.
- Dobladora de lámina de acero.
- Esmeriles.

Estas máquinas se utilizaran en la construcción.

En el año 2008 una empresa norteamericana INPAC INC, solicito a Fundireciclar S. A., proveer bridas en las dimensiones y cantidades expuestas en la siguiente tabla.

ITEM	Diámetro (Plg)	Peso (Lb/U)	PESO NETO		CANTIDAD (U)	
			Kg/U	Kg/T	Año	Mes
30181-02	6	11,0	5,0	12.250,00	2.450	204
30182-02	8	15,4	7,0	9.800,00	1.400	117
30183-02	10	19,8	9,0	1.800,00	200	17
30184-02	12	33,0	15,0	3.900,00	260	22
TOTAL				27750,00	4310	360

Tabla 1.1. Dimensiones y cantidades de bridas tipo deslizables (slip-on) en acero inoxidable solicitadas por INPAC, el 23 de septiembre de 2008.

INPAC INC, es una empresa norteamericana que realiza sus operaciones en Asia, comercializa productos para la industria de manejo de fluidos, para las regiones de Estados Unidos, Canadá, Europa, América del Sur y Australia, como la NSF (National Sanitation Foundation), en hierro dúctil, puede producir diversos grados y formas de hierro dúctil (nodular). Piezas que van en peso desde gramos a toneladas, y en cantidades que oscilan entre millones, miles, o cientos.

Todos los productos que provee cumplen con las normas respectivas, como por ejemplo normas AWWA, ASTM, ANSI, etc.

INPAC INC, comercializa piezas en hierro dúctil, bridas, válvulas, juntas especiales, y siempre está en la búsqueda de nuevos proveedores.

En el caso de bridas en acero inoxidable tipo deslizables (slip-on), la empresa norteamericana ha solicitado a Fundireciclar fabricar y exportar.

Fundireciclar no cumplió con el requerimiento debido a que el sistema de colado por gravedad en moldes con resina furánica, no brinda las características que se exige a estos elementos según la norma AWWA C207, por lo tanto no superaba el control de calidad de INPAC, debido a micro porosidad, e incrustaciones, además el régimen de producción no era el esperado. Dando como resultado que por tres bridas coladas una presentaba problemas, además, la relación sistema de alimentación pieza, era de dos a uno, encareciendo el costo.

Una vez que Fundireciclar haya eliminado las no conformidades se procederá al envío de muestras para evaluación, y retomara el proyecto de exportación de las bridas a USA. Logrando una producción anual tal cual se muestra en la tabla 1.

El proceso de centrifugado elimina los defectos como concavidad por contracción puesto que es un sistema presurizado, desde que el metal es líquido hasta que solidifica, e incluso elimina todo sistema de alimentación puesto que no necesita sobrealimentación, por lo que reduce costos.

Las Microporosidades desaparecen al realizarse un colado por centrifugado debido a que la presión empuja al metal contra las paredes de la coquilla y ya no es importante el flujo, ni tampoco la experiencia del operador puesto que solo se debe controlar la temperatura de colado el recorrido del metal será controlado por el diseño del embudo y la coquilla, y los parámetros de funcionamiento de la máquina se determinaran en el diseño de la misma.

Se desea contribuir al desarrollo del país implementando un proceso nuevo a nivel productivo, obteniendo productos que estén a la par con los importados, evitando la salida de divisas del país. Se debe tener en cuenta que bridas tipo

deslizables (slip-on) en acero inoxidable no se fabrican a nivel nacional, entonces cualquier producción que supla importaciones, permitirá:

- Evitar salida de capital.
- Generación de empleo, tanto en la fabricación de la máquina como durante su trabajo.
- Exportación de bienes con valor agregado.
- Desarrollo de la industria de fundición.
- Uso de la materia prima (chatarra) que no es procesada en el país.

Al ser un proceso que no requiere de sistema de alimentación, el ahorro de material colado, significa ahorro de energía, tanto en la fusión, como en el mecanizado, disminuyendo así el consumo eléctrico.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ACERO INOXIDABLE AISI 304.

El acero AISI 304 es un acero inoxidable de bajo Carbono, es austenítico y el más usado comúnmente. Es un acero no magnético. No se endurece por tratamiento térmico solo por trabajo mecánico.

El acero inoxidable AISI 304 fue desarrollado para que no se alteraren sus propiedades mecánicas luego de procesos de soldadura.

El acero inoxidable tiene la característica de mejorar las propiedades mecánicas de las instalaciones hidráulicas, debido a que son resistentes a la corrosión no requiere mantenimiento periódicos, mantiene por más tiempo su buen acabado superficial, su coeficiente de fricción es bajo. Se debe conocer sus características para el aprovechamiento óptimo de sus propiedades. El tipo de acero inoxidable corresponde al AISI-304, conocido comúnmente por 18/8.³

	Composición %						
Calidad	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
AISI-304	0,08	1,00	2,00	0,045	0,03	18,00	8,00
	máx.	máx.	máx.	máx.	max.	20,00	10,50

Tabla 2.1: *Composición química del AISI 304.*

³

<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/fonta/taulesconsulta/caracteristicas/caracterinox.htm>

2.1.1. CARACTERÍSTICAS.

2.1.1.1. Maquinabilidad:

El rango de maquinabilidad es de cerca del 20% del acero AISI B1112 (es decir es 5 veces más difícil de mecanizar que un acero AISI B1112, un acero con una composición química de $C = (0.08-0.13) \%$, $Mn = (0.60-0.90)\%$, $P = (0.09-0.13)\%$, y $S=(0.16-0.23)\%$ y que tiene una dureza de 160 BHN⁴). Se debe usar una máquina potente y de alta rigidez puesta a punto. Seleccionar una herramienta tan larga como sea posible para disipar el calor a través de esta y un fluido refrigerante que actúe directamente en la punta de la herramienta. Se debe usar una profundidad de corte lo suficientemente grande como para llegar debajo de la superficie endurecida por el trabajo mecánico. Se debe mantener los bordes de la herramienta afilados y libre de asperezas, cuidar los filos cortantes y no dejar montada la herramienta ya que se puede endurecer o cristalizar la superficie.

La herramienta de acero rápido debe ser afilada de 5 a 10 grados, de ángulo superior, 5 a 10 grados de inclinación de respaldo, 7 a 10 grados de ángulo libre frontal, 8 a 15 grados en el ángulo de corte, y 10 a 15 grados de ángulo de avance, se recomienda usar un ángulo rompe viruta.

Se recomienda velocidades de corte de 60 a 90 pies/min con avances de 0,003 a 0,007 pulgadas, 30 a 60 pies/min para taladrado con broca de 1/2" y avance de 0,003 a 0,007 pulgadas, 35 a 70 pies/min para rectificado, 8 a 15 pies por minuto para brochado, y 20 a 60 pies/min para escariado.

2.1.1.2. Soldabilidad:

El acero AISI 304 se puede soldar por todos los procesos comunes de soldadura, esto es por SMAW, GMAW, GTAW, SAW, por resistencia, y también por nuevos procesos tales como haz de electrones, o por laser, con grandes ventajas. Se recomienda usar material AISI 308 como material de aporte para las juntas.

4

2.1.2. APLICACIONES.

El acero AISI 304 se utiliza en la industria química, alimenticia, textil y petrolera, para piezas varias y partes que requieran ser soldadas; para fabricar flechas, tuercas, birlos, tornillos, partes para válvulas, cuchillería, artículos domésticos, etc.

2.1.2.1. Equipos para industrias químicas y petroquímicas, agro-alimentarias y farmacéuticas.

Se emplean esencialmente en los aparatos de calderería que operan a presión atmosférica aunque, en el caso de los reactores, pueden estar sometidos a elevadas presiones, y la resistencia a la corrosión debe ser elevada. Además de estas consideraciones en cuanto a la resistencia a la corrosión, hay que remarcar que es absolutamente necesario que los materiales que se utilicen posean buena soldabilidad.⁵

2.1.2.2. Tubos para el transporte de fluidos, decoración y aplicaciones estructurales.

En los tubos destinados al transporte de fluidos, llamados también tubos “corrosión”, el acero inoxidable más utilizado es el austenítico AISI 304. La mayoría de los tubos poseen costura longitudinal y requieren de un tratamiento térmico de hipertemple a fin de recobrar su estructura metalúrgica original. Si este tratamiento se realiza bajo una atmósfera oxidante se tiene que realizar a continuación una operación de decapado y un tratamiento de pasivación. Si el tratamiento de hipertemple se realiza en una atmósfera neutra o ligeramente reductora, la operación de decapado no será necesaria, y sólo se realizará la operación de pasivación.⁶

⁵ Cunat Pierre-Jean, Euro Inox, Manual de aceros inoxidables de Euro Inox, 1ra edición, 2002, pág 8.

⁶ Cunat Pierre-Jean, Euro Inox, Manual de aceros inoxidables de Euro Inox, 1ra edición, 2002, pág 8.

2.1.3. TRATAMIENTO TÉRMICO.

El tratamiento térmico del acero inoxidable fundido es muy similar en propósito y tiene un procedimiento comparable con el del AISI 304 forjado. A continuación se presentan las temperaturas recomendadas para tratamientos térmicos del acero AISI 304.

FORJADO	RECOCIDO		DUREZA BRINELL	Alivio de esfuerzos
	TEMPERATURA	MEDIO DE ENF.		
1150-1200°C No forjar abajo de 900°C y enfriar rápidamente	1010-1120 °C	enfriar rápidamente hasta temperatura ambiente	160	205 a 400 °C, enfriar en aire.

Tabla 2.2: *Tratamientos Térmicos recomendados.*⁷

2.1.4. PROPIEDADES MECÁNICAS.

La importancia de las propiedades mecánicas en la selección de aceros inoxidables fundidos resistentes a la corrosión está establecida por la aplicación de la fundición. La base primordial para la selección de la aleación es normalmente la resistencia de la aleación al medio específico de corrosión o entorno de interés. Las propiedades mecánicas de la aleación son usualmente, pero no siempre, consideraciones secundarias en estas aplicaciones.⁸

	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ELONGACION EN 2" %	REDUCCIÓN DE ÁREA %	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD AISI B1112 RM = 100%
	MPa	(kgf/mm ²)	[Ksi]	MPa	(kgf/mm ²)	[Ksi]			
AISI 304	565	(57)	[82]	206	(246)	[35]	60	75	20

Tabla 2.3: *Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304.*⁹

⁷ <http://www.aisi.com.mx/304.htm>

⁸ I Davis, ASM International, The Materials, Stainless Steel special Handbook, 1999, pág 74

⁹ Engineering Alloys Digests Inc. ASM International, AISI 304, 2002, pag. 1.

2.2. PROCESO DE FUSIÓN.

La fusión de metales consiste básicamente en licuarlos a altas temperaturas, y luego a sólidos cristalinos. Cuando una sustancia se encuentra a su temperatura de fusión, el calor que se suministra es absorbido por la sustancia durante su transformación, y no produce variación de su temperatura. Este calor adicional se conoce como calor de fusión. El término fusión se aplica también al proceso de calentar una mezcla de sólidos para obtener una disolución líquida simple, como en el caso de las aleaciones.

Ya fundido el material requerido, este debe contar con ciertos requisitos importantes antes de ser vertido en moldes para su posterior solidificación.

- Su composición química y su pureza se deben conservar a lo largo del proceso de fusión.
- El metal fundido, o la aleación debe encontrarse a la temperatura correcta de vaciado.

La obtención de temperatura de vaciado correcta es sumamente importante ya que si se vacía el metal o la aleación a una temperatura demasiado baja puede no fluir adecuadamente y no llenar todas las regiones del molde y en el mejor de los casos se puede resultar un vaciado con numerosas rechupes.

El uso de una temperatura de vaciado innecesariamente alta por otra parte puede conducir a una fusión gaseosa y la formación de burbujas en el vaciado resultante.

Durante la fusión pueden ocurrir cambios en la composición química de la carga, es probable que esto suceda cuando uno de los ingredientes es volátil a la temperatura de vaciado de la aleación.

La práctica de la fusión es un aspecto importante de las operaciones de fundición, ya que tiene un efecto directo sobre la calidad de las piezas fundidas. Los hornos se cargan con materiales de fusión consistentes de metal, fragmentos de aleación y otros materiales como el fundente y formadores de escoria o escorificantes. Los

fundentes son compuestos inorgánicos que refinan el metal fundido al eliminar los gases disueltos y varias impurezas.

La carga del metal puede estar compuesta de metales primarios comercialmente puros, que son chatarra refundida. También se pueden incluir en la carga fundiciones rechazadas, sistemas de alimentación y mazarotas. Si los puntos de fusión de los elementos de aleación son lo suficientemente bajos, se agregan elementos de aleación puros para obtener la composición deseada de la fundición.

Si los puntos de fusión de los elementos de aleación son demasiado elevados, no se mezclaran con facilidad con los metales de bajo punto de fusión. En ese caso, a menudo se utilizan aleaciones maestras o endurecedores. Por lo general están formadas por aleaciones de menor punto de fusión con altas concentraciones de uno o dos de los elementos de aleación necesarios.¹⁰

En FUNDIRECICLAR S. A. El proceso de fusión, está conformado por un conjunto de máquinas, herramientas, sistemas y personal calificado que controla íntegramente dicho proceso, el cual es uno de los pasos más importantes a la hora de obtener un producto de alta calidad y de total conformidad para los clientes.

Sin lugar a dudas el corazón del proceso de fusión es el horno, el cual es de inducción (de alta frecuencia) (ANEXO B), para el presente caso.

2.2.1. HORNO DE INDUCCION DE CRISOL.

El horno propiamente dicho consta simplemente de una bobina inductora de forma cilíndrica que se reviste interiormente de un material refractario, dejando un espacio o crisol donde se funde la carga. El conjunto de carga, revestimiento y bobina va dispuesto dentro de una estructura metálica de gran rigidez¹¹

¹⁰ S. KALPAKJIAN, Manufactura, ingeniería y tecnología, Editorial Pearson, México 2002, Página 294

¹¹ J. ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1999, Pagina 73.

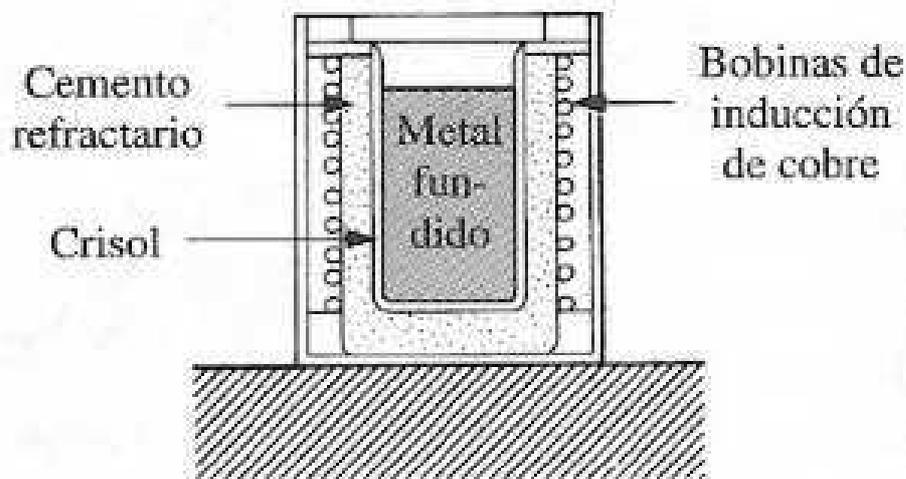


Figura 2.1. Esquema elemental de un horno de Inducción

Fuente: J. ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1999, Pagina 80.

Desde el punto de vista eléctrico el horno de inducción puede considerarse Como un transformador.

- El primario es una bobina construida con tubos de cobre por los que circula agua refrigerante. El secundario lo constituye el metal a fundir que, como es una masa única, funciona para efectos eléctricos como una bobina que estuviera en cortocircuito.
- La corriente alterna que circula por la bobina primaria genera campos electromagnéticos variables que a su vez inducen corrientes de Foucault en el secundario (formado por el metal a fundir). Por efecto Joule estas corrientes calientan el metal, lo funden y sobrecalientan.

El revestimiento refractario se elige de acuerdo con el metal o aleación en fusión. Desde el punto de vista eléctrico interesa un aislamiento mínimo para mejorar el acoplamiento bobina-carga y aumentar el factor de potencia. Por pérdidas de calor y seguridad interesa un fuerte revestimiento.

Para el caso de fusión de aceros inoxidable, es recomendable usar revestimientos a base de espinela de alúmina-magnesia con ligante cerámico de alta temperatura y, en algunos casos, revestimientos básicos de magnesia.¹²

2.2.2. FABRICACIÓN DE ALEACIONES:

La fabricación de acero en horno de inducción de crisol de alta frecuencia es relativamente sencilla, ya que casi siempre se reduce a una simple re fusión, aunque hay algunas diferencias derivadas de la agitación inductiva del baño y la ausencia de carburación. Se pueden fabricar aceros de muy bajo carbono, difíciles de obtener en horno de arco. Como el calor se origina en el interior de la carga, la fusión es muy rápida y prácticamente no hay pérdida de elementos oxidables como el cromo, molibdeno, etc. Generalmente, se puede conocer con bastante exactitud la composición del baño por análisis previos de las materias cargadas. En los hornos de inducción de alta frecuencia (por encima de los 10000Hz), el baño está mejor protegido contra la acción de la atmósfera exterior. La escoria que cubre superficialmente el baño está más fría que el baño de acero, al contrario de lo que sucede en un horno de arco, en que la escoria es calentada por el arco de los electrodos. Esta escoria fría del crisol constituye un perfecto protector del baño, casi incapaz de reaccionar con el metal, y no actúa como elemento intermedio en la posible oxidación del metal por la atmósfera, ni como agente de afino.

La operación se inicia cargando primero la chatarra que ha sido pesada previamente. Generalmente se considera que en el proceso no hay pérdida de ningún elemento, y se calculan las cargas de manera que el conjunto de ellas resulte en la composición del acero que se desea obtener.

En el caso particular del presente documento, el metal a fabricar será el acero inoxidable AISI 304. Como metal base para obtener la composición descrita en la norma, se utilizara chatarra de AISI 304, a más de los respectivos porcentajes de

¹² J. ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1999, Pagina 80.

los aleantes Níquel, Ferro Cromo, Ferro Manganeso y Ferro Silicio. Y como desoxidante final se utilizara Carburo de silicio.

Todo el proceso de fusión es controlado por los operadores, los cuales periódicamente toman datos de intensidad de corriente, voltaje, temperatura, alertas y tiempos de fusión, los cuales son recopilados en la bitácora del horno para su posterior análisis (ANEXO C).

2.3. FUNDICION CENTRÍFUGA¹³

El proceso de fundición centrífuga usa moldes en rotación para alimentar metal fundido uniformemente dentro de la cavidad del molde. La solidificación direccional proporciona fundiciones limpias y densas con propiedades físicas que son superiores a los procesos de la fundición estática principalmente en piezas sólidas de revolución.

La fuerza centrífuga de los moldes en rotación envía al metal fundido contra la cavidad interior del molde bajo presión constante hasta que el metal fundido se solidifique. Fundiciones cilíndricas son generalmente preferidas en el proceso de fundición centrífuga. Fundiciones tubulares producidas en moldes permanentes por fundición centrífuga tienen usualmente más altos rendimientos y mejores propiedades mecánicas que en fundición estática. La fundición centrífuga es el método más económico para producir fundiciones cilíndricas o tubulares de alta calidad en lo que se refiere a rendimiento, desperdicio de material, y costo del molde.

La fundición centrífuga puede ser mejor descrita como isotrópica, es decir, tiene iguales propiedades en todas direcciones. Lo cual no se cumple en el proceso de forja. Usando las ventajas creadas por la fuerza centrífuga de la rotación de los moldes, fundiciones de alta calidad e integridad pueden ser producidas por su alta densidad y libre de óxidos, gases, y otras inclusiones no metálicas. Una ventaja económica de la fundición centrífuga es la eliminación o disminución de sistemas de alimentación y mazarotas.

¹³ D. M. STEFANESCU, ASM International, The Materials Information Company, Volume 15, 9th Edition Metals Handbook, 1992, Pag. 637-658.

Todos los metales que pueden ser producidos por colado estático también pueden ser producidos por colado centrífugo, incluyendo aceros al carbón y aleados, aceros de alta aleación, aceros resistentes a la corrosión y calor, hierro gris, hierro dúctil, hierros de alta aleación, aceros inoxidable, aceros al níquel, aleaciones de aluminio, aleaciones de cobre, aleaciones de manganeso, aleaciones con base de cobalto y níquel, y aleaciones de titanio. También se pueden hacer no metales por fundición centrífuga, incluyendo cerámicos, vidrios, plásticos, y virtualmente cualquier material que pueda ser hecho líquido.

Moldes de arena, moldes semipermanentes, y moldes permanentes pueden ser usados para el proceso de la fundición centrífuga. La selección del tipo de molde está determinada por la forma de la fundición, el grado de calidad deseado, y la producción requerida.

2.3.1. PROCESOS DE COLADO CENTRÍFUGO.

Hay tres tipos de colado centrífugo:

- Fundición centrífuga real.
- Fundición semicentrífuga.
- Fundición centrifugada.

2.3.1.1. Fundición centrifuga real

La fundición centrífuga es usada para producir piezas cilíndricas o tubulares, haciendo girar el molde alrededor de su propio eje. El proceso puede ser tanto vertical como horizontal, y la necesidad de un macho en el centro es eliminado completamente. Las fundiciones producidas por este método siempre tendrán un agujero cilíndrico vertical o diámetro interior sin tener en cuenta la forma o configuración. El agujero de la fundición será recto o cónico. La fundición producida en moldes de metal por este método tiene verdadero enfriamiento direccional o solidificación desde el exterior de la fundición hacia el eje de rotación. Esta solidificación direccional resulta en la producción de piezas de alta calidad libre de defectos, sin contracción, la cual es la causa más común de defectos en fundición en arena.

2.3.1.2. Fundición Semicentrífuga

Es un método en el que el metal fundido llega a los extremos de los moldes, por la fuerza centrífuga generada cuando estos giran, los extremos se llenan de metal fundido, con buena densidad y uniformidad, el centro tiene poco material y poca densidad, por lo que a futuro es maquinado.

Este proceso se usa en fundiciones con configuraciones determinadas, girando la colada y el molde en el eje. La solidificación es similar a la sucedida en la fundición estática, solo que en el molde giratorio la presión es mayor debido a las fuerzas centrífugas.

Los machos podrían ser necesarios en el colado si se tienen algunas secciones. Los mejoramientos en el colado significan un rendimiento del 85 al 95% y se obtiene modelos de alta calidad, libre de huecos y porosidades. Por medio de este procedimiento se pueden fundir engranajes, ruedas, poleas acanaladas, rodetes, volantes y rotores de motor eléctrico.

2.3.1.3. Fundición centrifugada

En este método la colada gira alrededor del eje de rotación, las piezas están colocadas simétricamente en la periferia del eje permitiendo la producción de múltiples fundiciones. Al girar el sistema se generan fuerzas centrífugas, las que son utilizadas para aumentar la uniformidad del metal que llena las cavidades de los moldes.

La fuerza centrífuga provee la necesaria presión en el metal líquido de la misma manera que en el colado semicentrífugo. El campo de aplicación es amplio, este método de fundición se usa para producir cuerpos de válvula, tapones, yunta, llaves, y amplias variedades en fundiciones industriales.

2.3.2. FUNDICION CENTRÍFUGA HORIZONTAL

La FUNDICION CENTRÍFUGA HORIZONTAL, es usada para fundir piezas que tienen un eje de revolución. La técnica usa la fuerza generada por un molde cilíndrico rotando que proyecta el metal fundido contra sus paredes internas para obtener la forma deseada.

Avances tecnológicos en el campo de la fundición centrífuga y aleaciones para fundición han hecho posible el desarrollo de un flexible y rentable proceso que es económico y a la vez capaz de cumplir con estrictos requerimientos metalúrgicos y dimensionales. Piezas producidas por fundición centrífuga horizontal ahora son usadas en muchas industrias. En donde son importantes las relaciones longitud-díametro espesor-pared bimetalico y especialmente tubos de acero usados en procesos químicos, pulpa y papel, acero, e industrias de producción petrolera.

2.3.2.1. Equipo:

Una máquina de fundición centrífuga horizontal debe ser capaz de realizar cuatro operaciones con precisión y repetidamente.

- El molde debe rotar a una velocidad predeterminada.
- Debe existir un medio para colar el metal fundido en el molde rotativo.
- Una vez que el metal se ha colado, una adecuada tasa de solidificación debe ser establecido en el molde.
- Debe poseer un medio de extracción para la fundición solidificada desde el molde.

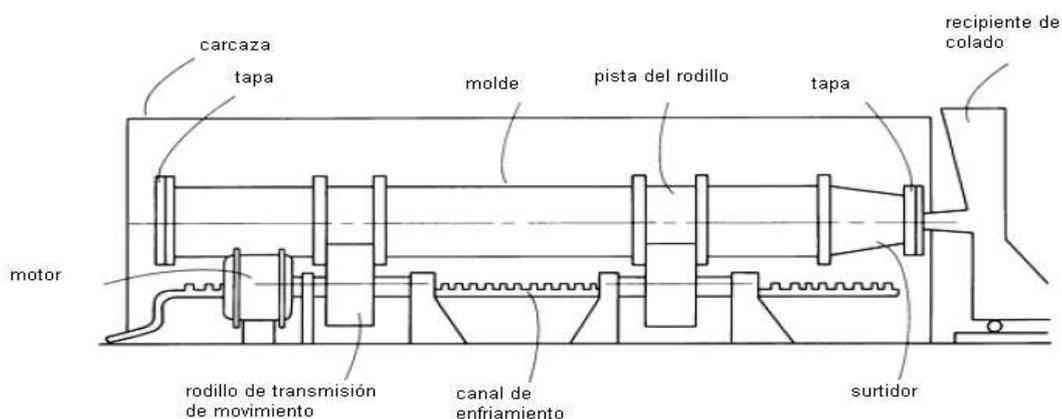


Figura 2.2. Esquema de un diseño común para una máquina de fundición centrífuga horizontal.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 633.

2.3.2.2. Moldes

Los moldes están formados por cuatro partes: la carcasa, el surtidor de la colada, pistas de rodillos, y terminales. El molde armado es colocado sobre los rodillos transmisores de movimiento intercambiables que permiten usar moldes de diferentes diámetros y finos ajustes. Los moldes son enfriados por un chorro de agua, los cuales pueden ser divididos en varios tramos para obtener enfriamiento selectivo.

Los diferentes tipos de moldes son usados generalmente de acuerdo a la geometría y cantidad necesitada de fundición y las características del metal o aleación. Los moldes pueden ser desechables o permanentes.

2.3.2.2.1. *Moldes desechables.*

Los moldes desechables hechos de arena son ampliamente usados en fundición centrífuga, especialmente para producciones relativamente pequeñas. Un solo molde puede ser usado con diferentes espesores de revestimiento de arena para producir tubos de varios diámetros sin un límite de rango.

2.3.2.2.2. *Arena verde.*

Es usada comúnmente para fabricar moldes desechables. Se usan varias mezclas y aglutinantes, por ejemplo una mezcla de 60% de arena sílice y 40% asbesto calcinado y aplastado o arena unida con resina. Aglutinantes fenólicos son usados también con arena sílice. Un proceso patentado usa una mezcla de arena, harina de sílice, bentonita y agua.

2.3.2.2.3. *Moldes de arena seca*

Pueden también ser empleados; en este caso, la arena es presionada alrededor de un molde teniendo las mismas dimensiones de la fundición. El endurecimiento se logra a veces con dióxido de carbono.

2.3.2.2.4. *Cubiertas de moldes.*

Pueden ser de varias composiciones y son usadas con moldes de arena. La cubierta endurece la superficie del molde y minimiza la erosión del molde por el metal fundido.

2.3.2.2.5. *Moldes permanentes.*

Los materiales más comunes para moldes permanentes son acero, cobre y grafito.

2.3.2.2.6. *Moldes de acero.*

Son usados para fundir grandes cantidades y para algunas aleaciones que requieren condiciones específicas de solidificación. Los moldes de acero son sensibles a los choques térmicos; Envases atomizadores de alúmina o base de circonita son usados para disminuir los choques térmicos en el molde y para mejorar la superficie del molde. También son importantes las pinturas para molde en la regulación de la tasa de solidificación de algunas fundiciones de material.

2.3.2.2.7. *Moldes de cobre.*

Son a veces usados por su alta conductividad térmica. Su relativo alto costo y la dificultad de cálculo de las dimensiones correctas de estos moldes limitan su campo de aplicación.

2.3.2.3. **Temperatura de Colada.**

El grado de sobrecalentamiento requerido para producir la colada, es función del metal o la aleación que se va a colar, el tamaño del molde y las propiedades físicas del material del molde. La siguiente es una fórmula empírica que ha sido sugerida como una guía general para determinar el grado de sobrecalentamiento requerido.

$$L = 2,4\Delta T + 110 \qquad \text{Ec. 2.1}$$

Donde L es la longitud de la espiral de fluido del metal (en milímetros), y ΔT es el grado de sobrecalentamiento (en grados centígrados). El uso de la ecuación antes mencionada para aleaciones ferrosas resulta en una temperatura de colada que

está entre 50 a 100 °C (120 a 212 °F) sobre la temperatura de fusión. En la práctica, las temperaturas de colada deben mantenerse lo más bajo posible y se evitara la formación de defectos resultantes de una temperatura demasiado baja.

Una alta temperatura de la colada requiere altas velocidades de rotación para evitar el deslizamiento; las bajas temperaturas de la colada pueden provocar porosidad. La temperatura de la colada también tiene influencia en la tasa de solidificación y por lo tanto afectara a la cantidad de segregación que toma lugar.

2.3.2.4. Temperatura del molde.

Numerosos investigadores han estudiado la relación entre la temperatura inicial del molde y la estructura de la pieza resultante del proceso de fundición. La temperatura inicial del molde puede variar en un amplio rango de acuerdo al metal que se vaya a colar, el espesor del molde y el espesor de la pared de la pieza a colarse. Sin embargo, la temperatura del molde no afecta la estructura de la pieza fundida tan críticamente como lo hacen los parámetros arriba mencionados.

2.3.2.5. Velocidad de rotación.

Generalmente, el molde gira a una velocidad que crea una fuerza centrífuga que está en el rango de 75 a 120 g, (75 a 120 veces la fuerza de gravedad). La velocidad de rotación puede variar en el proceso de fundición; La figura 3 ilustra un típico ciclo de rotación, el cual puede ser dividido en tres partes.

- Cuando el metal está siendo colado, el molde rota a una velocidad suficiente como para lanzar el metal hacia sus paredes.
- Cuando el metal alcance el extremo opuesto del molde, se incrementa la velocidad de rotación.
- La velocidad de rotación es mantenida constante por un tiempo después del colado, el tiempo que la velocidad permanece constante varía dependiendo del tipo de molde, del metal a ser colado y del espesor de la pieza.

La velocidad ideal de rotación causa una rápida adhesión entre el metal fundido y las paredes del molde con una mínima vibración. Tales condiciones resultan en una pieza con estructura uniforme.

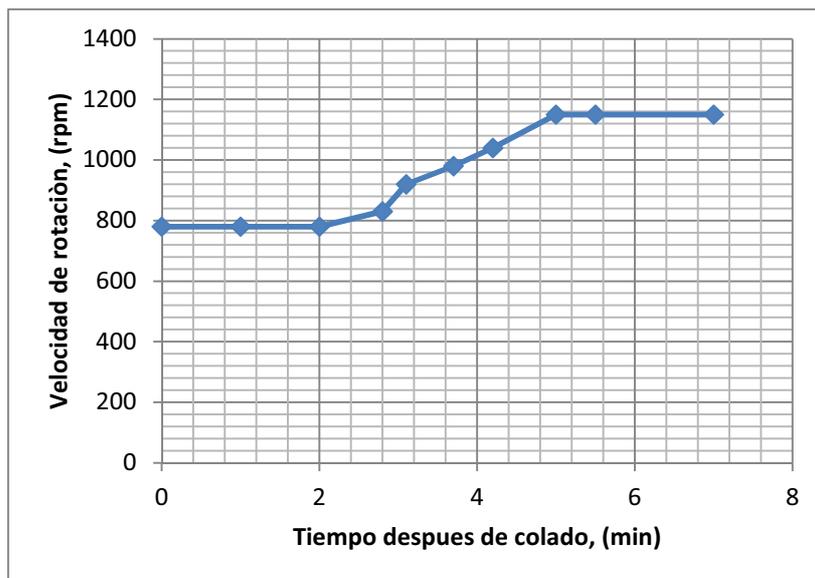


Figura 2.3. *Típico ciclo de rotación en colado por centrifugación horizontal.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 635.

En el instante en que el metal entra al molde, se establece un gradiente de presión a través del espesor de la pieza a fundirse debido a la aceleración centrífuga. Esto causa que las partes constituyentes de la aleación se separen debido a la diferencia en sus densidades, las partículas más ligeras tales como la escoria e impurezas no metálicas se reúnen en el diámetro interno de la pieza. El diámetro de esta banda de impurezas está usualmente limitado a unos pocos milímetros, y es fácilmente descartable a través del mecanizado.

Una velocidad de rotación muy baja puede causar deslizamiento del material y un pobre acabado superficial. Una velocidad demasiado grande puede generar vibraciones, las cuales causan segregación circunferencial. Una velocidad exageradamente elevada puede causar la aparición de esfuerzos en la circunferencia de la pieza dando como resultado una división radial o fisuras circulares cuando la pieza se contrae durante la solidificación.

2.3.2.6. Solidificación.

En la fundición centrífuga horizontal, el calor de la pieza en solidificación es removido a través de agua que enfría las paredes del molde. La solidificación comienza en el diámetro exterior de la pieza, el cual está en contacto con el

molde, y continua hacia dentro hasta el diámetro interno. Los parámetros más importantes que influyen en la solidificación son:

- El molde, incluyendo el material del molde, su espesor y la temperatura inicial del molde.
- El espesor y la conductividad térmica del recubrimiento del molde usado.
- Las condiciones de la colada, incluyendo el grado de sobrecalentamiento, la tasa de colado y la velocidad de rotación.
- Las vibraciones presentes en el sistema.

Los parámetros con un mayor efecto son, el sobrecalentamiento del metal fundido y el espesor del recubrimiento del molde utilizado. Ambos son procesos variables que afectan las condiciones de solidificación, y por lo tanto modifican la estructura de la pieza. La figura 4 ilustra los efectos generales del espesor del recubrimiento del molde y el grado de sobrecalentamiento en la tasa de solidificación. Gráficas como la figura 4 pueden ser usadas para predecir el tiempo de solidificación.

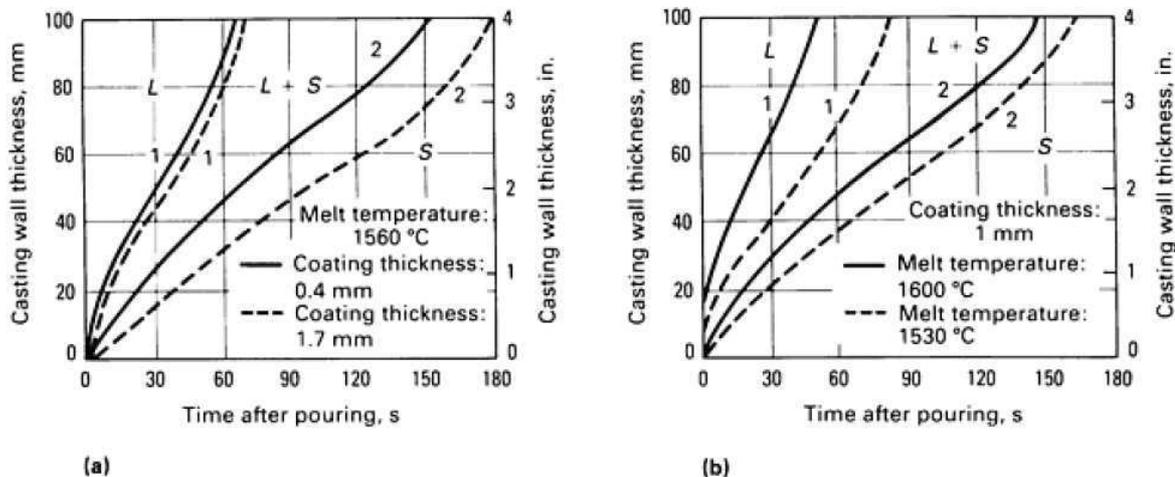


Figura 2.4. Efecto del espesor del recubrimiento del molde (a) y la temperatura del metal fundido (b) en la solidificación de la fundición centrífuga horizontal. Los numero 1 y 2 indican las curvas de líquidos y sólidos respectivamente.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 636.

2.3.2.7. Aspectos metalúrgicos de la solidificación.

Las estructuras de piezas en bruto obtenidas en la fundición centrífuga horizontal de aceros varían de acuerdo a la composición. Independientemente de la fase o fases que se solidifican en primer lugar, ciertas características son comunes a las estructuras de aleaciones ferrosas obtenida por centrifugado.

- Superficie columnar fina, muy delgada.
- Estructuras bien orientadas adyacentes a la superficie.
- Estructuras equiaxiales medianamente finas.

En caso de aceros que solidifican como ferrita, las áreas columnares pueden no existir si el sobrecalentamiento y el espesor del recubrimiento del molde son bajos. (fig. 5b). En aceros que solidifican como austenita, es relativamente fácil obtener una estructura columnar 100% bien orientada.

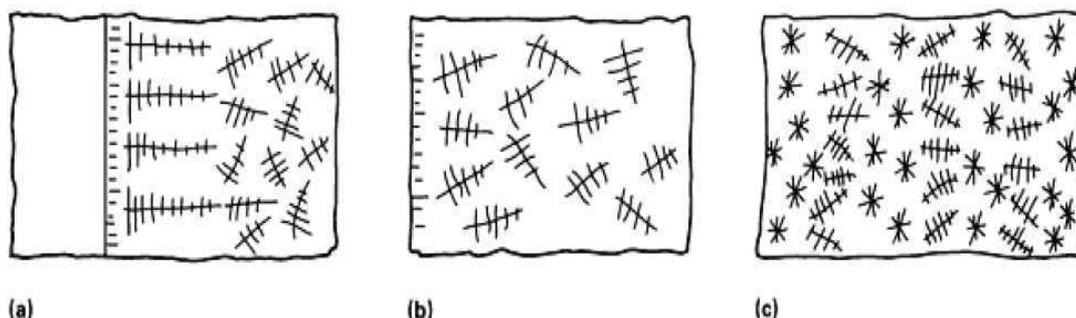


Figura 2.5. *Tres tipos de estructuras en fundición bruta, vistas en aleaciones ferrosas centrifugadas. (a) Superficie columnar fina, muy delgada. (b) Estructuras bien orientadas adyacentes a la superficie. (c) Estructuras equiaxiales medianamente finas.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volúmen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Pagina 636.

Un fenómeno específico de la centrifugación horizontal es la formación de bandas equiaxiales a través de la totalidad del espesor de la pieza fundida. (Fig. 5c.). Una posible explicación para este fenómeno está relacionada con vibraciones de la máquina, que puede causar recirculación del metal fundido durante la solidificación.

Como en la fundición estática, el rechazo de soluto por delante de la solidificación conduce a una micro segregación y un progresivo enriquecimiento del líquido restante. Aceros al carbono son especialmente sensibles a este efecto; El contenido de carbono, azufre y fósforo debe ser limitado para evitar la precipitación local de carburos y sulfuros.

2.3.2.8. Ventajas del proceso.

2.3.2.8.1. Flexibilidad en la composición de la colada.

La fundición centrífuga horizontal es aplicable a casi todas las composiciones con la excepción de aceros de alto contenido de carbono (0,4 a 0,85% C). La segregación del carbono puede ser un problema en este rango de composición.

2.3.2.8.2. Amplia gama de características del producto disponible.

Las características metalúrgicas de un producto tubular son principalmente por su solidez, textura, estructura y propiedades mecánicas. La fundición centrífuga puede ser fabricada con una amplia gama de micro estructuras diseñados para satisfacer las demandas de aplicaciones específicas.

El alto grado de control micro estructural posible con la fundición centrífuga horizontal resulta en una gran flexibilidad de seleccionar propiedades para aplicaciones específicas. Tubos pueden ser fabricados con resistencia a las temperaturas elevada, resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga térmica, ductilidad a baja temperatura, y así sucesivamente. Centrífugamente piezas fundidas tienen un alto grado de limpieza metalúrgica y micro estructuras homogéneas, y que no presenten la anisotropía de las propiedades mecánicas evidente en laminados y tubos soldados con autógena o forjado.

2.3.2.8.3. Flexibilidad dimensional.

La fundición centrífuga horizontal permite la fabricación de tubos con un diámetro exterior cercano a 1,6 m (63 in.) y un espesor de pared de 200 mm (8 in.). Las tolerancias dependen en parte del tamaño y en parte del molde a ser usado.

2.3.2.9. Materiales.

Como se menciona al inicio, todo material que pueda ser fundido estáticamente puede ser fundido por el proceso de centrifugado. Los materiales que se están siendo procesados por fundición centrífuga horizontal incluyen aceros de baja aleación con alta resistencia, aceros inoxidable dobles, aceros de aleación de cromo-molibdeno. También tienen importancia los tubos bimetálicos obtenidos mediante este proceso.

2.3.2.9.1. *Aceros de baja aleación con alta resistencia.*

Estos materiales son muy importantes en aplicaciones como las estructuras en altamar, las cuales deben soportar condiciones climáticas extremas. Por ejemplo en equipos de perforación que operan en el Mar del Norte, estos materiales deben ser soldables con temperaturas de transición de dúctil a frágil por debajo de -40 °C. Los materiales que podrían ser buenos candidatos para el uso en tales condiciones son los aceros al manganeso y molibdeno con microaleantes adicionales de vanadio, níquel o niobio. De estos materiales son fabricados por el proceso de centrifugado, tubos de pared gruesa con buenas propiedades mecánicas, y buena soldabilidad. Varias aleaciones patentadas han sido aprobadas para su uso en aplicaciones petroleras en estas aplicaciones.

2.3.2.9.2. *Tubos de acero inoxidable doble.*

Pueden ser producidos de manera rápida por el proceso de centrifugado en cualquier tamaño de sección. La pieza retiene su fuerza a temperaturas de 600 °C (1110 °F), son dúctiles y soldables sin precauciones especiales.

2.3.2.9.3. *Tubos de aceros aleados con cromo y molibdeno.*

Estos son producidos por centrifugado horizontal, tienen una estructura homogénea, resistente a la fatiga térmica, al desgaste y cuenta con una buena tenacidad.

2.3.2.9.4. *Tubos bimetálicos.*

Estos tienen enlaces metalúrgicos (en lugar de mecánicos) pueden ser producidos de manera rápida por el proceso de centrifugado horizontal.

Comúnmente son fabricados con una aleación de fundición sucesiva a la otra. Los tubos bimetálicos se utilizan por dos razones principales: para reducir el costo mediante el uso de un material exótico unido a un material de soporte más económico, y obtener combinaciones de propiedades que no pudieron ser obtenidos por otros métodos.

2.3.2.10. Aplicaciones.

La flexibilidad del proceso de fundición centrífuga horizontal, tanto en términos de materiales y la amplia gama de tamaños de piezas que se puede producir, ha dado lugar a la aplicación de dichas piezas en muchas industrias. Algunos de las más comunes aplicaciones se describen brevemente a continuación.

- La industria del hierro y el acero. Las piezas fundidas por centrifugado son usadas en la producción de hierro y acero, específicamente en el proceso de colada continua ya que aquí se utiliza los rodillos para fundición, rodillos de molino, rodillos de horno de fusión, tuberías especiales y muchas otras aplicaciones.

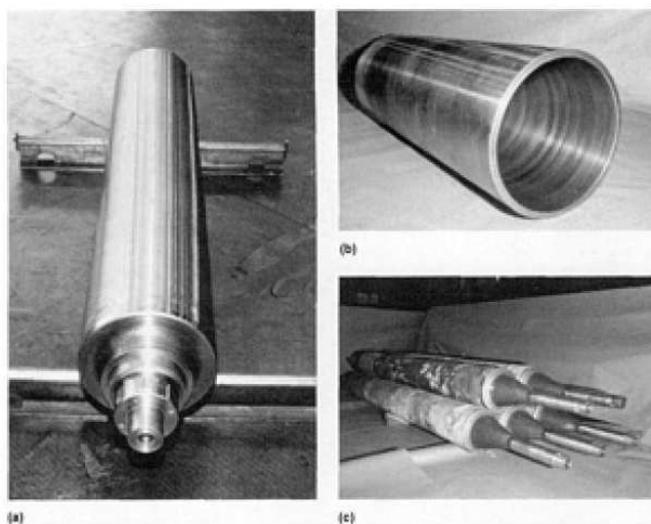


Figura 2.6. *Tres aplicaciones para partes fundidas por centrifugado en la industria del hierro y el acero. (a) Rodillo para colada continua, (b) bobina de carrete, (c) rodillos de un horno de recocido.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 639.

- Producción petrolera. Las plataformas de producción en altamar recolectan gas y petróleo usando tubos fundidos por centrifugación en varias aplicaciones. Tubos bimetálicos extruidos en caliente son usados como tuberías en los sistemas de recolección.

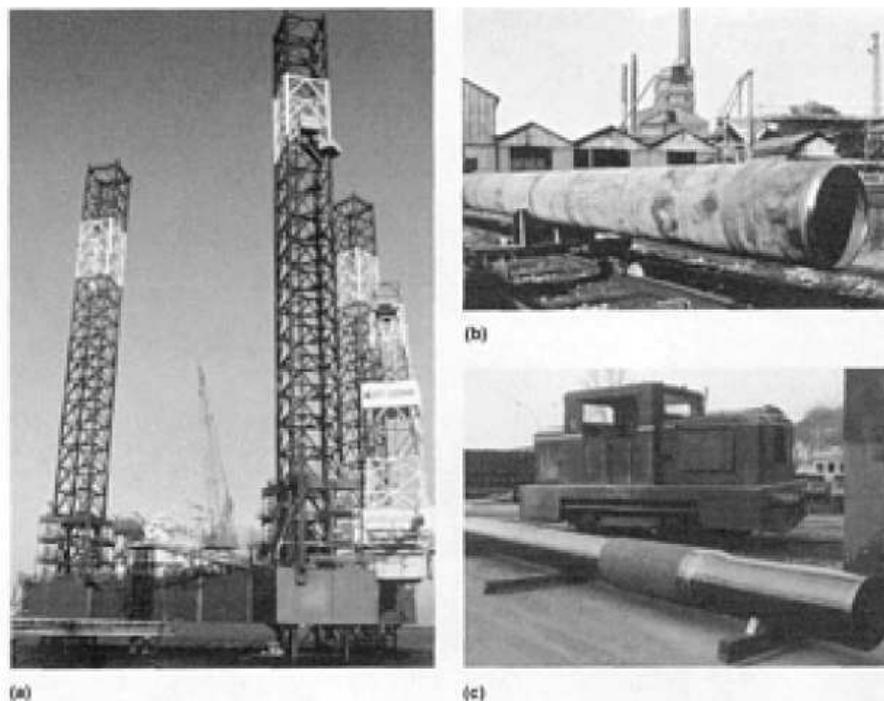


Figura 2.7. *Aplicaciones de las piezas fundidas por centrifugado en la industria petrolera de altamar.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volúmen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Pagina 639.

2.3.2.11. Otras aplicaciones.

Estas incluyen los cilindros hidráulicos, rodillos para la producción de vidrio, los sistemas de transporte de materiales abrasivos, rodillos en la industria de pulpa y papel, tubos para la industria de transformación química, pilotes de cimentación y columnas del edificio. Algunas de estas aplicaciones se muestran en la figura a continuación.

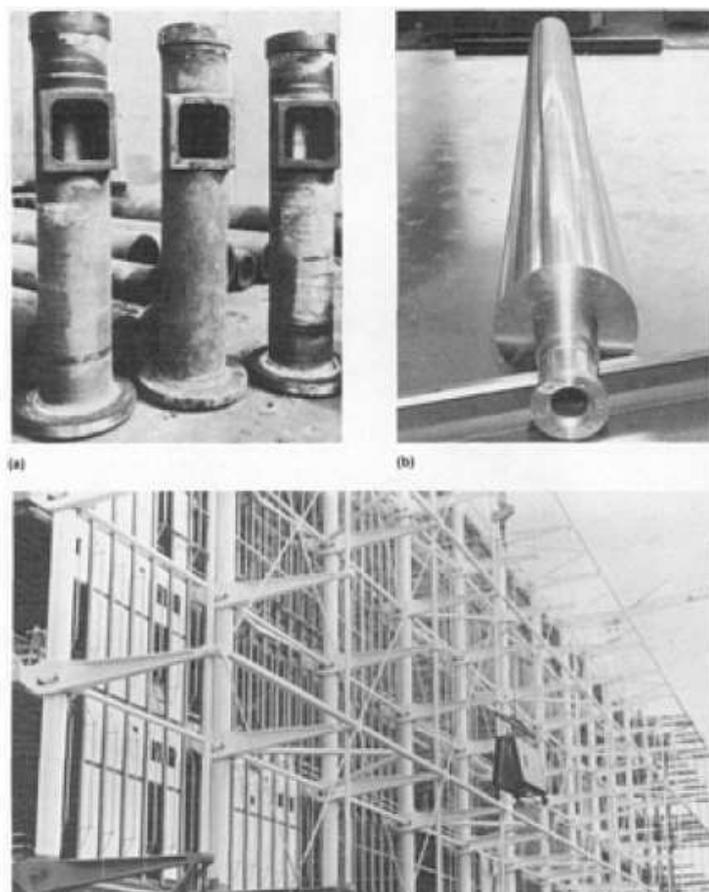


Figura 2.8. Variadas aplicaciones para piezas fabricadas por centrifugado. (a) Cilindros hidráulicos, (b) rodillo de vidrio flotado, (c) columnas exteriores de museo Beaubour, Paris.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volúmen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 640.

2.3.3. FUNDICIÓN CENTRÍFUGA VERTICAL

El campo de aplicación de las máquinas de colado centrifugo vertical es considerablemente amplio. Fundiciones que no son cilíndricas, o incluso simétricas, pueden ser realizadas usando fundición centrifuga vertical.

2.3.3.1. Practica de Alimentación.

El sentido práctico de fundir una pieza usando el proceso semicentrífugo o centrifugado es determinado por la configuración de la fundición. El sistema de alimentación de la fundición centrifuga usualmente trabaja con un alimentador

simple, el cual combina la función de entrada y mazarota. La fuerza centrífuga en gran medida magnifica la acción de la alimentación de la mazarota y produce un metal más denso en la fundición que daría otro resultado. La figura muestra que un molde de fundición centrífuga girando a velocidad tangencial de 305 m/min. (1000 ft/min.) en el diámetro exterior de la fundición tendría una altura equivalente de 9 m. (30 ft.). Esto es equivalente a una presión de 703 kPa. (102 psi.). Una fundición estática típica tiene una altura de menos de 0.3 m. (1 ft.). La fuerza centrífuga actuando en el metal fundido proveerá mejor acción de alimentación que una altura estática; por lo tanto, es posible alimentar metal fundido a través de una sección de molde más delgado y ligero en secciones de molde más pesado que en fundición estática.

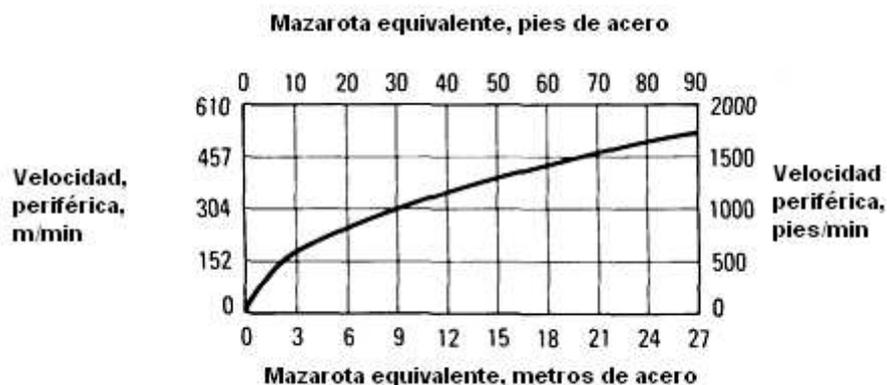


Figura 2.9. *Relación entre velocidad perimetral en fundición centrífuga y mazarota equivalente.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 642.

Ciertas configuraciones de fundición que no producen solidificación direccional inherente pueden ser solidificadas direccionalmente por ciertas prácticas de moldeo. Se pueden usar bases, entradas auxiliares, zonas frías, o zonas ciegas. Sin embargo, una fundición de secciones no uniformes y secciones delgadas podrían requerir elaborar métodos de moldeo y limpieza que lleguen a ser demasiado costosos.

2.3.3.2. Moldes de arena.

Cuando se usan moldes de arena, particularmente arena verde, por lo general para empezar el proceso de colado se necesita una velocidad pequeña de rotación. Cuando el molde es parcial o totalmente llenado, la velocidad de rotación se incrementa hasta la requerida para prevenir o reducir la erosión de las cavidades del molde por el metal fundido. Los moldes deberían estar rotando, incluso a solo 5 rpm. Esto garantiza la adecuada distribución de metal caliente y frío en el molde para la óptima acción de alimentación.

2.3.3.3. Moldes de arena verde.

Se pueden realizar fundiciones centrífugas en arena verde o en arena seca. Cuando se usan moldes en arena verde, se requiere embudos. Se pueden usar tres métodos para fijar el molde de arena verde a la mesa de la máquina de centrifugado.

En el primer método, dos pasadores son fijados a la mesa sobre la cual se baja el embudo. El molde superior e inferior se encuentra unido por abrazaderas en forma similar a la fundición estática.

En el segundo método, un dispositivo similar a un plato de torno se sujeta a la mesa. El molde superior e inferior se sujeta como en la fundición estática. El molde de arena verde es colocado sobre la mesa, y las abrazaderas son apretadas para asegurar el molde.

En el tercer método, el molde de arena verde es transportado en un transportador de rodillos o una matriz, la cual se sujeta a la mesa. También se usan rodillos en la máquina para facilitar el movimiento de los moldes de arena verde. La matriz se abre en la mitad por medio de una bisagra. Una cubierta, la cual sostiene un corredor de copa, sirve para distribuir de igual manera la presión desde la sujeción al molde. La sujeción, la cual es parte de la matriz, mantiene el molde superior e inferior en un contacto firme.

2.3.3.4. Moldes de arena seca.

No se requiere matriz de sujeción cuando se usan moldes de arena seca. Se dispone de dos métodos para sostener moldes de arena seca en la máquina de fundición centrífuga.

En el primer método, los moldes de arena seca son colocados en una chaqueta algo similar a la usada en conjunto con la matriz de sujeción. El molde enchaquetado es llevado a la máquina de fundición y colocado sobre la mesa. Las abrazaderas son usadas para sostener la cubierta sobre el molde y para fijar el molde firmemente a la mesa.

En el segundo método, los moldes de arena seca son transportados en una cama de rodillos sobre la máquina de fundición, en la cual se incorporan los rodillos. Usando una matriz de este tipo, ambos moldes de arena verde y arena seca pueden ser usados intercambiándolos en la misma máquina de fundición centrífuga.

2.3.3.5. Costos de moldeo.

Un molde de arena verde preparado para fundición estática generalmente cuesta lo mismo que un molde preparado para fundición centrífuga. Si se usan moldes de arena seca para fundición centrífuga en lugar de moldes de arena verde, el costo de moldeo puede ser más alto, resultando en un reducido ahorro de costos. Hay un apreciable ahorro de costos en el terminado de las piezas porque no se necesita quitar las mazarotas de la pieza fundida. Esto reduce la cantidad de corte, rebarbado, y granallado.

El ahorro adicional de la limpieza puede ser compensando por el costo de operación, depreciación del equipo de fundición centrífuga, y posible incremento de costos de moldeo hasta el uso de moldes de arena seca. Un incremento de rendimiento, debido principalmente a la eliminación de mazarotas está indicado en la tabla, la cual compara rendimientos de los procesos de fundición estática y centrifugada.

Fundición	Peso de la fundición		Rendimiento estático, %	Rendimiento Centrifugado, %
	kg	lb		
A	27,7	61	39,0	79,7
B	18,1	40	53,4	74,1
C	7,7	17	49,2	75,5
D	14,1	31	38,0	67,4
E	27,2	60	36,3	77,0
F	14,3	31,5	41,5	64,3
G	28,6	63	40,0	79,3
H	20,0	44	36,4	73,3

Tabla 2.4. Comparación del rendimiento de fundición para fundiciones estáticas y centrifugadas.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 643.

2.3.3.6. Otras consideraciones del moldeo en arena.

Los requerimientos para un molde de arena para centrifugado son más estrictos que para los moldes de fundición estática porque la concentricidad con el eje de rotación debe ser más exacta para prevenir desbalanceo que puede causar vibración. Sin embargo, la mayoría de velocidades requeridas para moldes de arena para centrifugado son relativamente lentos comparados a la fundición centrifuga verdadera en moldes permanentes. Los moldes pueden ser hechos por secciones usando machos de arena seca que también son usados en la fundición centrifuga. La arena usada puede ser silicato de sodio, arena seca, arena de cromita, o cualquier material de moldeo con suficiente resistencia para soportar las fuerzas ejercidas por la velocidad de rotación. Es conveniente usar un lavado de los moldes adecuado para reducir o minimizar la erosión de los moldes por el metal fundido. Generalmente no ocurre excesiva erosión del molde, debido a la relativa pequeña velocidad de rotación usada.

2.3.3.7. Moldes permanentes.

Se usan dos tipos básicos de moldes permanentes: moldes de metal y grafito. Debido a la rápida extracción de calor de los moldes permanentes, hay usualmente un incremento en la calidad de las fundiciones producidas en este tipo de moldes.

2.3.3.7.1. Moldes de Metal.

Un gran número de moldes de hierro fundido son usados todavía para la fundición centrífuga. Sin embargo, moldes de acero son más comunes y mucho más seguros. Moldes de hierro fundido pueden ser peligrosos debido a defectos que pueden ocurrir durante el proceso de fundición del molde y el hecho que el hierro fundido tiene baja resistencia a la tensión. Adicionalmente, cuando los moldes de hierro fundido son enfriados por agua, siempre hay el peligro de agrietamiento, ruptura, o rotura. La mayoría de moldes usados en la fundición centrífuga son enfriados por agua en el diámetro exterior usando impulsores de agua de alta velocidad para incrementar los rangos de solidificación.

Se recomiendan moldes de acero para fundición centrífuga. Es muy importante que los moldes sean perfectos y libres de cualquier defecto. Los moldes son totalmente maquinados para obtener una superficie pulida y asegurar balanceo dinámico. Una superficie maquinada final de 3 μm (125 $\mu\text{in.}$) RMS se recomienda en el núcleo del molde y diámetro exterior. Si hay algún defecto en la porción del molde que hace contacto con la fundición, será difícil, sino imposible, remover la pieza fundida del molde.

Los moldes de acero siempre deberían ser sometidos a un alivio de esfuerzos (temperatura mínima de 620⁰C) antes de finalizar la operación de mecanizado. En el caso de moldes simples y pequeños maquinados a partir de tubería de acero sin costura, estos no necesitan alivio de esfuerzos, debido a que no hay gran diferencia en la vida de trabajo. El alivio de esfuerzos efectivamente previene desgaste en la mayoría de los moldes y así prolongan su vida útil.

Un lubricante de disulfuro de molibdeno es recomendado para todas las sujeciones usadas en el molde, tal como abrazaderas de molde, pernos en el plano final, pernos de sujeción del molde, y guías de centrado del molde.

Se pueden usar varios diseños de la placa de extremo del molde, dependiendo de la preferencia individual y el tamaño de molde a ser usado.

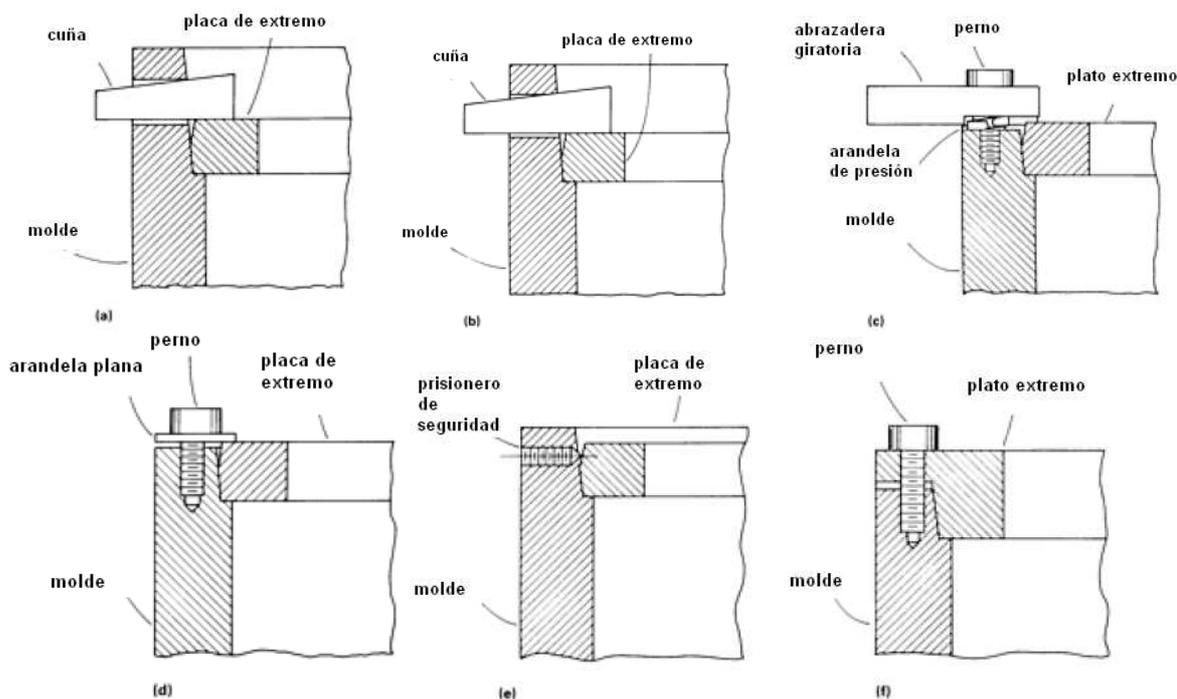


Figura 2.10. Seis diseños de la placa de extremo usado en fundición centrífuga a) a través de b) son los más comunes.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 644.

Se recomienda usar aceros de bajo carbono para moldes de centrifugado. Aceros aleados y aceros con más de 0,3% no deberían ser usados, porque estos están expuestos a agrietamiento, choque térmico, y esfuerzos por el calor del metal fundido. Los materiales más adecuados son aceros 1018, 1020, o ASTM A106, grado A. Es usualmente más conveniente hacer moldes pequeños de barras de acero conformado en caliente o de tubos de acero sin costura de pared gruesa. Se pueden hacer moldes de grandes diámetros por forja, barras conformadas en caliente con el centro tratado térmicamente, o de tubos de fundición centrífuga.

2.3.3.7.2. *Diseño de moldes de metal.*

Las tolerancias para mecanizado de piezas fundidas dependen del proceso de fusión, la condición y espesor de la aplicación de la pintura refractaria, el porcentaje de contracción del metal que está siendo fundido, la susceptibilidad del metal, y defectos de fundición tales como formación de escoria. Las tolerancias de mecanizado recomendadas se muestran en la tabla 2.5 se pueden usar como una base para el diseño del molde. Con estas tolerancias mínimas, el molde puede ser maquinado otra vez para permitir más tolerancia, el mecanizado está determinado por la experiencia y las prácticas específicas de fundición.

Tamaño de la fundición		Tolerancia en la fundición D. ext. (cada lado)		Tolerancia en la fundición D.int. (cada lado)					
				Hierros		Bronces		Aceros	
mm	In.	mm.	In.	mm.	In	mm.	In.	mm.	in
50-200	2-8	1.6	1/16	1.6	1/16	3.2	1/8	4.8	3/16
200-300	8-12	2.5	3/32	2.5	3/32	5	3/16	7.5	9/32
300-500	12-20	4	5/32	4	5/32	8	5/16	12	5/32
500-700	20-28	6	7/32	6	7/32	12	7/16	18	21/32
700-900	28-35	8	5/16	8	5/16	16	5/8	24	15/32

Tabla 2.5. *Tolerancias mínimas de mecanizado para diseño de moldes de fundición centrífuga.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volúmen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Pagina 645.

La sobre medida de contracción es la tolerancia construida dentro del molde para compensar el cambio de dimensiones ocasionada por la contracción del metal fundido cuando se enfría. Esta tolerancia de contracción es el factor con el cual el modelo es fabricado. Aleaciones diferentes tienen diferente porcentajes de contracción. Aunque el valor promedio sin restricciones por las condiciones de enfriamiento está disponible en la tabla 2.6, se debe recordar que estos pueden

variar considerablemente de acuerdo a la resistencia ofrecida por los moldes y machos.

Metal o aleación	Tolerancia de contracción	
	In./ft	mm/m
Aleaciones de aluminio	5/32	13
Bronce al aluminio	1/4	21
Latón amarillo (secciones gruesas)	5/32	13
Latón amarillo (secciones delgadas)	3/16	16
Hierro gris	1/10-5/32	8-13
Hierro fundido blanco	1/4	21
Bronce al estaño	3/16	16
Metal de armas	1/8-3/16	11-16
Plomo	5/16	26
Magnesio	¼	21
Aleaciones de magnesio (25%)	3/16	16
Bronce al manganeso	1/4	21
Cobre-Níquel	1/4	21
Níquel	1/4	21
Bronce fosfórico	1/8-3/16	11-16
Acero al Carbono	3/16-1/4	16-21
Acero inoxidable	1/4	21
Acero al manganeso	5/16	26
Estaño	1/4	21
Zinc	5/16	26

Tabla 2.6. Guía de tolerancia de contracción para varios metales y aleaciones.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 647.

2.3.3.8. Espesor de la pared del molde.

La figura 11 mostrada abajo puede ser usada como una guía general para determinar el espesor apropiado de la pared del molde para moldes de acero enfriados por agua. El espesor de la pared puede variar dependiendo de un equipamiento específico y aplicación involucrada. El espesor de la pared del molde es independiente del espesor de la pared de la fundición para moldes de acero enfriados por agua. Fundiciones con espesores de pared que exceden 305 mm (12 in) han sido fabricadas usando estas recomendaciones de espesores de pared del molde.

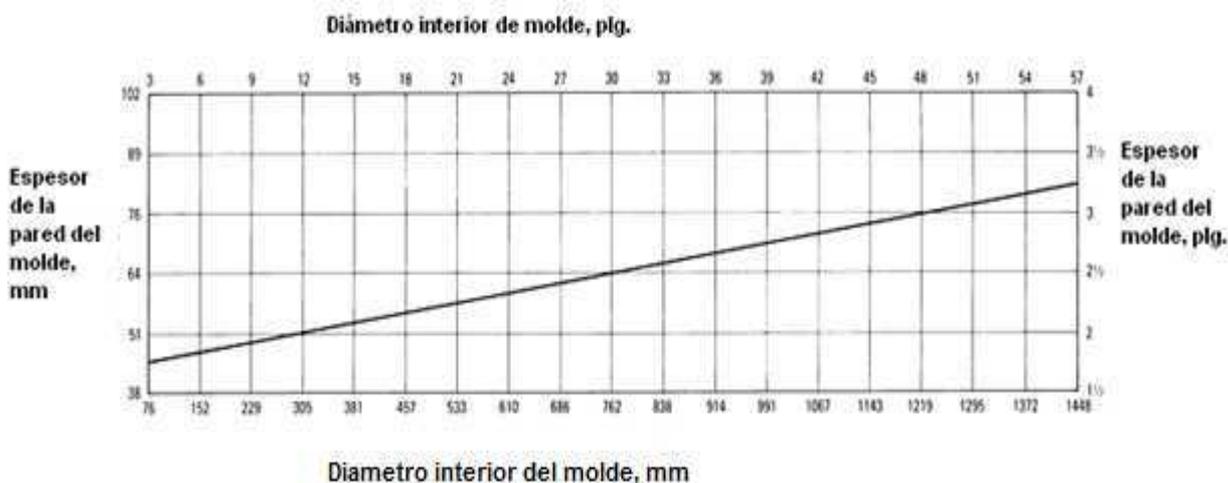


Figura 2.11. El espesor de la pared del molde es una función del diámetro interior del molde. Los valores son recomendaciones de un constructor de moldes de.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Pagina 647.

2.3.3.9. Espesor de la placa de extremo.

Dependiendo del espesor de la pared y material de la placa de extremo. Los materiales usados comúnmente en placas de extremo son los aceros ASTM A36, 1015, 1018. En caso de diámetros extremadamente grandes (>450 mm, o 18 in), los materiales de la placa de extremo pueden ser de calidad para recipientes de presión ASTM A 285 grado C o A515 grado 70.

Para una máxima adherencia de la pintura para molde a las superficies planas de las partes superior e inferior de los platos de extremo, se recomienda tener una

superficie maquinada final de cerca de 9 a 13 μm (350 a 500 $\mu\text{plg.}$) RMS, con la capa circular establecida relativa al centro del plato. La apertura en el plato superior debería ser de por lo menos 13 mm (1/2 plg.) más pequeña en diámetro que el diámetro interior de la fundición pero lo suficientemente grande para permitir que el metal fundido entre al molde.

El descanso de la placa de extremo en el molde provee un sello efectivo para prevenir fugas del metal fundido desde el molde. El grado de descanso usado en la placa de extremo depende del diámetro interior del molde y puede ser tan alto como el diámetro interior del molde más 25 mm (1 plg.) para diámetros interiores del molde de 150 mm (6 plg.) o más.

2.3.3.10. Diseño del cierre de la placa de extremo.

En la figura 10 se muestran varias placas de extremo. Estos tipos de placas son recomendados para todos los moldes verticales. Las placas de extremo recomendadas son las mostradas en la figura 10 (a), (b), y (c). Algunas placas de extremo pueden ser volteados para prolongar su vida útil, y es recomendable que sean volteados entre cada colado.

El ajuste del paso diametral de la placa de extremo del molde en el diámetro de descanso del molde debería ser como mínimo de 1.2 mm (3/64 plg.). Este paso es efectivo para placas de extremo de diámetro hasta los 380 mm (15 plg.). En placas de extremo más grandes, pueden ser necesarios pasos tan grandes como 2.5 mm (3/32 plg.) para fácil ensamblaje y remoción. El ángulo normalizado de 3° permitirá fácil ensamblaje y remoción.

El número de sujetadores, abrazaderas o cuñas usados dependen del diámetro del molde. El número de pernos recomendados son.

- Tres pernos en la circunferencia o diámetro exterior para moldes hasta los 250 mm (10 plg.)
- Cuatro pernos en la circunferencia o diámetro exterior para moldes desde 250 mm (10 plg.) hasta 380 mm (15 plg.)
- Cinco pernos en la circunferencia o diámetro exterior para moldes desde los 380 mm (15 plg.) hasta los 480 mm (19 plg.)

Moldes con diámetros grandes o para fundiciones extremadamente pesadas (> 50 mm, o 2 plg., en la sección de la pared) requieren sujeciones adicionales para una operación segura.

2.3.3.11. Diseño de la cuña y el pin de la placa de extremo

Cuñas para sostener la placa de extremo en el molde son principalmente de dos tipos: cuña cónica y pin cónico. El esfuerzo máximo admisible para cuñas y pines cónicos es 69 MPa (10 ksi). Se pueden usar barras conformadas de acero, tales como barras de acero rolado en frío o aceros inoxidable; no se deben usar pines o cuñas fundidas.

Las siguientes cargas de seguridad disponibles pueden ser usadas sin tener en cuenta el material de la cuña o pin.

Sujeción	Carga máxima de seguridad	
	Kgf	Lbf
Cuña cónica	1840	4060

Tabla 2.7. Carga de seguridad.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 648.

2.3.3.12. Platos adaptables para molde

Un plato adaptable para moldes (Figura. 12) es usualmente acoplado a una máquina de centrifugado vertical para facilitar el acoplamiento de los moldes a la máquina. También en el plato adaptable para moldes se tiene una guía de centrado del molde o indicador para alineamiento y centrado, este será concéntrico al eje de rotación de la máquina.

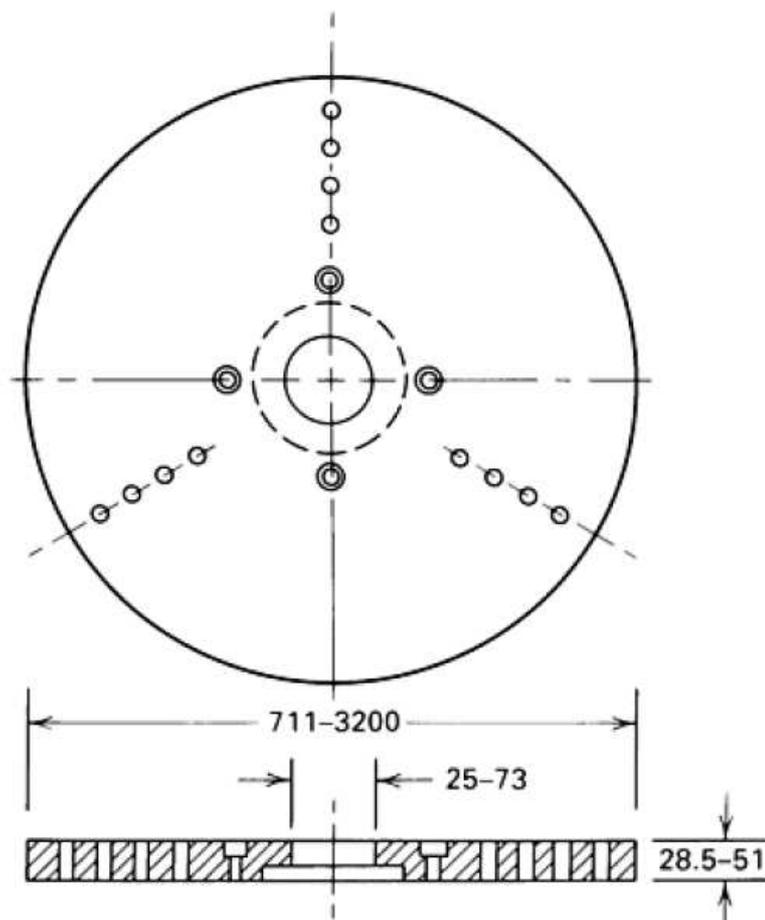


Figura 2.12. Mesa adaptable para montaje de moldes en la máquina de centrifugado vertical. Los rangos dimensionales se dan en milímetros.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Pagina 649.

Dos métodos pueden ser usados para asegurar el molde a la mesa adaptable. Un método es sujetar mediante una brida en la parte inferior del plato mediante agujeros para empernarlo directamente. El otro método es usar una brida en la parte inferior del plato con abrazaderas sujetas a la mesa de la misma forma en la que una pieza se coloca en una mesa de molino o torno vertical.

2.3.3.13. Tratamiento previo para moldes de metal

Todos los moldes, placas de extremo, y superficies a las cuales se aplicará la pintura de molde deberán ser tratados de la siguiente forma antes de ser usadas.

- Pre calentamiento del molde hasta aproximadamente 150 °C (300 °F).

- Impregnar la superficie interior del molde con una concentración acuosa de persulfato de amonio.
- Limpiar el molde con agua para quitar todos los contaminantes. El molde puede ser puesto en servicio después de este tratamiento.

Para moldes nuevos, se recomienda el siguiente tratamiento antes de su uso.

- Precalentar el molde de 250 a 260 °C (400 a 500 °F).
- Pulverizar con una pintura refractaria para molde hasta aproximadamente 0.8 mm (1/32 plg.) de espesor.
- Cepille el molde, y repita el procedimiento de pulverizar. El molde debería entonces ser cepillado y re pulverizado por tres veces.

El molde estará listo para ser usado después de este tratamiento. Si la pintura todavía no se adhiere, el molde debería ser limpiado otra vez con persulfato de amonio como se describió antes.

2.3.3.14. Lavado del molde para moldes permanentes.

Cuando se usa un molde permanente, el lavado sirve como un aislamiento refractario. Cuando se aplica en el espesor suficiente, el lavado de molde sirve de aislante, por lo tanto reduce la temperatura de la superficie del molde e incrementa su vida útil. Una gran variedad de elementos de lavado de moldes de centrifugado están disponibles comercialmente, incluyendo, sílica, circonia, y alúmina. El lavado de molde para centrifugado debe ser inerte al metal fundido que se está colando.

Las características de aislamiento del lavado de molde son necesarias para retardar o disminuir el rango de solidificación inicial con el fin de eliminar la formación de zonas frías, vueltas, gotas, etc., y producir una alta calidad homogénea en la superficie exterior de la fundición. En la mayoría de los casos, se desea una capa de pintura de lavado de molde de 0,8 mm (1/32 plg.) para obtener fundiciones satisfactorias. Equipo de pulverizado está disponible para aplicar lavado de molde para centrifugado vertical.

2.3.3.15. Detalles del proceso

2.3.3.15.1. Fundición con agujeros.

Cuando se hacen fundiciones en una máquina de fundición centrífuga vertical, el agujero de la fundición será realizado de acuerdo a la siguiente formula.

$$n_r = 264 \sqrt{\frac{h}{r_1^2 - r_2^2}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde n es la velocidad de rotación (en rpm), r_1 es el radio interior en la parte superior de la fundición (en pulgadas), r_2 es el radio interior en la parte inferior de la fundición (en pulgadas), y h es la altura de la fundición (en pulgadas).

Actualmente, si la longitud de la fundición no excede en dos veces su diámetro interior, la dimensión de la forma cónica será insignificante. La velocidad optima de rotación da como resultado una fuerza centrífuga de 75 G (75 veces la fuerza de la gravedad) en el diámetro interior. Esto se puede observar en la ecuación; ya que una velocidad rotación muy pequeña resulta en conicidad excesiva en el diámetro interior de la fundición.

Hay fundiciones para las cuales se desea fundir el diámetro interior con una conicidad predecible. Usando la ecuación, la velocidad exacta puede ser calculada para producir una conicidad aproximada en el diámetro interno de la fundición.

2.3.3.15.2. Velocidad de rotación.

Para establecer un gradiente de temperatura del metal fundido desde la parte superior del diámetro exterior al centro de rotación (eso es, solidificación direccional), usualmente es necesario para el molde estar girando cuando el metal es colado. En algunos casos, para eliminar defectos tales como erosión e incrustaciones de arena en moldes de arena, es recomendable colar a velocidades pequeñas. Sin embargo, fundiciones en centrifugación verdadera que tienen una sección de pared de 12.7 mm (1/2 in.) o menos deben ser coladas a altas velocidades porque el metal en secciones delgadas solidifica rápidamente.

Están disponibles gráficos para determinar la velocidad apropiada de rotación en la fundición centrífuga. Sin embargo, la siguiente ecuación puede ser usada para determinar la velocidad de rotación.

$$g = 0,0000142Dn_r \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde g es la fuerza centrífuga (en libras por libra o número de gravedades), D es el diámetro interior de la fundición (en pulgadas), y n es la velocidad de rotación (en rpm). La ecuación puede ser manipulada fácilmente para despejar la velocidad.

2.3.3.15.3. Curvas de la velocidad del molde.

La velocidades del molde son determinadas por el diámetro interior a ser realizado en la fundición. Las curvas de la velocidad del molde que se muestran en la figura 13 están basadas en el diámetro interior de la fundición. La longitud de la fundición no está considerada para determinar la velocidad del molde.

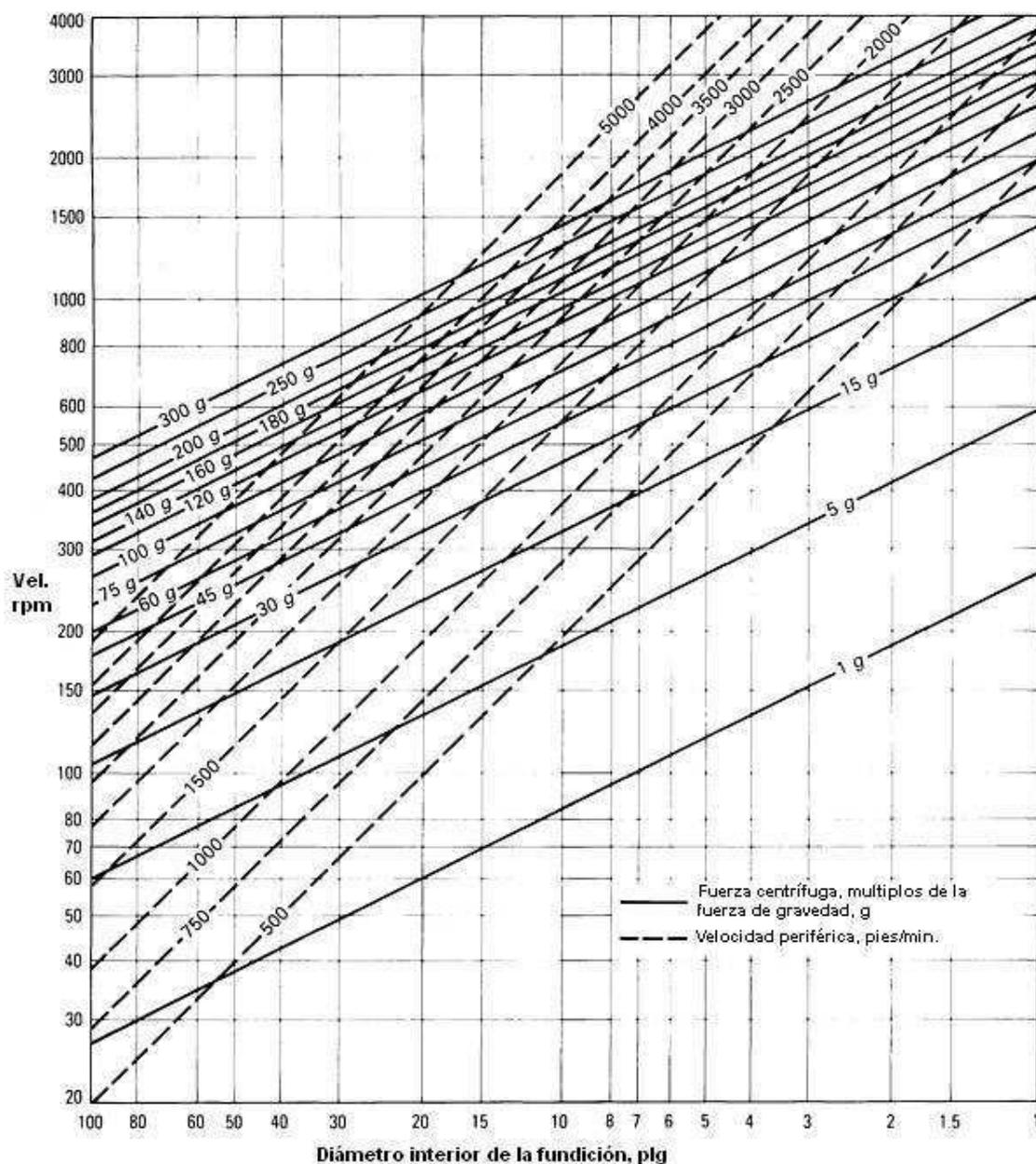


Figura 2.13. Gráfico para determinar la velocidad del molde basado en el diámetro interior de la fundición y la fuerza centrífuga requerida.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 652

Por ejemplo, el molde para producir una fundición de 100 mm (4 in.) en el diámetro exterior y 75 mm (3 in.) en el diámetro interior, una fuerza centrífuga de 60 g es calculada de la siguiente manera. Encuentre el diámetro de 3 pulgadas en la parte inferior del grafico. Se debe mover verticalmente desde ese punto hasta que la línea de 3 pulgadas se interseque con 60 g. desde esta intersección, mover

directamente al lado izquierdo del gráfico, la velocidad del molde para este caso debería ser 1150 rpm.

2.3.3.15.4. Precaución

Desde el punto de vista de la seguridad para la fundición centrífuga vertical, es altamente recomendado que la fuerza G actuando en el diámetro exterior del molde sea considerado. Es una práctica segura limitar esta fuerza a aproximadamente 200 G en el diámetro exterior del molde. Después de determinar la adecuada velocidad del molde en la gráfica de velocidad, esta velocidad debe ser revisada con el diámetro exterior del molde para limitar la fuerza G en el diámetro exterior a menos de 200 G. Si se encuentra que la fuerza es más de 200 G, la velocidad de rotación debería ser disminuida hasta que no supere los 200 G en el diámetro exterior.

2.3.3.15.5. Técnicas de colado

Para moldes permanentes, el metal generalmente es colado alrededor de 40° C (100° F) arriba de la temperatura usada para la misma pieza si esta fuese colada en un molde de arena estático. Esto se debe al efecto de enfriamiento que sufre el metal colado en moldes permanentes.

Las tasas de vertido necesario para que el colado por centrifugado se dé con éxito en un molde permanente son bastante altos en comparación con los de colado estático en moldes de arena. Es particularmente importante que la velocidad inicial de colado sea alta al principio para evitar las vueltas frías del metal. Para la mayoría de tipos de piezas de fundición centrífuga de menos de 45 kg (100 libras) se recomienda una tasa de colado alrededor de 9 kg / s (20 lb / s). Para piezas de hasta 450 kg (1.000 libras), se recomienda una tasa de colado alrededor de 9 a 23 kg / s (20 a 50 lb / s). Para piezas de fundición de más de 450 kg (1.000 libras), se recomienda una tasa de colado alrededor de 45 a 90 kg / s (100 a 200 lb / s). Al verter el metal en un molde que está girando verticalmente, es importante introducir el metal fundido en el molde de tal manera que se prevenga o minimice la turbulencia del metal fundido, la cual que puede provocar salpicaduras, pulverización, o gotas y puede dar lugar a defectos de fundición indeseables.

Aunque muchas piezas de fundición centrífuga vertical se pueden verter directamente en el molde desde la cuchara, a menudo es mejor utilizar un embudo el cual garantice la calidad del centrifugado. Con un embudo, la boquilla se puede alinear a un diámetro requerido para que, con una altura de metal fundido en el embudo, vierta una velocidad controlada. Además con la utilización del embudo se puede direccionar el flujo del metal de tal forma que se evite la turbulencia generada por el metal al entrar en el molde.

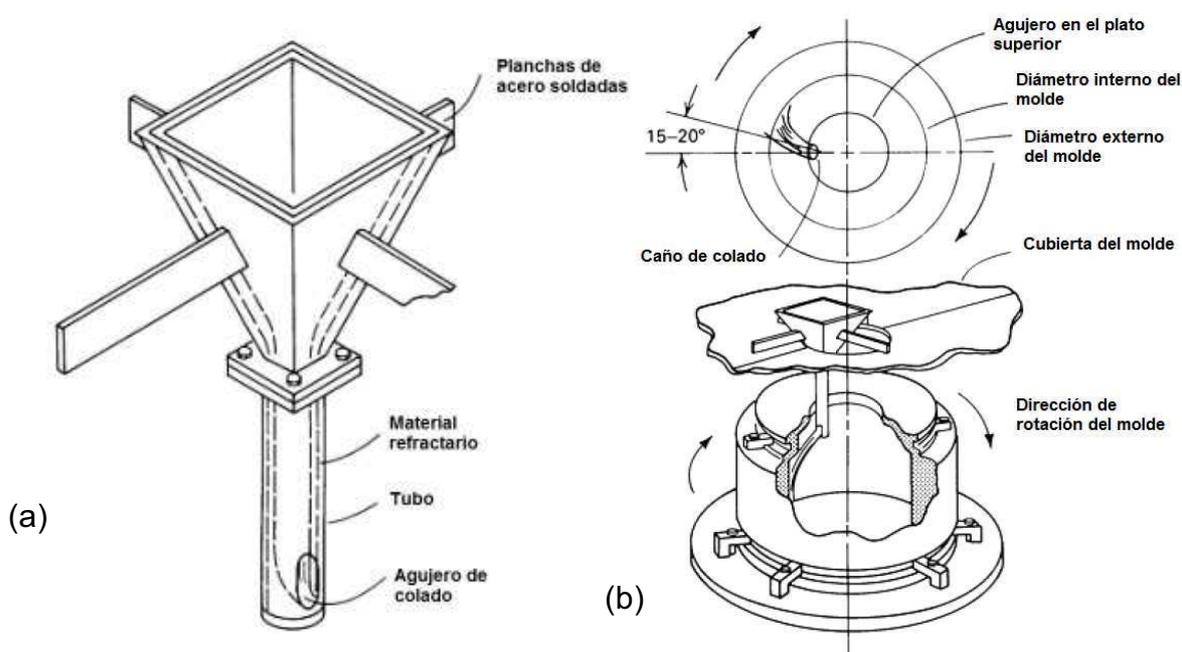


Figura 2.14. *Diseño típico del pico vertedor (a) pico vertedor posicionamiento del pico vertedor durante la colada (b).*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 654.

2.3.3.15.6. Extracción de las piezas

Existen comercialmente pinzas elevadoras, las cuales extraen la pieza fundida desde el molde sujetándola por su diámetro interior, como se muestra en la siguiente ilustración.

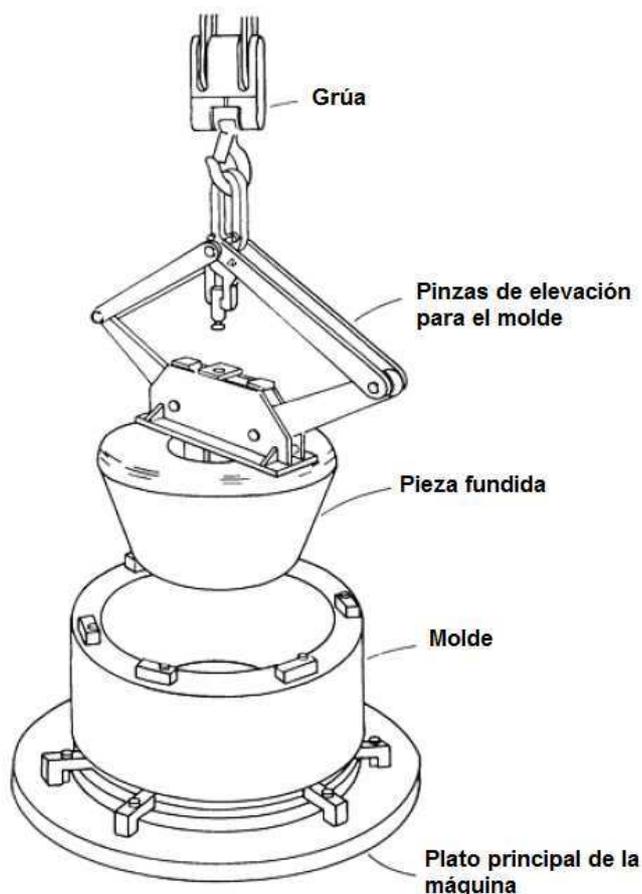


Figura 2.15. *Montaje de pinzas de elevadoras para extracción de piezas por fundición centrífuga.*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 655.}

2.3.3.16. Equipo

Las máquinas de colado por centrifugado vertical se utilizan para la producción de bujes, bridas y piezas de fundición que son relativamente grandes de diámetro y cortas de altura. Las máquinas de eje vertical también se utilizan para la producción de piezas moldeadas de configuraciones extrañas o asimétricas.

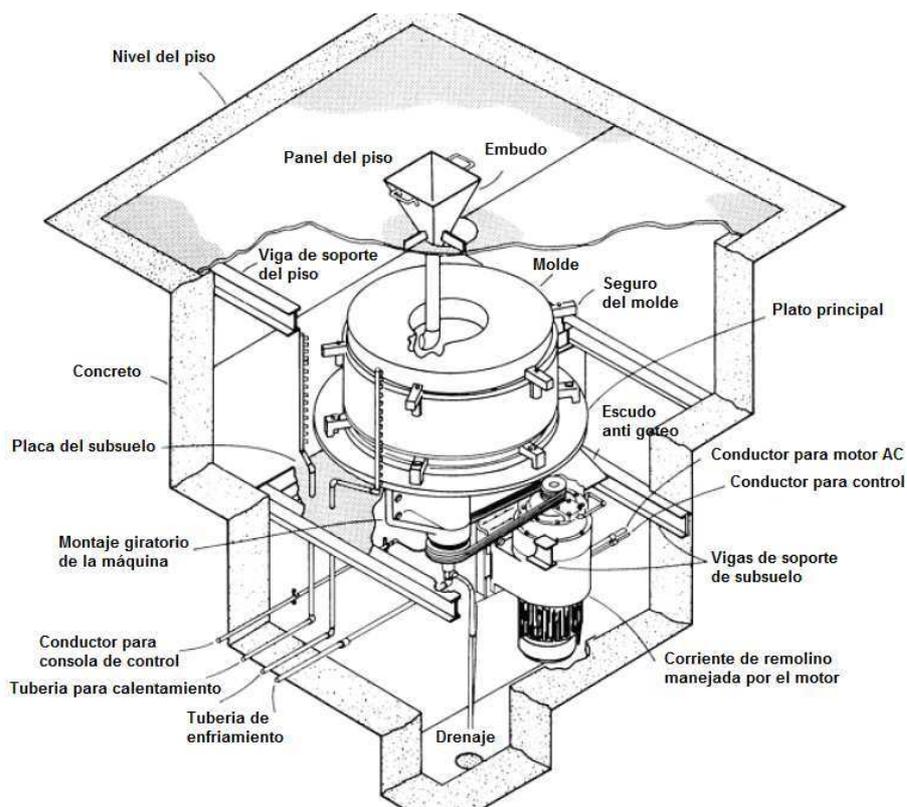


Figura 2.16. *Instalación típica de una máquina de colado centrífuga vertical. El equipo se controla desde un mando a distancia consola (no mostrado).*

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 658.

CAPITULO 3

3. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA

La decisión de desarrollar un producto parte de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad que puede tener numerosos orígenes comprendidos entre los dos casos extremos siguientes:

- La petición explícita de un cliente (producto por encargo, máquina especial)
- Un estudio de mercado del fabricante (nueva oferta, rediseño de un producto)

A partir de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad (ya sea por encargo o por consideraciones del mercado), hay que establecer la definición del producto, etapa fundamental para su diseño posterior.

3.1. MODELO DE DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN

La especificación del producto es la manifestación explícita del conjunto de determinaciones, características o prestaciones que debe guiar su diseño y desarrollo. Cabe distinguir entre dos tipos de especificaciones.

Requerimiento (R, o especificación necesaria). Es toda especificación sin la cual, la máquina pierde su objetivo.

Deseo (D, o especificación conveniente). Es toda especificación que, sin ser estrictamente necesaria para el objetivo de la máquina, mejoraría determinados aspectos de ella.

Como referencia inicial del proceso de diseño conviene organizar las especificaciones de un proyecto en un documento breve denominado documento de especificación (o, simplemente especificación) con el máximo de información útil, en la cual se desarrollan los siguientes campos

3.1.1. CONCEPTO.

Facilita la agrupación de las especificaciones (funciones, movimientos, fuerzas) de manera que sean fácilmente localizables, tabla 3.1.

Lista de referencia de especificaciones.	
Conceptos	Determinaciones
Función	Descripción de las funciones principales, ocasionales y accidentales del producto (si es necesario con esquema).
Dimensiones	Espacios, volúmenes, masas, longitudes, anchuras, alturas, diámetros; número y disposición de elementos.
Movimientos	Tipos de movimiento; desplazamientos, secuencias y tiempos; trayectorias, velocidades y aceleraciones.
Fuerzas	Magnitud, dirección y sentido de fuerzas y momentos; variación en el tiempo; desequilibrios y deformaciones admisibles.
Energía	Accionamiento mecánico y otros conversores de energía: alimentación y control; transmisiones; potencia y rendimiento.
Materiales	Flujo, transporte y transformación de materiales; limitaciones o preferencias sobre su uso; condicionantes de mercado.
Señales y control	Señales de entrada y salida; sensores y actuadores; funciones del sistema de control.
Fabricación y montaje	Volumen previsto de producción y cadencia en el tiempo; limitaciones o preferencias en procesos y equipamiento; variantes en el producto y flexibilidad en la fabricación.
Transporte y distribución	Embalaje y transporte: dimensiones, masas, orientación, golpes; instalación, montaje y puesta a punto.
Vida útil y mantenimiento	Vida prevista; fiabilidad y mantenibilidad; tipo de mantenimiento e intervalos de servicio; criterios sobre recambios.
Costes y plazos	Costes de desarrollo y preparación de utillaje; plazos de desarrollo y tiempo para el mercado.
Seguridad y ergonomía	Sistemas y dispositivos de seguridad; relación con el usuario: operación, inteligibilidad, confort y aspecto.
Impacto ambiental	Consumos de energía y materiales; limitaciones al impacto ambiental en la fabricación, utilización y fin de vida.
Aspectos legales	Cumplimiento de normativas (función de los usos y mercados); evitar la colisión con patentes

Tabla 3.1. *Lista de referencia de especificaciones*

Fuente: C. Riba, Diseño Concurrente, Departamento de Ingeniería Mecánica ETSEIB-UPC, España, 2002,

3.1.2. FECHA.

Determina la fecha (o reunión) en la que se acordó una especificación. Conviene ordenarlas por fechas cada vez más recientes.

3.1.3. PROPONE.

Mantiene constancia, por medio de signos, de quien propuso cada una de las especificaciones (el cliente, un departamento de la empresa fabricante). Si hay que reconsiderar una especificación o recabar información adicional sobre una de ellas, conviene localizar rápidamente con quien hay que tratar el tema.

3.1.4. TIPO.

Indica si una especificación es un requerimiento (R) o un deseo (D); también indica si se trata de una modificación de requerimiento o de deseo (MR, MD), o de un nuevo requerimiento o deseo (NR, ND).

3.1.5. DESCRIPCIÓN

Explicación breve y concisa de la especificación desde el punto de vista de los requerimientos y deseos del usuario del producto. Hay que evitar las descripciones que incluyan soluciones concretas.¹⁴

La tabla 3.2 representa un modelo adecuado.

¹C. Riba, Diseño Concurrente, Departamento de Ingeniería Mecánica ETSEIB-UPC, España, 2002, Página 85

Especificación

EMPRESA: FUNDIRECICLAR S.A.		PRODUCTO: Máquina vertical de colado por centrifugación.		Fecha inicial: 01/12/2010
				Ultima revisión: 20/12/2010
				Página 1/1
ESPECIFICACIONES				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	01/12/2010	C	R	Máquina para el colado por centrifugado de bridas tipo slip on
	01/12/2010	C	D	Incluir un sistema de calentamiento de la coquilla
	10/12/2010	C	R	Producir hasta 1000 Kg diariamente
	15/12/2010	C	MR	Producir hasta 500 Kg diariamente
	18/12/2010	C+I	D	Incluir un sistema de rápida extracción de la brida producida
Dimensión.	01/12/2010	C	R	Bridas desde 6 hasta 12 in.
	09/12/2010	C	R	Peso de las bridas hasta 25 Kg
	01/12/2010	C	R	Espacio disponible: 2x2 m
	10/12/2010	C	MR	Espacio disponible: 2x1,5 m
Movimiento	05/12/2010	C+I	R	Giro vertical de la coquilla
Materiales	01/12/2010	C	D	Bridas de Acero Inoxidable 304
Señales y control	01/12/2010	C	R	Consola de control automático de la máquina
	18/12/2010	C+I	D	Variación de la velocidad de rotación según el tamaño de la brida
Vida útil y mantenim.	18/12/2010	C	R	En operación: 10 años
	20/12/2010	I	D	Fácil mantenimiento especialmente al montar y desmontar la coquilla
Costes y plazos	20/12/2010	C	D	Coste máximo de fabricación: 15.000 USD
Seguridad y ergonomía	10/12/2010	C	D	Altura máxima de colado: 1,1 m
	05/12/2010	I	R	Carcasa protectora sobre la coquilla en funcionamiento
Aspectos legales	01/12/2010	C	R	Cumplimiento con la norma AWWA C 207

Propone: C = Cliente; I = Ingeniería.

R/D: R= Requerimiento; MR = Modificación del requerimiento; D = Deseo

Tabla 3.2. Especificaciones para el diseño de una Máquina vertical de colado por centrifugado para la producción de bridas en acero inoxidable

Fuente: Propia

Las diferencias en la etapa inicial del producto llevan a menudo al desenfoco de su solución, dedicando esfuerzos a aspectos secundarios, a la vez que se desatienden aspectos fundamentales. No es raro que una mala definición del producto conduzca al fracaso global del proyecto.

La definición del producto se establece a través de la especificación que constituye la guía y referencia para su diseño y desarrollo. Uno de los métodos que han demostrado mayor eficacia en esta actividad es el desarrollo de la función de calidad (QFD).

Es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios, a la vez que constituye una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación.

3.2. CASA DE LA CALIDAD.

Es la más utilizada de las cuatro matrices que definen el proceso de desarrollo de la función de la calidad, la cual traduce las demandas de los usuarios en requerimientos técnicos del producto, y da una clara concepción de las especificaciones más importantes que van a guiar el proceso de diseño de la máquina. En ella se distinguen seis pasos.

3.2.1. PASO 1. (Voz del usuario).

Las demandas de los clientes deben cumplir un papel preponderante en todo proceso de diseño de un nuevo producto o servicio. Este primer paso consiste en pedir a los clientes todos y cada uno de sus requerimientos y deseos de tal manera que se los pueda categorizar y formar una lista más pequeña con los puntos representativos de la entrevista.

Para el presente documento se contó con la ayuda del Sr. Joaquín Arroyave. Jefe de Hornero. Y al Sr. Telmo Mendoza. encargado del colado del metal fundido, en

la Empresa FUNDIRECICLAR. S. A., los cuales se les planteo una sola pregunta acerca de las necesidades y requerimientos que encontraría para una máquina de colado por centrifugado vertical. Gracias a su experiencia en el campo de la fundición, respondieron responsablemente como se muestra en el (ANEXO D).

Una vez recopilados las ideas de ambos colaboradores, el equipo de diseño procedió a reunir las y expresarlas de manera más concreta y precisa sin que esto desvíe la intención original de sus autores, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Voz del Usuario Necesidades y deseos del Usuario
Rápida
Fabrique varios tamaños
Compacta
Cero vibraciones
Fácil para vaciar la colada
Bajo consumo Eléctrico
Rápido calentamiento de la coquilla
Rápido enfriamiento de la coquilla
Fácil de transportar
Fácil de armar y desarmar
Que cuente con protecciones
Que sea fácil de operar
Que no sea costosa

Tabla 3.3. *Voz del usuario.*

Fuente: Propia

Las demandas o deseos recopilados tienen diferente importancia desde el punto de vista de los clientes y se clasifican en:

- Demanda básica (B). A menudo no son formuladas por los usuarios ya que se consideran obvias; sin embargo cuando no se cumplen, el usuario manifiesta insatisfacción.

- Demandas unidimensionales (O). Con su mejora aumentan proporcionalmente la satisfacción de los usuarios.
- Demandas estimulantes (E). Estas características complacen al usuario y diferencian un producto de otro. En caso de no darse, no producen insatisfacción en el usuario.

Con el tiempo las demandas estimulantes se convierten en unidireccionales y estas últimas en básicas.

3.2.2. PASO 2. (Análisis de la competencia).

A continuación hay que plantear a los usuarios tres preguntas en relación con cada una de las demandas de la lista.

- a) ¿Qué importancia tiene para usted su cumplimiento?
- b) ¿En qué grado los productos de la empresa la cumplen?
- c) ¿En qué grado los productos de la competencia la cumplen?

En el presente caso analizaremos la competencia basándonos en dos máquinas de colado por centrifugación vertical de diferentes empresas.

- Competencia 1. Tulsa Centrifugal Casting Machines. Modelo VP-500 ¹⁵ (ANEXO E)
- Competencia 2. Gibson Centri Tech Limited. Modelo UGV1 SP¹⁶ (ANEXO F)

Nuevamente ayudados por los dos colaboradores se calificó los productos en relación a los de la competencia (ANEXO G).

¹⁵ <http://www.centrifugalcasting.com/>, Fecha: 18/12/2010

¹⁶ <http://www.gibsoncentritech.co.uk/>, Fecha: 15/12/2010

Voz del Usuario Necesidades y deseos del Usuario	Evaluación Del usuario		
	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2
Rápida			
Fabrique varios tamaños			
Compacta			
Cero vibraciones			
Fácil para vaciar la colada			
Bajo consumo Eléctrico			
Rápido calentamiento de la coquilla			
Rápido enfriamiento de la coquilla			
Fácil de transportar			
Fácil de armar y desarmar			
Que cuente con protecciones			
Que sea fácil de operar			
Que no sea costosa			

Tabla 3.4. *Formato de evaluación de la satisfacción de las necesidades del cliente en relación a la propia empresa y a la competencia.*

Fuente: Propia

Una vez obtenidas estas respuestas (evaluadas generalmente de 1 a 5), los promedios se compilan en las columnas A, B y C de la casa de la calidad.

A partir del análisis de la competencia, se establece objetivos a cumplir (columna D) en relación a las demandas de los clientes, así como un índice de mejora (columna E) que indica el grado de mejora que la empresa se propone para cada demanda. También se hace especial énfasis en las demandas que se consideran puntos fuertes en la venta, o factor de venta (columna F) y en la importancia (columna G) evaluada por los usuarios.

Columna D: Objetivos (fijación del nivel deseado, de 1 a 5)

Columna E: Índice de mejora ($E = D/A \geq 1$)

Columna F: Factor de venta (evaluación en niveles de 1; 1.5; 1.2)

Columna G: Importancia (a partir de respuestas del los usuarios, de 1 a 5)

Finalmente se establece una ponderación (columna H), y una ponderación porcentual (columna I) para cada una de las demandas del cliente.

Columna H: Ponderación ($H = E * F * G$)

Columna I: Ponderación porcentual (en % sobre el total de las demandas)

3.2.3. PASO 3. (La voz del Ingeniero).

El reto más importante en la construcción de la casa de la calidad es la traducción de las demandas subjetivas de los clientes en características técnicas objetivas del producto, lo que constituye la voz del Ingeniero.

Para realizar este paso, se debe crear una lista de características técnicas que puedan dar cumplimiento a las demandas. Como mínimo para una demanda se debe identificar una característica técnica.

De la misma forma en que el usuario califica el producto propio con los de la competencia según sus necesidades expresas. De la misma forma se califican las características técnicas que surgen de interacción de las ideas del cliente con la voz del Ingeniero. Dichas características en este caso serán calificadas ya no por los usuarios sino por las personas encargadas del diseño de la máquina. Tabla 3.5.

Calificación de las características técnicas (Voz del Ingeniero)				
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2	CRITERIO DE CALIFICACIÓN
Velocidad	3	3	3	La rapidez del proceso se ve definida por formulas ya establecidas a las que se rigen las tres máquinas por lo que la diferencia en el tiempo fusión no es significativa, según la Ec. 2.3, y la figura 13. La velocidad mínima para colar una brida de 12 (plg) es 800 rpm, pero por seguridad se considera que una velocidad de 1000 rpm sería adecuada, como mínima.
Flexibilidad	2	4	5	El control de las máquinas de la competencia es superior, debido a su experiencia, la máquina debe ser fácil de operar, por lo que una simple botonera sería necesario, para que un operario familiarizado con ese tipo de control lo pueda operar, por ejemplo, control del horno de GLP, control de la compactadora de chatarra, control del mezclador de arena.
Dimensiones generales	4	4	3	Al reducir las dimensiones de la máquina, cumplimos con uno de los factores preponderantes en el diseño, cumpliendo con un requerimiento directo del cliente, el área disponible para colocar la máquina es de 4m ² , debido a que esta no puede ocupar más espacio que el horno de Inducción, considerado el alma de la empresa.
Estabilidad	3	5	5	Las vibraciones que se encuentren en el proceso serán factores con los que el diseño tendrá que liderar ya que no es factible su completa eliminación, pero en la planta se cuenta con una máquina recuperadora de arena por vibración, y sería ilógico tener una máquina que vibre más que esta, por lo que nos sirve de referencia, las vibraciones deben ser menores que esta, teniendo en cuenta que el recuperador esta amortiguado.
Altura	3	4	5	La altura de la máquina a diseñar tendrá una altura fija definida por la ergonomía de los coladores, no se considera un factor crítico, esta no deberá exceder de un metro y veinte centímetros.
Sistema de colado	5	5	4	Es un punto crítico del diseño, ya que si el sistema que escojamos para llenar el molde no es el adecuado corremos el riesgo de fallar en la producción y peor aun causar graves accidentes Industriales, debe permitir cumplir con la programación de la producción de la empresa.
Potencia del motor	4	3	4	Se escogerá un motor que concuerde con la cantidad de energía necesaria para los productos ya definidos anteriormente, el motor deberá estar en el rango de potencia de las máquinas consideradas indispensables en la empresa, como el del recuperador de arena, máquina de moldeo, y compresor de tornillo hasta 10 Hp.
Tiempo de calentamiento	3	4	4	El calentamiento de la coquilla puede estar incorporado en la misma máquina o no, dependiendo del régimen de producción, al tener experiencia en colado en coquilla, esto no debe llevar más de media hora.

Tiempo de enfriamiento	3	4	5	Al igual que con el calentamiento de la coquilla, el enfriamiento puede darse dentro o fuera de la máquina, el enfriamiento es mas sencillo, por lo que no debe llevar más de 10 min, en base a la experiencia de colado en coquilla.
Peso	5	4	5	Al querer transportar la máquina sobre el área de colado para posicionarla frente al horno y luego de terminado el proceso retirarla, el peso total es un factor de suma importancia, teniendo en cuenta que en el mejor de los casos se cuenta con un puente groa que corre por toda la planta, y puedo manejar hasta 3 toneladas, no se debe exceder este peso.
Mantenibilidad	4	5	5	La máquina debe ser de fácil acceso para los operarios de colado y de desmoldeo, para esto debe contar con partes removibles o abatibles que faciliten el trabajo del personal, el montaje o desmontaje total de la máquina o una de sus partes, no debe llevar más de 1 hora, para el personal capacitado que conoce la máquina.
Seguridad Industrial	5	4	5	El punto sin duda más importante ya que en un trabajo como el de la fundición cualquier equivocación en la fase del colado puede llegar a ser muy grave para el personal, la máquina debe ser diseñada cumpliendo con las normas del código de trabajo, referente a su capítulo de seguridad industrial.
Facilidad de operación	4	4	4	
Precio	5	4	4	

Tabla 3.5. *Evaluación de la satisfacción de las características técnicas en relación a la propia empresa y a la competencia.*

Fuente: Propia

3.2.4. PASO 4. (Correlaciones).

El cuerpo de la casa de la calidad muestra las capacidades de cada característica técnica para satisfacer al cliente en cada una de las demandas. En este paso hay que formularse la siguiente pregunta.

Hasta qué punto se podrá predecir que se van a satisfacer las demandas a partir de las características técnicas elegidas.

El resultado a esta pregunta se satisface en tres diferentes niveles: fuerte, mediano, débil y sin relación. Como se muestra en el ANEXO H.

3.2.5. PASO 5. (Evaluación técnica).

Este paso se realiza después de haber completado el cuadro de correlaciones del paso anterior y consiste en la evaluación de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las demandas del usuario.

Para ello se calcula la incidencia de cada característica técnica en base al sumatorio de los productos de los factores de incidencia, I_d , función de cada correlación (fuerte = 9, mediana = 3, débil = 1, como se muestra en el ANEXO H). Por el correspondiente valor de la ponderación S_{dt} , (columna H del ANEXO H).

Importancia $t = \sum I_d * S_{dt}$

Importancia porcentual (en forma de % sobre el total de las características técnicas).

3.2.6. PASO 6. (Compromisos técnicos).

El techo de la casa de la calidad contiene los distintos compromisos entre las características técnicas del producto que la empresa debe sopesar y decidir, para situarse lo mejor posible en el mercado. Se ha establecido cuatro niveles de correlación con sus respectivos símbolos tal como se ilustra en el ANEXO H.

Después del desarrollo completo de la matriz de la casa de la calidad, concluimos que los aspectos primordiales a ser tomados en cuenta en el diseño de la máquina son.

- La seguridad industrial
- Buen sistema de colado
- Precio de no más de \$20000
- Fácil mantenimiento
- Facilidad de operación
- Dimensiones generales de no más de 2,50m x 2,50 m.

CAPITULO 4

4. PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

4.1. ALTERNATIVA 1

4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

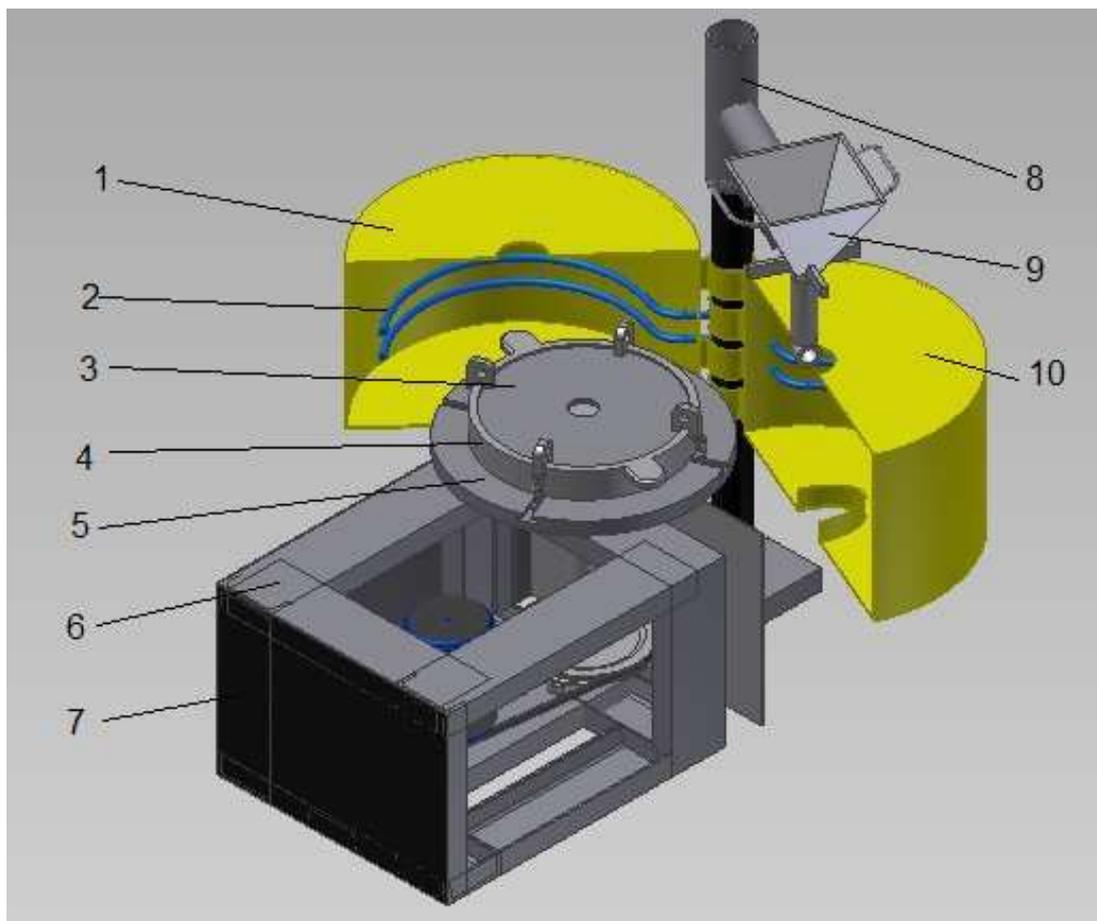


Figura 4.1. *Alternativa 1, diseño propio.*

Fuente Propia

1. Carcasa de la coquilla y del plato, parte 1.
2. Sistema de enfriamiento
3. Tapa de coquilla
4. Base coquilla
5. Plato de soporte
6. Estructura soporte
7. Tapas de la estructura para protección del motor y sistema de transmisión.

8. Soporte y guía de embudo de colado
9. Embudo para colado.
10. Contenedor de coquilla y plato, parte 2.

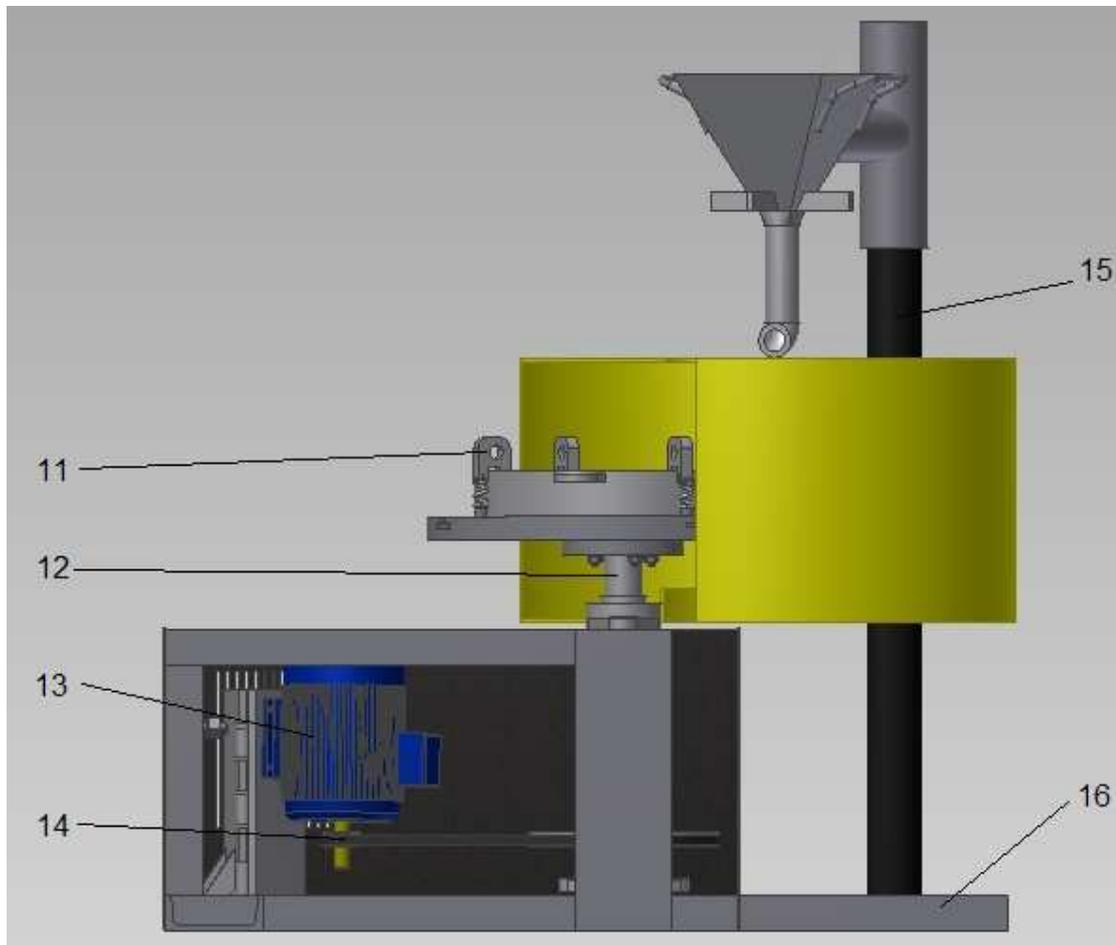


Figura 4.2. Alternativa 1, vista lateral.

Fuente Propia

11. Sujeción de la coquilla.
12. Brida y eje.
13. Motor
14. Sistema de transmisión por poleas y bandas.
15. Soporte de guía, embudo, y carcasa de coquilla y plato.
16. Base de la máquina.

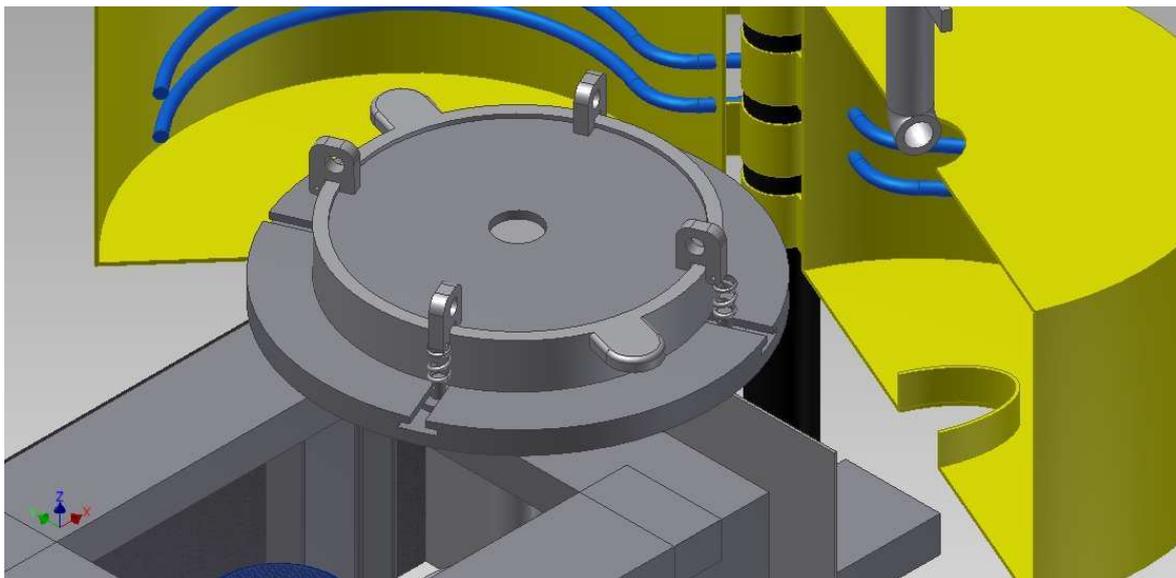


Figura 4.3. *Coquilla y sistema de sujeción, Alternativa 1.*

Fuente Propia

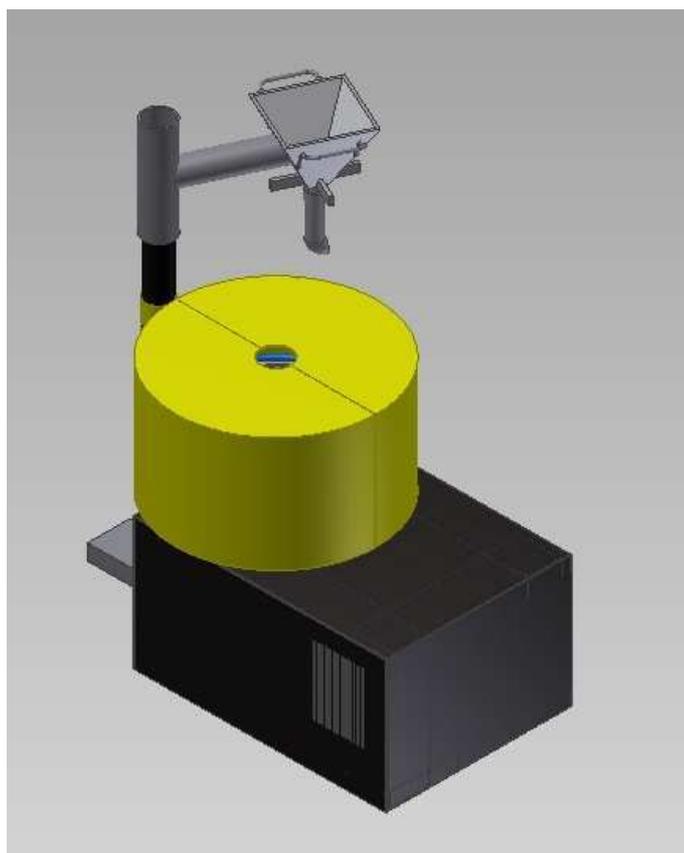


Figura 4.4. *Alternativa 1 contenedor cerrado.*

Fuente Propia

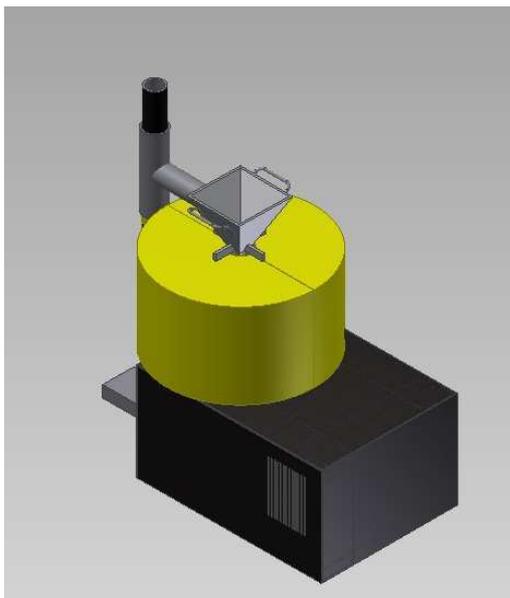


Figura 4.5. *Alternativa 1 contenedor cerrado y embudo en posición de colado.*

Fuente Propia

4.1.2. FUNCIONAMIENTO

La máquina indicada en la Figura 21, permitirá hacer bridas de acero inoxidable de varios diámetros, por lo que permite montar coquillas (3) para las bridas de diferentes tamaños, éstas se colocan en el plato (5) que tiene un sistema de sujeción mediante un seguro y un resorte que se tensa para mantener a la tapa de la coquilla (3), y a la misma en su posición, para fabricar la variedad de bridas, el conjunto plato brida esta dentro de un carcasa (1), que se cierra en dos partes y forma un cilindro que en su contorno tiene el sistema de enfriamiento (2) de la coquilla por chorro de agua, para mantener una temperatura de alrededor de 200°C en la coquilla cuando empiece a colarse el metal, esto evitará que se produzca daños por elevadas temperaturas, y alargará la vida útil de la misma. En la carcasa inferior se tiene el sistema de transmisión (14) que está constituido de dos poleas y una banda, que transmiten el movimiento desde el moto provisto de un sistema electrónico variador (13) hasta el eje (12), que tiene en su extremo una brida para acoplarse al plato y finalmente originar el movimiento que creará el centrifugado.

Las coquillas tienen que estar a una temperatura de alrededor de 200°C antes de montarlas en la máquina, por lo tanto éstas se deberán calentar con flama de

GLP, una vez calientes se montan en la máquina se las sujeta al plato, y se cierran las tapas que forman el cilindro (1), para llevar el metal líquido hasta la coquilla. la máquina tiene un embudo (9), que está soportado en el mismo mástil (12) que la carcasa de la coquilla, y posicionado de tal manera que al bajarlo hasta la posición de colado envíe el metal fundido a la sección adecuada de la coquilla, una vez que se empieza a colar, la máquina incrementa la velocidad hasta la de centrifugado para obtener bridas con buenas características físicas y mecánicas, mientras se está colado actuará un chorro de agua sobre las coquillas tratando de mantener la temperatura de la misma alrededor de 200°C puesto que el metal se está colando a aproximadamente 1600°C, una vez que termina el centrifugado se abre las compuertas, se libera la coquilla y se la extrae con la brida en el interior, para repetir el procedimiento se coloca otra coquilla preparada, la coquilla usada se desarma fuera de la máquina y se extrae la brida.

4.2. ALTERNATIVA 2

4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

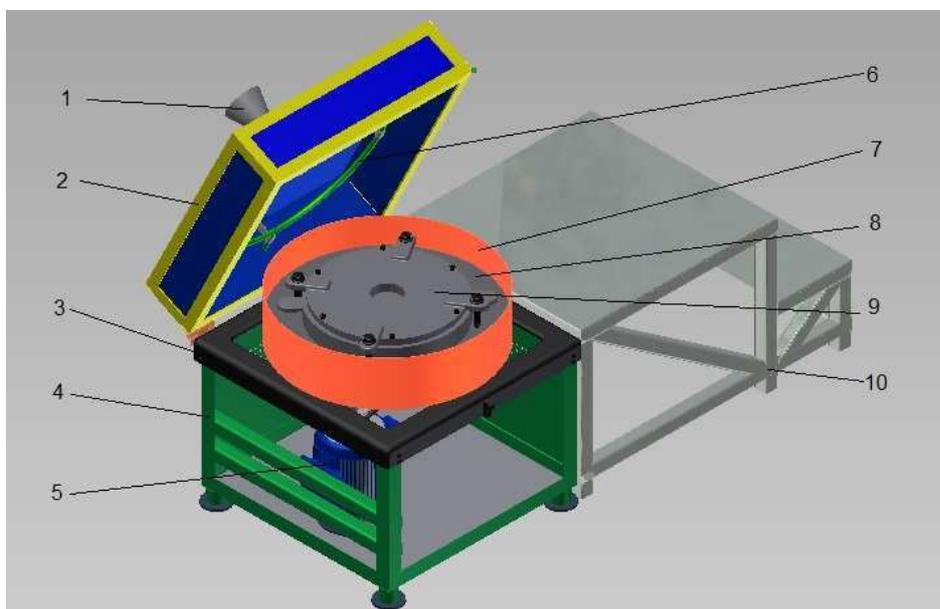


Figura 4.6. Alternativa 2.

Fuente Propia

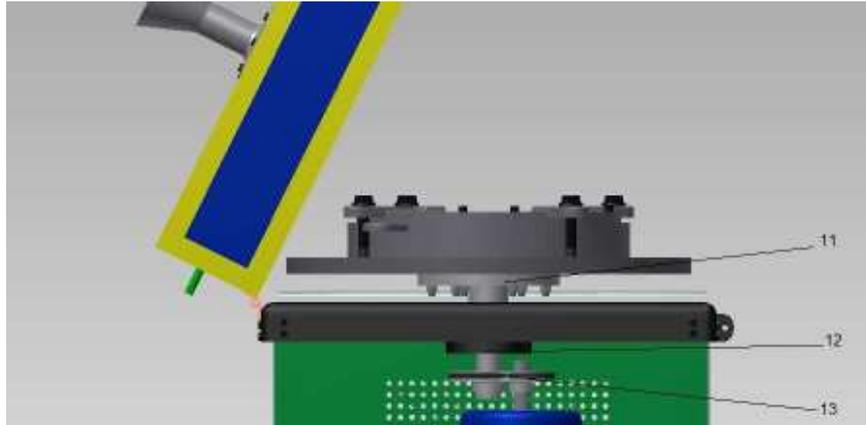


Figura 4.7. Alternativa 2, vista de sistema de transmisión.

Fuente Propia

La máquina mostrada en la figuras 23 y 24 está constituida de los siguientes elementos.

1. Embudo.
2. Tapa.
3. Bastidor de hierro dúctil.
4. Estructura soldada de acero conformado en caliente, ángulos y tubos.
5. Motor.
6. Tubería para agua de enfriamiento.
7. Contenedor de tol rolado, y base soldada.
8. Plato.
9. Coquilla para colar bridas de acero inoxidable.
10. Escaleras
11. Eje con brida.
12. Rodamientos.
13. Sistema de transmisión por poleas y banda.

4.2.2. FUNCIONAMIENTO

La máquina consta de un bastidor en hierro dúctil (3), el cual soporta al plato (8) que tiene agujeros a diferentes diámetros de tal manera que puede soportar coquillas (9) de diferentes tamaños para poder colar las bridas de diferentes diámetros, antes de empezar el centrifugado las coquillas se estarían calentando

en lugar separado de la máquina, debido a que las coquillas se tienen que colocar en la máquina a una temperatura de alrededor de 200° C para que al colar el metal que está alrededor de 1600°C no se produzca choque térmico o erosión de las coquillas, de acuerdo a la cantidad de bridas a producir se debe tener un número de coquillas que permita tener un régimen de producción adecuado, las coquillas se sujetarán al plato mediante pernos, para su fácil colocación las coquillas deben tener una guía que las ubique fácilmente sobre el plato, su montaje y desmontaje deberá ser sencillo.

Una vez colocada la coquilla calentada en el plato, y después de haber sujetado con los pernos respectivos, se baja la tapa (2) que contiene el embudo (1) y este está diseñado de tal manera que al tapar la máquina ubique al embudo en la posición ideal para que al realizar el colado, el material vaya en la dirección correcta, también en la tapa se encuentra una tubería para el agua (6) de refrigeración de la coquilla, también la tubería se ubica en la posición correcta al tapar la máquina, al encenderla empezará a girar a una velocidad determinada que no será la de centrifugado simplemente será una velocidad que permita al inicio del proceso dirigir el flujo, para facilitar el colado a un costado de la máquina se tiene unas escaleras (10) para que la persona encargada del colado tenga buena visibilidad, esté cómodo, y realice el menor esfuerzo posible, debido a que la persona ya está acostumbrado a colar moldes que están en el piso, cuando empieza el colado la máquina incrementará la velocidad a la de centrifugado que será determinada para cada tipo de brida, mientras se está produciendo el centrifugado se aplica un chorro de agua por medio de la tubería (6) sobre la coquilla para evitar que esta alcance temperaturas elevadas que puedan dañarla, el contenedor (7) evita que el agua se derrame fuera de la sección de colado, debido a que estará caliente y puede causar daño al personal o a equipos aledaños.

El bastidor (3) está colocado sobre una estructura (4) de acero conformado en caliente soldado, el bastidor está unido a la estructura mediante pernos, puesto que no se puede soldar hierro con acero, la estructura tiene unas patas regulables en altura para nivelarla y evitar vibraciones excesivas, el movimiento del plato para producir el centrifugado es generado por un motor variador eléctrico (7), y

transmitido mediante poleas y bandas (13) al eje y brida (11) que soportan el plato.

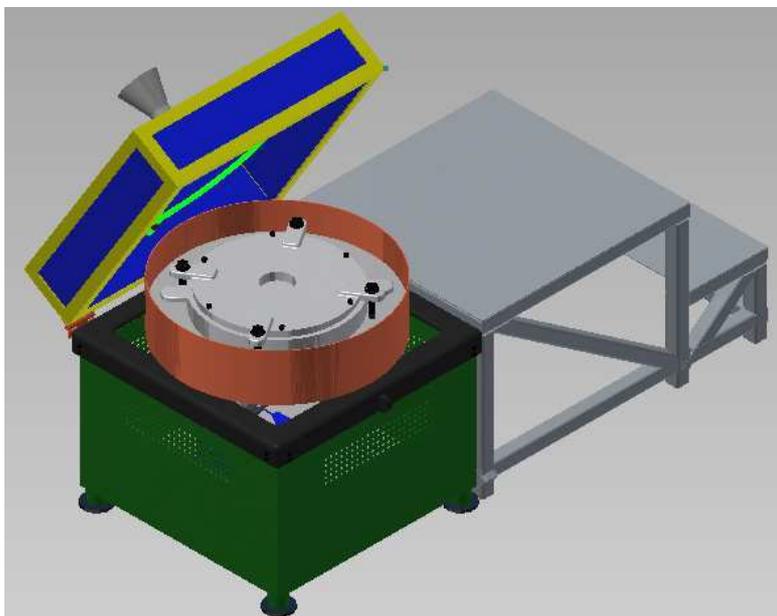


Figura 4.8. *Alternativa 2 con la tapa abierta.*

Fuente Propia

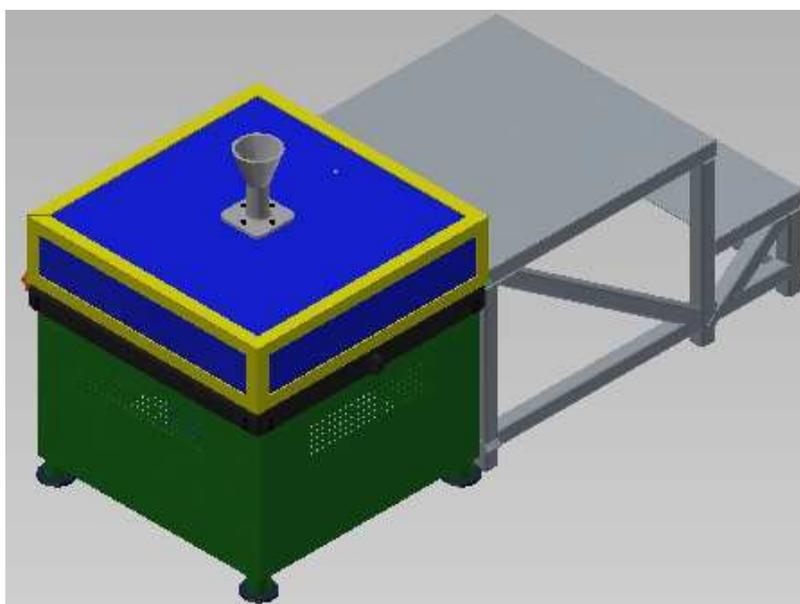


Figura 4.9. *Alternativa 2 con tapa cerrada lista para iniciar el proceso.*

Fuente Propia

4.3. ALTERNATIVA 3

4.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

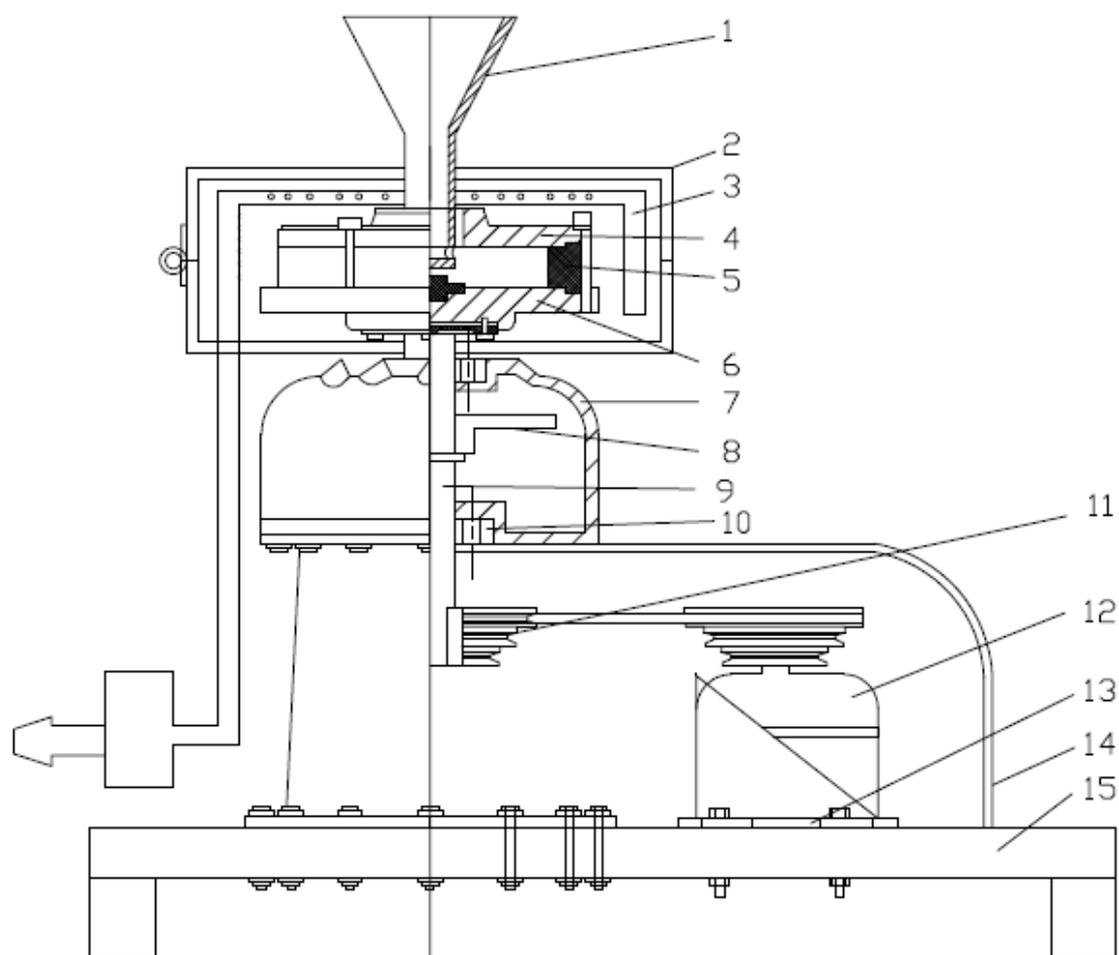


Figura 4.10. Alternativa 3, diseño propio.

Fuente Propia

La máquina mostrada tiene los siguientes componentes:

1. Embudo
2. Contenedor
3. Tubería de enfriamiento
4. Tapa de la coquilla
5. Cilindro de la coquilla
6. Base de la coquilla
7. Carcasa del sistema de movimiento.
8. Volante de inercia

9. Eje
10. Rodamiento
11. Poleas y banda
12. Motor eléctrico
13. Soporte del motor
14. Carcasa del sistema de transmisión
15. Soporte de la máquina de centrifugado.

4.3.2. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

La coquilla constituida de las partes (4, 5, 6) empieza a girar a una velocidad de alrededor de 40 rpm para direccionar el flujo una vez que se inicie el colado, antes de empezar a colar se debe colocar la banda en las respectivas poleas (11) para realizar una brida de tamaño definido, el movimiento es generado por un motor eléctrico (12), es cual transmite el movimiento es transmitido mediante una banda y poleas, la cual esta acoplada a un eje (9) en cuyo extremo se tiene una brida para conectar con la coquilla, también se cuenta con un volante de inercia (8) para facilitar el movimiento, todo el sistema de transmisión se encuentra contenido en una carcasa de hierro gris.

El material se colara por el embudo (1), cuando se inicia este proceso la máquina empieza a girar a la velocidad de centrifugado, para generar la fuerza necesaria para que las bridas se formen sin poros ni escoria en el interior, mientras se está colando se aplica un chorro de agua por medio de la tubería de enfriamiento (3), para mantener una temperatura de alrededor de 200 °C y cuidar la coquilla, una vez terminado el proceso de centrifugación la brida ya se ha solidificado, entonces se levanta la tapa (4) y se extrae la coquilla con la brida en el interior, para repetir el proceso se debe montar una nueva coquilla. Las coquillas deben estar a una temperatura determinada por lo que se deben estar calentado mientras se está fundiendo y se esta centrifugando, la coquillas se deben montar calientes para evitar daños por choque térmico.

CAPITULO 5

5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

5.1. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Después de haber planteado tres alternativas, se procede con la evaluación de las mismas para tomar la decisión más adecuada. Esta evaluación se basará en distintos aspectos del sistema, obtenidos en la casa de la calidad como especificaciones técnicas.

5.1.1. MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.

Para decidir entre diversas soluciones es suficiente con conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por eso que se utilizara el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad, y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.¹⁷

Se trata de confrontar criterios en tablas y se asigna la siguiente escala.

- 1 Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas
- 0 si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas

Luego, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio.

La evaluación total para cada solución resulta de la suma de los productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

¹⁷ Riba C, Diseño Concurrente, ETSEIB-UPC, 2002, pág 59, 60.

5.1.1.1. Evaluación del peso específico de cada criterio

De la calificación que cada característica técnica obtuvo en la casa de la calidad se obtienen resultados cualitativos, que se cuantificaran en la tabla 5.1.

Seguridad Industrial = Sistema de colado > Precio > Mantenimiento > Facilidad de operación = Dimensiones generales

Criterio	Seguridad Industrial	Sistema de colado	Precio	Mantenimiento	Facilidad de operación	Dimensiones generales	$\Sigma+1$	Ponderado
Seguridad Industrial		0,5	1	1	1	1	5,5	0,2619
Sistema de colado	0,5		1	1	1	1	5,5	0,2619
Precio	0	0		1	1	1	4	0,1905
Mantenimiento	0	0	0		1	1	3	0,1429
Facilidad de operación	0	0	0	0		0,5	1,5	0,0714
Dimensiones generales	0	0	0	0	0,5		1,5	0,0714
SUMA							21	1

Tabla 5.1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Fuente Propia

5.1.1.2. Evaluación del peso específico del criterio Seguridad Industrial.

Toda la carcasa de la alternativa 3 está hecha de hierro fundido haciéndola más segura y rígida que las alternativas 2 y 3 para la operación. La alternativa 1 no presenta gradas para el colador al ser más baja que la alternativa 2, lo que representa una mayor estabilidad y confianza al momento del colado

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2

Seguridad Industrial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0	2	0,3333
Alternativa 2	0		0	1	0,1667
Alternativa 3	1	1		3	0,5000
SUMA				6	1

Tabla 5.2. Evaluación del peso específico del criterio Seguridad Industrial.

Fuente Propia

5.1.1.3. Evaluación del peso específico del criterio Sistema de colado

La alternativa 1, presenta un embudo que tiene la libertad de girar subir y bajar, dando una movilidad y espacio superior que el sistema de colado de la segunda y tercera alternativa. La segunda alternativa presenta un embudo fijo en la tapa de la carcasa de la máquina, lo cual la hace superior al sistema de colado de la tercera alternativa que es totalmente ajeno al conjunto de la carcasa.

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

Sistema de colado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		1	1	3	0,5000
Alternativa 2	0		1	2	0,3333
Alternativa 3	0	0		1	0,1667
			SUMA	6	1

Tabla 5.3. Evaluación del peso específico del criterio Sistema de colado.

Fuente Propia

5.1.1.4. Evaluación del peso específico del criterio Precio.

La alternativa 1 presenta un bastidor simple, enteramente hecho de perfiles conformados en caliente que la hace superior a la alternativa 2 la cual presenta una estructura más compleja hecha de perfiles y una base donde se soporta el sistema de transmisión hecha de hierro fundido. Por último la alternativa 3 presenta un bastidor enteramente hecho de hierro fundido lo cual encarece su diseño y fabricación.

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		1	1	3	0,5000
Alternativa 2	0		1	2	0,3333
Alternativa 3	0	0		1	0,1667
			SUMA	6	1

Tabla 5.4. Evaluación del peso específico del criterio Precio.

Fuente Propia

5.1.1.5. Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.

En este criterio se juzga la simplicidad del diseño de las dos primeras alternativas al momento de su acceso, a más de la accesibilidad que presentan para mantener sus sistemas de transmisión por lo que tienen una calificación equivalente. La tercera alternativa presenta un poco más de dificultad para el acceso del operario de mantenimiento por su forma y materiales de construcción.

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,4167
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,4167
Alternativa 3	0	0		1	0,1667
			SUMA	6	1

Tabla 5.5. Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.

Fuente Propia

5.1.1.6. Evaluación del peso específico del criterio Facilidad de operación.

Al tener una estructura de fácil acceso al área de colado, la alternativa 2 presenta una calificación mayor que la alternativa 3 y 1. A su vez, el sistema de protección de la primera alternativa obliga a que el operario tenga más trabajo al montar y desmontar las coquillas en el plato principal lo que incurre en una calificación menor al de la alternativa 3.

Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1

Facilidad de operación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0	0	1	0,1667
Alternativa 2	1		1	3	0,5000
Alternativa 3	0	1		2	0,3333
			SUMA	6	1

Tabla 5.6. Evaluación del peso específico del criterio Facilidad de operación

Fuente Propia.

5.1.1.7. Evaluación del peso específico del criterio Dimensiones generales.

La alternativa 1 y 3 presentan diseños compactos por lo que reciben una calificación equivalente. La alternativa 2 presenta un diseño más disperso en su estructura, lo que puede incurrir en un sobredimensionamiento o lo que presenta una menor calificación.

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

Dimensiones generales	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,4167
Alternativa 2	0		0	1	0,1667
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,4167
			SUMA	6	1

Tabla 5.7. Evaluación del peso específico del criterio Dimensiones generales.

Fuente Propia

5.1.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De los resultados cuantitativos antes obtenidos, se obtiene la prioridad del diseño entre las tres alternativas, que expresa cuál de ellas cumple de mejor manera con las especificaciones técnicas más importantes.

Conclusiones	Seguridad Industrial	Sistema de colado	Precio	Mantenimiento	Facilidad de operación	Dimensiones generales	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,0873	0,1310	0,0952	0,0595	0,0119	0,0298	0,4147	1
Alternativa 2	0,0437	0,0873	0,0635	0,0595	0,0357	0,0119	0,3016	2
Alternativa 3	0,1310	0,0437	0,0317	0,0238	0,0238	0,0298	0,2837	3

Tabla 5.8. Resultados y conclusiones

Fuente Propia

De los valores obtenidos podemos concluir que la mejor alternativa es la primera, por lo tanto se procederá con el dimensionamiento de la misma.

CAPITULO 6

6. DISEÑO DEL EQUIPO

6.1. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA COQUILLA.

La coquilla será fabricada en acero inoxidable AISI 310, debido a que se espera obtener una vida útil de más de 1000 colados, además, en Fundireciclar se tiene buena experiencia en trabajar con este material, y se cuentan con todos los recursos para fabricarlas en la planta.

6.1.1. Piezas a fabricarse.

Las piezas que se fabricaran con el procedimiento de centrifugado y posterior mecanizado serán bridas tipo deslizable (figuras 27 y 28), de 6, 8, 10, y 12 plg, según la norma AWWA C207.

En base a las dimensiones finales de las bridas se procederá con la ingeniería inversa hasta obtener el diseño de la pieza en bruto por el proceso de centrifugado vertical, de tal manera que se obtenga un rendimiento de con respecto a la pieza neta de más del 60%.



Figura 6.1. *Brida tipo deslizable según norma AWWA C207.*

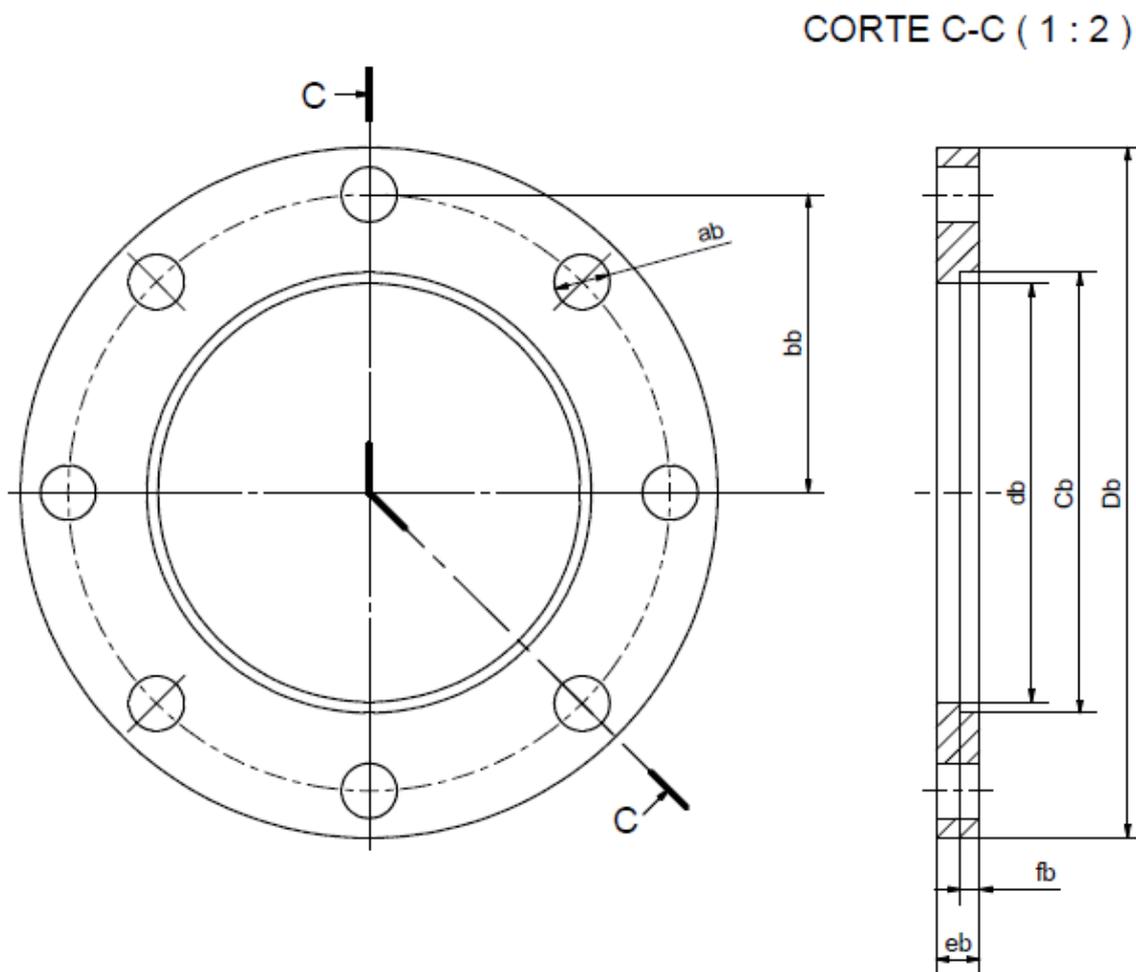


Figura 6.2. Detalle de Bridas tipo deslizable según norma AWWA C207

Fuente: Propia

Brida	Tamaño	D_b	d_b	c_b	b_b	a_b	e_b	f_b
30181-02	6	11,0	6,66	7,02	9,50	7/8	0,69	0,31
30182-02	8	13,5	8,66	9,02	11,75	7/8	0,69	0,31
30183-02	10	16,0	10,78	11,02	14,25	7/8	0,69	0,31
30184-02	12	19,0	12,78	13,02	17,00	7/8	0,81	0,31

Tabla 6.1. Dimensiones de las bridas en pulgadas según norma AWWA C507

6.1.1.1. Piezas a obtenerse por colado por centrifugado.

Las piezas que se obtendrán mediante el colado por centrifugado tendrán la forma de cilindros de baja altura (figura 31), que luego deben ser mecanizadas para obtener las piezas descritas en las figuras 29 y 30.

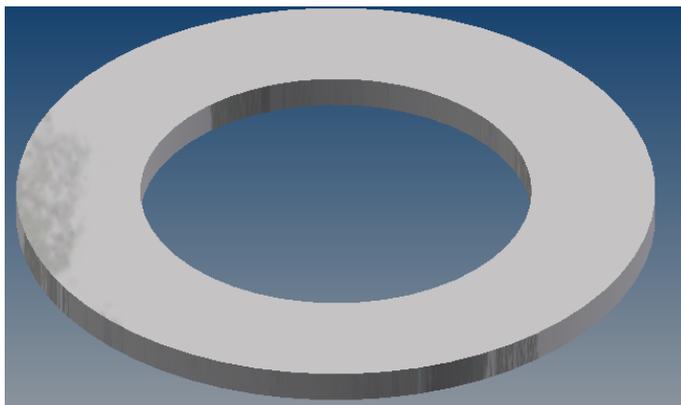


Figura 6.3. *Pieza a obtenerse mediante colado por centrifugado.*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

El siguiente, es un ejemplo de cálculo para obtener las dimensiones de las piezas a fabricar mediante colado por centrifugado, para ser mecanizadas y obtener las bridas tipo deslizables mostradas en las figuras 29 y 30.

Brida de 12 plg:

$$D_b = 19'' = 482,6 \text{ mm}$$

$$d_b = 12.78'' = 324.61 \text{ mm}$$

$$e_b = 0.81'' = 20.64 \text{ mm}$$

De la tabla 2.5 se obtiene que, si el diámetro exterior está entre 300 y 500 mm, la tolerancia debe ser de 8 mm en el diámetro.

Entonces:

$$B = D_b + \text{Tol.ext} = 482.6 \text{ mm} + 8\text{mm} = 490.6 \text{ mm}$$

De la tabla 2.5 obtenemos que si el diámetro interior está entre 300 y 500 mm, la tolerancia para el caso de aceros debe ser de menos 24 mm en el diámetro interior.

Entonces:

$$A = d_b - \text{Tol.int} = 324.61 \text{ mm} - 24\text{mm} = 300.61 \text{ mm}$$

De la experiencia obtenida en mecanizados realizados en Fundireciclar para piezas fundidas de acero inoxidable AISI, en espesores menores a 30 mm la tolerancia para mecanizado de piezas fundidas debe ser de 4mm, para facilitar el mecanizado.

Entonces:

$$C = e_b + \text{Tol.}e = 20.64 \text{ mm} + 24 \text{ mm} = 24.64 \text{ mm}$$

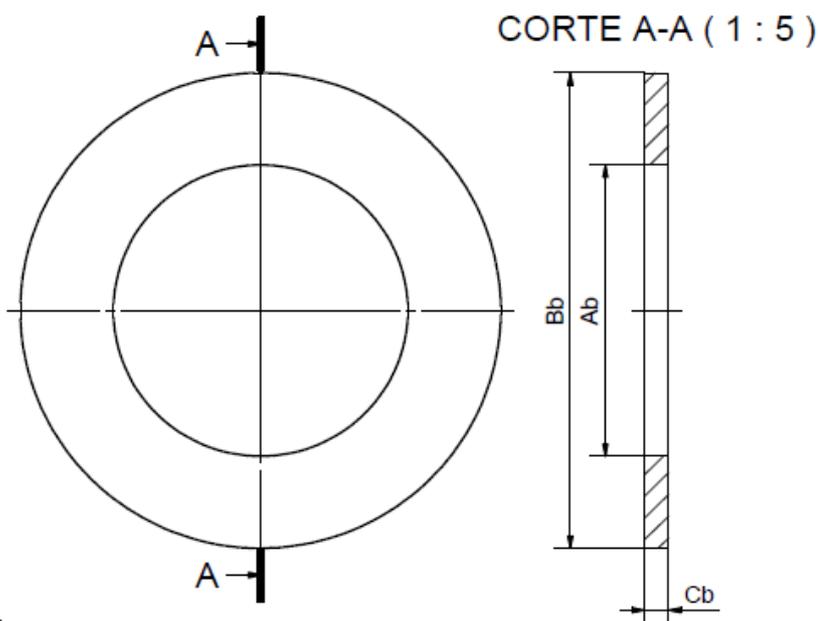


Figura 6.4. Dimensiones de las piezas a obtenerse mediante colado por centrifugado.

Fuente: Propia

Tol. mec ext mm	Tol. mec int mm	Tol. mec caras mm	A_b mm	B_b mm	C_b mm
5	15	4	284	154	22
8	24	4	351	196	22
8	24	4	414	250	22
8	24	4	491	301	22

Tabla 6.2. Dimensiones de las piezas a fabricarse por centrifugado, todas las medidas están en mm.

Fuente: Propia

6.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA COQUILLA.

Para el dimensionamiento de la coquilla se tomaran en cuenta otros factores, por ejemplo, el porcentaje de contracción del material, puesto que la pieza al enfriarse deberá tener las dimensiones que se muestran en la tabla 6.2, como se colara solamente Acero inoxidable AISI 304, el porcentaje de contracción según la tabla 2.6, es de 2.1%.

El siguiente, es un ejemplo de dimensionamiento de coquilla para brida de 12 pulgadas.

Para el caso de la brida de 12 plg. Se tiene las siguientes dimensiones.

$$D_c = (490,6)(6\text{mm}) + 2.1\%(490,6)(6\text{mm}) = 500,9\text{mm} \quad \text{Ec. 6.1}$$

$$d_c = (300,61)(61\text{mm}) + 2.1\%(300,61)(61\text{mm}) = 294,3\text{mm} \quad \text{Ec. 6.2}$$

$$e_c = 24,64\text{mm} + 2,1\%(24,64\text{mm}) = 25,15\text{mm} \quad \text{Ec. 6.3}$$

Entonces $A_c = D_c$, en este diámetro se recomienda realizar un ángulo de salida en todas las coquillas de 3° , para facilitar la salida de la pieza fundida, a partir de esta dimensión se empezará con el dimensionamiento de la coquilla.

De la figura 13. Se observa, que para un diámetro de $A_c = 500.9$ mm, el espesor E_c de la coquilla debe ser de 51mm.

Se recomienda que la tapa de la coquilla tenga una longitud de apoyo de 1 pulgada, en este caso se escogió 26 mm.

Entonces:

$$B_c = A_c + \text{Longitud de apoyo} = 500.9\text{mm} + 26\text{mm} = 526.9 \text{ mm}$$

Se ha escogido como tapa una placa de 10 mm de acero inoxidable AISI 304, la tapa debe tener un $D_t = B_c - \text{Tolerancia de la tapa} = 526.9\text{mm} - 5\text{mm} = 521,9$ mm.

Las dimensiones $F_c = 160\text{mm}$ y $G_c = 10$ mm son las mismas en todas las coquillas y sirven para mantener fija a la coquilla en el plato y actuar como guía para centrarla en el plato.

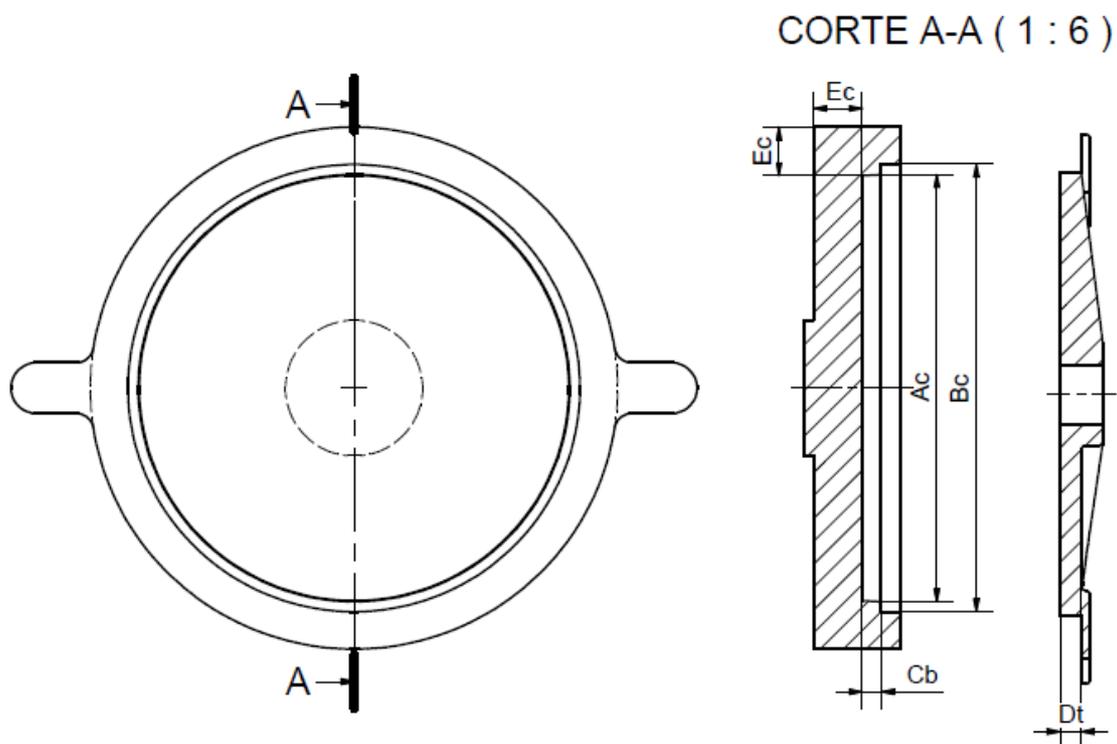


Figura 6.5. Dimensiones de las coquillas para obtener las piezas de colado por centrifugado.

Fuente: Propia

% contracción	A_c	\varnothing . int. Fund	C_b	E_c	B_c	Tol. placa	\varnothing de la tapa	D_t
AISI 304	mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm
2,10%	290	151	22	51	316	2,4	314	25
2,10%	358	191	22	53	384	5	379	25
2,10%	423	245	22	55	449	5	444	25
2,10%	501	294	25	57	526	5	522	25

Tabla 6.3. Dimensiones de las coquillas.

Fuente: Propia

6.2. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLATO SOPORTE.

Según el gráfico 12 se tiene, que el espesor en base a la experiencia y recomendaciones del manual de la ASM para fundiciones centrifugadas, está entre 28.5 mm y 51 mm, y el diámetro entre 711 mm y 3200 mm. Esto simplemente da una idea del tamaño de los platos que se manejan.

El plato será realizado a partir de una plancha de AISI 310, el cual, es un acero inoxidable refractario, esto quiere decir que es un material que está diseñado para soportar cambios bruscos de temperatura, sin tener mayores daños, se lo selecciono debido a que existe la posibilidad de que el material fundido que esta aproximadamente a 1600°C caiga sobre él, y debido a que este deberá tener por lo menos diez veces más vida útil que las coquillas, ya que las coquillas pueden estarse alternando cada 10 minutos aproximadamente, mientras que el plato no será cambiado salvo en el caso de que tenga algún daño, por lo tanto el material más adecuado es el refractario AISI 310; este tipo de material no se encuentra en muchos espesores en el mercado Ecuatoriano por lo que se ha seleccionado un espesor de 30 mm que si se lo encuentra debido a que se usa para recubrir paredes de hornos, y con diámetro de 800 mm que le permita asentarse fácilmente a la coquilla de la brida de 12" que es la más grande, y que se tenga espacio para mecanizar las guías de los sistemas de sujeción sin perder rigidez, o debilitarse por el calor, o exposición a la corrosión ya que trabajara en un ambiente húmedo.

En el plato, han de mecanizarse los canales para el sistema de sujeción de las coquillas, guías para coquillas y brida de acople con el eje, además de los agujeros para los pernos de sujeción a la brida.

Una vez que se han seleccionado las dimensiones del plato y tipo de material a usar, se procederá a revisar que el plato cumpla con los criterios de diseño, por lo tanto es necesario un análisis, el cual que será realizado por elementos finitos en el software Autodesk Inventor 2011, para comprobar que tanto el material como las dimensiones escogidas le permitan trabajar al plato sin problemas.

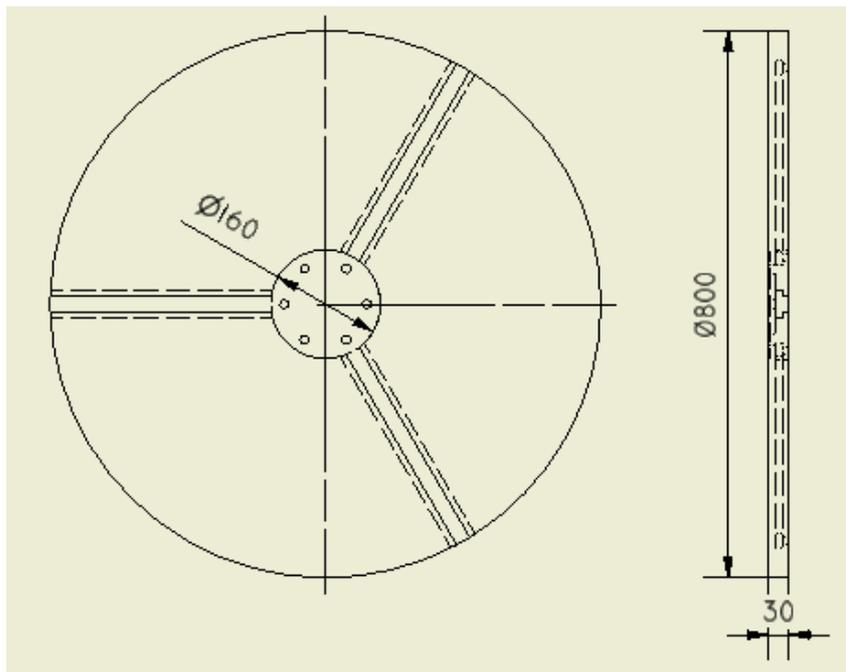


Figura 6.6. Dimensiones generales del plato soporte de la coquilla

Fuente: Propia

6.2.1. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DEL PLATO SOPORTE.

El análisis por elementos finitos es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería. Usa una técnica numérica llamada Método de los elementos finitos, el cual usa un análisis numérico y cálculo variacional para obtener soluciones aproximadas para sistemas oscilatorios. Desde un punto de vista ingenieril, el análisis de elementos finitos se origina como el método de análisis estructural de matrices de desplazamiento.

Para el análisis por elementos finitos mediante el uso del software Autodesk Inventor 2011, se tienen tres fases:

6.2.1.1. Pre-procesamiento.

El primer paso en el análisis, pre-procesamiento, es construir un modelo de elementos finitos de la estructura a ser analizada, este modelo se lo realiza en Inventor 2011. El objetivo principal del modelo es replicar de manera realista los parámetros importantes y características del modelo real. Una vez que se ha creado la geometría, se utiliza un procedimiento para definir y dividir el modelo en "pequeños" elementos. En general, un modelo de elementos finitos está definido

por una malla, la cual está conformada por elementos y nodos. Los nodos representan puntos en los cuales se calcula el desplazamiento (análisis estructural). Inventor 2011 enumera los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por conjuntos de nodos, y definen propiedades localizadas de masa y rigidez. Los elementos también están definidos por la numeración de la malla, la cual permite referenciar la correspondiente deflexión o esfuerzo (en análisis estructural) para una localización específica

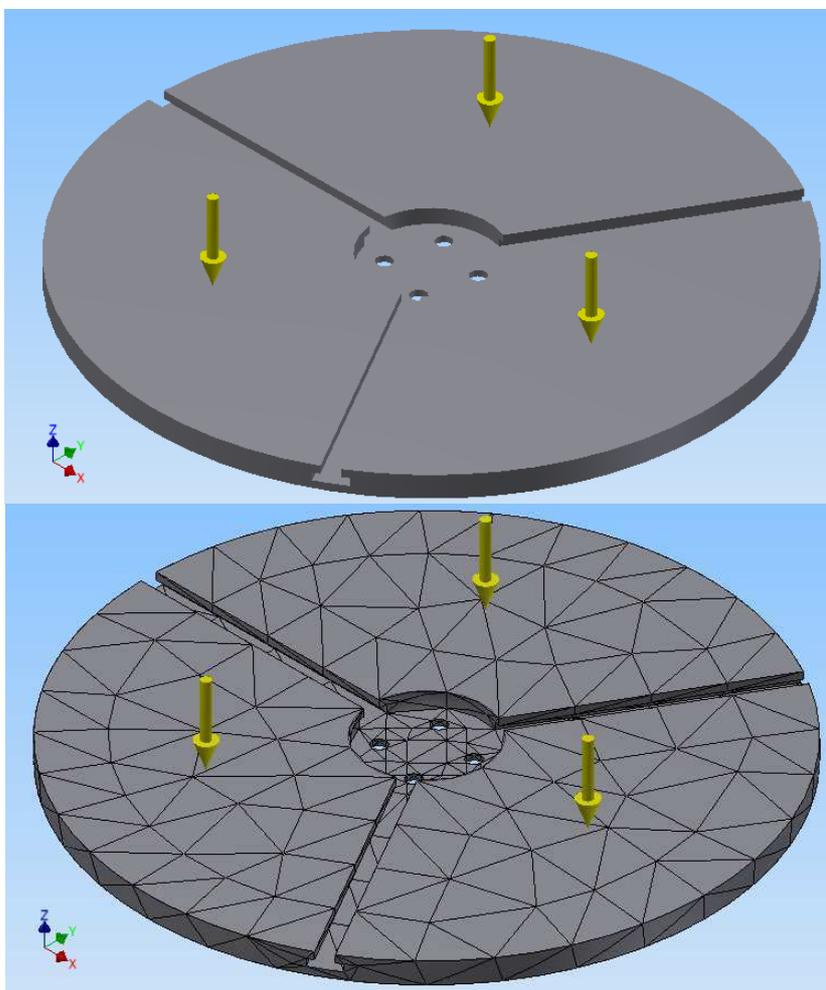


Figura 6.7. Plato soporte de la coquilla, modelado en Inventor 2011.

Fuente: Autodesk Inventor 2011

Material	Acero Inoxidable AISI 310
Densidad	8,03 g/cm ³
Masa	134,1 kg
Área	1310280 mm ²
Volumen	16699600 mm ³
Centro de Gravedad	x=0 mm y=0 mm z=18,323 mm

Tabla 6.4. *Propiedades físicas del material.*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

Objetivo del diseño	Un solo punto
Tipo de simulación	Análisis estático
Ultima fecha de modificación	27/06/2011, 23:33
Detectar y eliminar modos de cuerpo Rígido	No

Tabla 6.5. *Objetivo general y opciones.*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

Promedio Tamaño del elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Mínimo tamaño del elemento (fracción del promedio)	0,2
Factor de gradient	1,5
Ángulo de giro máximo	60°
Crear elementos de malla curva	si

Tabla 6.6. *Opciones avanzadas del software*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

Nombre	Acero inoxidable AISI 310	
General	Densidad (ρ)	8,03 g/cm ³
	Resistencia a la fluencia (S_y)	228 MPa
	Ultima resistencia a la tracción (S_{ut})	540 MPa
Esfuerzo	Modulo de Young (E)	190,3 GPa
	Grado de Poisson (γ)	0,305 ul

	Shear Modulus	72,9119 GPa
Esfuerzo térmico	Coeficiente de expansión	0,0000174 ul/c
	Conductividad térmica	14 W/(m K)
	Calor específico	456 J/(kg c)
Elemento	plato soporte coquillas	

Tabla 6.7. *Propiedades del material*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

6.2.1.2. Solución del análisis. Solucionar el modelo de elementos finitos

En la siguiente etapa en el proceso de análisis de elementos finitos se lleva a cabo una serie de procesos computacionales que involucran fuerzas aplicadas, y las propiedades de los elementos de donde se producirá un modelo de solución. Tal análisis estructural permite la determinación de efectos como lo son las deformaciones, estiramiento o *estrés* que son causados por fuerzas estructurales aplicadas como lo son la fuerza, la presión y la gravedad.

Se aplicara una fuerza equivalente al peso de la coquilla, es decir el peso de la coquilla y la tapa de la brida de 12 plg que es la más pesada.

$$F = (175+47)\text{kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 2175,6 \text{ N}/3 = 725 \text{ N}$$

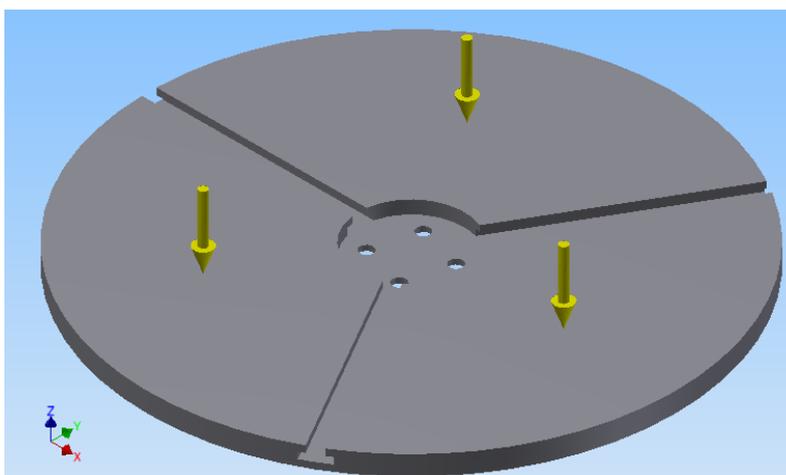


Figura 6.8. *Fuerza de -2175,600 N aplica en el eje x que representa el peso de la coquilla y la tapa de la brida de 12 plg.*

Fuente: Autodesk Inventor 2011



Figura 6.9. *Fuerza de la gravedad sobre el plato.*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

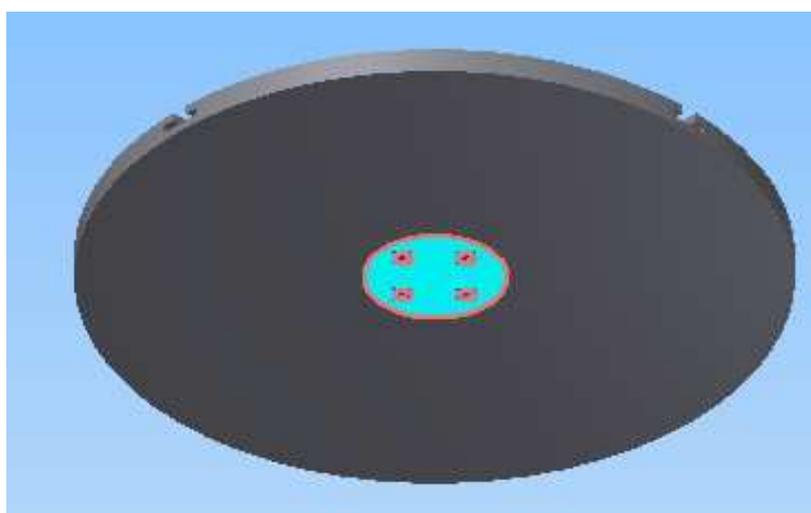


Figura 6.10. *Sección fija donde se apoyara el plato al unirse con la brida.*

Fuente: Autodesk Inventor 2011

6.2.1.3. Post-procesamiento de resultados usando herramientas de visualización

Estos resultados entonces, pueden ser estudiados utilizando herramientas visuales dentro del ambiente de análisis de elementos finitos de Inventor 2011 para ver y para identificar completamente las implicaciones del análisis. Herramientas numéricas y gráficas permiten la localización precisa de información como esfuerzos y deformaciones a ser identificadas.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	16699600 mm ³	
Masa	134,098 kg	
Esfuerzo de Von Misses	0,1 MPa	25,06 MPa
1er Esfuerzo Principal	-2,16091 MPa	30,84 MPa
3er Esfuerzo principal	-6,07892 MPa	6,32 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,073 mm
Factor de seguridad	9,1 ul	15 ul

Tabla 6.8. Resultados del análisis por elementos finitos.

Fuente: Autodesk Inventor 2011

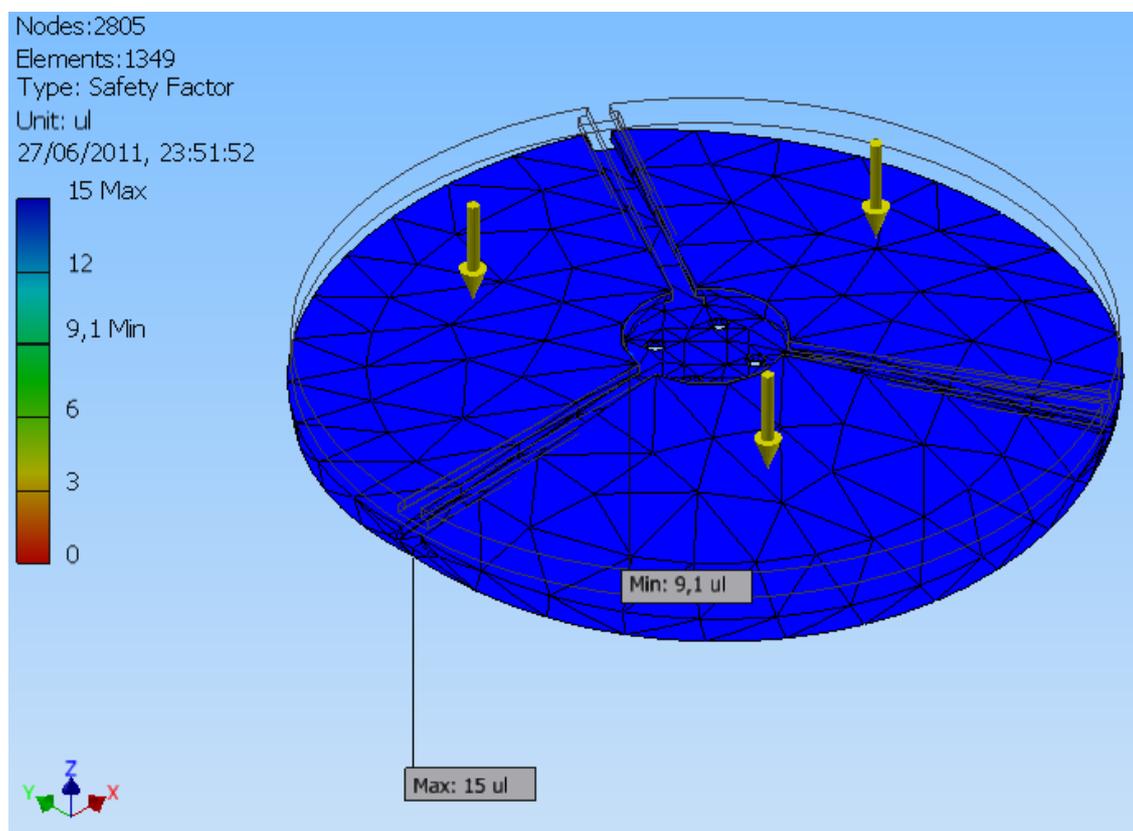


Figura 6.11. Factor de seguridad en el plato con las dimensiones y cargas aplicadas.

Fuente: Autodesk Inventor 2011

CONCLUSIONES.

Del análisis por elementos finitos se puede observar que el mínimo factor de seguridad del plato con las mayores cargas y restricciones consideradas, es de 9.1 por lo que al considerar como un valor de 2 como mínimo factor de seguridad de diseño, el plato soportara sin ningún problema los esfuerzos sometidos.

Este factor de seguridad es elevado en comparación con el recomendado para diseño, pero se tendrá en cuenta que el plato tiene el espesor adecuado para permitir el mecanizado de los canales para los sistemas de sujeción, para no tener problemas al sujetar para el mecanizado. Además el material es el más adecuado en base a la experiencia obtenida en la empresa, por lo que un diámetro de 800 mm, y un espesor de 30 mm en el plato darán el mejor resultado constructivo con buenas propiedades, y cumpliendo las características de diseño.

6.3. DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE CENTRIFUGADO

De la figura 15, se puede obtener la velocidad del molde en base al diámetro interior de la fundición y la fuerza centrífuga requerida.

En el capítulo II se indica que la velocidad será óptima cuando se obtenga una fuerza de 75 g (75 veces la fuerza de la gravedad) por lo tanto lo primero que tomamos en el gráfico es de las líneas de la fuerza, la línea que indica 75 g, en la parte inferior de la gráfica tenemos los diámetros, entonces para obtener la velocidad procedemos de la siguiente manera:

- a. Primero seleccionamos la línea de fuerza de 75 g.
- b. En la parte inferior seleccionamos el diámetro interior de la fundición de la pieza, y la extendemos verticalmente hasta que se interseque con la línea de la fuerza.
- c. Con la intersección de la línea de 75 g y la línea de extensión del diámetro obtenemos un punto, a partir de este punto extendemos horizontalmente una línea hasta que se interseque con el eje vertical izquierdo.

- d. El punto de intersección en el eje vertical izquierdo nos indicara la velocidad a la que debe girar la coquilla para obtener la pieza centrifugada con las propiedades deseadas.

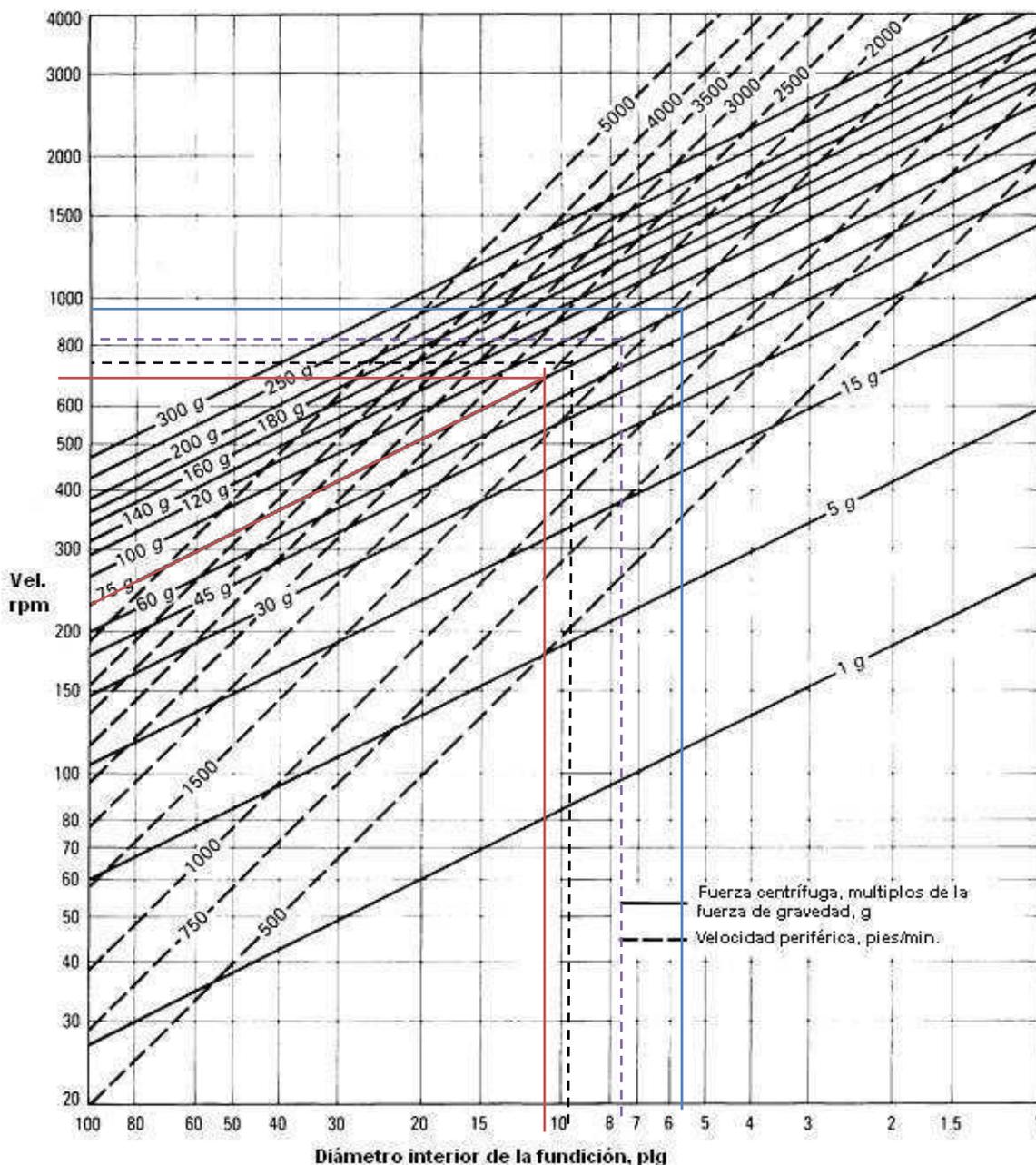


Figura 2.13. Determinación de la velocidad de centrifugado.

Fuente: D. M. STEFANESCU, ASTM International, The Materials Information Company, Volumen 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1992. Página 652.

Ítem	Tipo de brida	d_b (plg)	Fuerza (g)	Velocidad (rpm)
1	6 plg	6	75	950
2	8 plg	8		800
3	10 plg	10		720
4	12 plg	12		680

Tabla 6.9. Resultados de las velocidades de centrifugado en función del diámetro interior de la fundición y la fuerza de la gravedad.

Fuente: Propia.

6.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

6.4.1. Sistema de poleas para transmisión del movimiento

Los pasos siguientes guiarán la selección de una transmisión utilizando correas de sección trapecial y poleas acanaladas para conectar dos ejes. Al comienzo se requieren los siguientes datos:

- Potencia requerida en la máquina conducida [Kw]
- Tipo de máquina motora y máquina conducida
- Velocidad de la máquina motriz [rpm]
- Potencia de la máquina motriz [Kw]
- Selección del tipo de banda
- Dimensionamiento de las fuerzas que actúan en el sistema [N]

6.4.1.1. Potencia requerida en la máquina conducida.

Sea:

$$T = I \times \alpha \quad \text{Ec. 6.4}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad \text{Ec. 6.5}$$

Dónde.

- T = Torque mínimo necesario que debe generarse para provocar la rotación del molde a la velocidad angular solicitada.

- I = Momento de inercia del molde y su sistema de sujeción.
- α = Aceleración angular del molde.
- ω = velocidad angular a la que gira la coquilla.
- t = tiempo que tarda el eje en llegar a la velocidad determinada.

Entre cada brida producida, se tendrá un intervalo de tiempo que comprende la preparación de la siguiente coquilla en la máquina así como la preparación de la nueva carga para el llenado de la misma, por lo que se asume un tiempo prudente de 35 segundos (Tabla 6.10),

PROCESO : PREPARACION PARA COLADO POR CENTRIFUGADO				
MAQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		HORNERO	COLADOR	TIEMPO (s)
I	Carga del material en la cuchara			10
II	Verificación del peso de carga			7
III	Regulación del peso			8
IV	Transporte de la carga hasta la maquina			5
V	Verificación de la sujeción del embudo			5
			TOTAL (s)	71

Tabla 6.10. Tiempo de llegada a la velocidad angular nominal.

Fuente: Propia.

De este modo se asegura que el molde llegue a la velocidad angular indicada en la figura 15.

6.4.1.1.1. Momentos de Inercia.

El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento.

El momento de inercia desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme. Es el valor escalar del momento angular longitudinal de un sólido rígido.

Dado un sistema de partículas y un eje arbitrario, el momento de inercia del mismo se define como la suma de los productos de las masas de las partículas por el cuadrado de la distancia r de cada partícula a dicho eje.

$$I = \sum m_i r_i^2$$

Para un cuerpo de masa continua (Medio continuo), se generaliza como:

$$I = \int_m r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV$$

El subíndice V de la integral indica que se integra sobre todo el volumen del cuerpo. Se resuelve a través de una integral triple. Para el presente documento se utiliza el Software de Ingeniería Autodesk Inventor por medio del cual se obtiene el momento de inercia del plato porta coquillas, la brida más pesada a ser fundida, su coquilla inferior y la tapa de la misma,

Tipo de Brida	Momento de Inercia [Kg – m ²]
6 pulg.	0,100729
8 pulg.	0,232252
10 pulg.	0,431706
12 pulg.	0,972689

Tabla 6.11. Momento de inercia de las bridas a producirse.

Fuente: Propia.

Ejemplo: Conjunto con brida de 12 pulgadas

$$I_{\text{plato}} = 9,20415 \text{ [Kg} - \text{m}^2\text{]}$$

$$I_{\text{Brida}} = 0,972689 \text{ [Kg} - \text{m}^2\text{]}$$

$$I_{\text{coquilla inferior}} = 9,53995 \text{ [Kg} - \text{m}^2\text{]}$$

$$I_{\text{tapa coquilla}} = 1,53159 \text{ [Kg} - \text{m}^2\text{]}$$

El momento de inercia total es:

$$I_{\text{TOTAL}} = 20,1 \text{ [Kg} - \text{m}^2\text{]}$$

Reemplazando los valores antes obtenidos para los diferentes tipos de brida en las formulas de aceleración y luego torque, tenemos los siguientes resultados

Tipo de brida	Velocidad angular [rpm]	Velocidad angular [rad/s]	Tiempo [s]	Aceleración angular [rad/s ²]	Momento de inercia total [Kg-m ²]	Torque [N-m]
6 pulg.	960	100,5	35	2,9	11,11	31,91
8 pulg.	800	83,8	35	2,4	12,97	31,04
10 pulg.	720	75,4	35	2,2	15,73	33,89
12 pulg.	680	71,2	35	2,0	20,10	40,69

Tabla 6.12. Determinación del Torque para diferentes velocidades angulares.

Fuente: Propia.

Del resultado anterior se concluye que el par necesario para que se inicie la rotación del molde debe ser mayor a 40,69 N-m.

6.4.1.2. Potencia del motor.

En el mercado se encuentra una gran variedad de motores con diferentes rangos de potencia y velocidad, para el presente caso se ha escogido un motor de 1200 rpm, debido a que la velocidad máxima a la que el molde permanente debe llegar es de 960 rpm. Por lo tanto la relación de transmisión es 1:1,25

$$\text{Pot} \geq \frac{2\pi n_{\text{rpm}} T}{60} \quad \text{Ec. 6.6}$$

En donde:

n_{rpm} = Velocidad de rotación del plato en rpm.

T = Torque en N-m

Pot. = Potencia en watos

Reemplazando los valores ya encontrados en la ecuación 4.3, se obtiene:

$$Pot \geq \frac{2\pi(680 * 1,25)(40,69)}{60}$$

$$Pot \geq 3621,89 \text{ w}$$

$$Pot \geq 3,62 \text{ Kw}$$

$$Pot \geq 4,8 \text{ Hp}$$

6.4.1.3. Tipo de máquina motriz y máquina conducida.

Debido a que las máquinas conducidas tienen formas particulares de funcionamiento, se deben prevenir fallas por golpes, vibraciones o tirones. De forma similar, las máquinas motrices tienen formas particulares de funcionamiento, algunas son más uniformes que otras, o tienen un impulso inicial o un giro a tirones. Estas situaciones se consideran a través de un factor de servicio (C_1) que aumenta la potencia a transmitir para obtener la potencia de diseño que considera las características de la máquina y el motor utilizado.

En la tabla siguiente, se escoge el motor utilizado y la máquina que más se asemeja a su diseño. Obteniendo así el factor C_1 , el cual se multiplica por la potencia a transmitir, para obtener la potencia de diseño.

FACTOR DE SERVICIO	<p>Motores eléctricos</p> <ul style="list-style-type: none"> - De corriente alterna monofásicos - Asíncrónicos - Jaula de ardilla de par normal - De corriente continua bobinado Shunt <p>Motores a gas</p> <p>Motores de combustión interna poli cilíndricos</p>	<p>Motores eléctricos</p> <ul style="list-style-type: none"> - De corriente alterna con par de gran potencia - De rotor bobinado y anillos rozantes - De corriente continua bobinado Compound <p>Motores monocilíndricos</p> <p>Ejes de transmisión</p> <p>Tomas de fuerza con embrague</p>
<p>Agitadores de líquidos</p> <p>Ventiladores pequeños y medianos</p> <p>Bombas centrífugas.</p>	1,0 a 1,2	1,1 a 1,3
<p>Punzonadoras</p> <p>Mezcladoras pequeñas y medianas</p> <p>Generadores</p> <p>Compresores de tornillo</p> <p>Cizallas</p> <p>Prensas</p> <p>Máquinas de imprenta</p> <p>Cribas vibratorias</p>	1,1 a 1,3	1,2 a 1,4
<p>Elevadores</p> <p>Compresores de pistones</p> <p>Maquinaria de lavanderías</p> <p>Bombas de pistones</p> <p>Ventiladores grandes</p> <p>Maquinaria textil</p> <p>Máquinas herramientas</p>	1,2 a 1,4	1,4 a 1,6
Malacates y huinchas		

Molinos		
Chancadoras de mandíbulas	1,3 a 1,5	1,5 a 1,8
Transportadora de correa sin fin		

Tabla 6.13. Factores para máquinas conducidas.

Fuente: <http://www2.ing.puc.cl-icm2312-apuntes-correas-index.html>

Seleccionamos un motor eléctrico con par de gran potencia, y una máquina parecida a una mezcladora mediana. Lo cual deja un resultado de $C_1 = 1,4$

Se calcula la potencia de diseño:

$$Pot \geq (4,8)(1,4) \text{ Hp}$$

$$Pot \geq 6,72 \text{ Hp}$$

$$Pot \geq 5,0 \text{ Kw}$$

La cual se considera como potencia activa de salida del motor (P_s).

Dicha potencia claramente es teórica, ya comercialmente no se encuentran motores con esa característica de potencia, se escoge un motor de 7,5 Hp.

La variación de las demás velocidades será controlada por un circuito electrónico el cual tiene como principal característica, un variador de frecuencia el cual se detallara más adelante.

Con el dato de la velocidad máxima del motor, se calcula el número de polos del motor.

$$\#Polos \text{ pares} = \frac{60(f)}{n} \quad \text{Ec. 6.7}$$

Donde $n_{rpm} = 1200 \text{ rpm}$.

$f = \text{frecuencia} = 60 \text{ Hz}$

$$\# \text{Polos pares} = \frac{60(60)}{1200}$$

$$\# \text{Polos pares} = 3$$

En el ANEXO I, se encuentra una tabla completa de características técnicas de un motor trifásico que cumple con los requerimientos antes calculados, tanto de velocidad, potencia y polos. Además de la disposición con la que cuenta para variar su velocidad y torque sin afectar la característica de potencia que presenta.

6.4.1.4. Selección del tipo de banda

Con la potencia de diseño (4 Hp) y la máxima velocidad del eje (960 rpm), se consulta el siguiente gráfico en el cual se aprecia las 5 secciones más típicas de las correas. Esto determina la sección de correa que se recomienda usar.

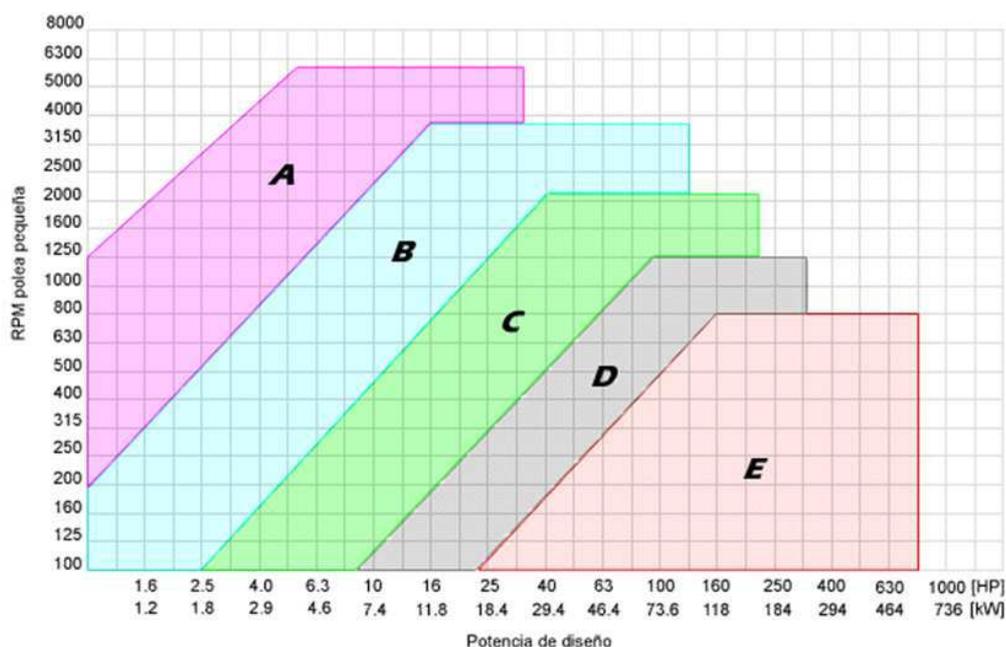


Figura 6.12. Selección del perfil de la correa

Fuente: Catalogo de Selección de correas Trapezoidales Roflex

Con los datos antes obtenidos se obtiene una correa de sección tipo B.

Para controlar el cambio de las demás velocidades se utilizara un sistema de control electrónico constituido principalmente por un inversor de frecuencia.

Ya contando con la sección seleccionada se recomienda utilizar como mínimo los siguientes valores para D_p

SECCION	A	B	C	D	E
Diámetro primitivo mínimo [mm]	63	100	160	280	400

Ya que la relación de transmisión es de 1:1,25.

En el presente caso $d_p = 122,5$ mm.

Entonces $D_p = 153,12$ mm.

Con este valor se puede calcular el largo L_c :: aproximado de la correa que se necesita.

$$L_c = (2C) + (1,57(D_p + d_p)) + (D_p - d_p)^2 / (4C) \quad \text{Ec. 6.8}$$

L_c : Longitud de la correa

C: distancia tentativa entre ejes (670 mm)

D_p y d_p . diámetros primitivos de las poleas.

Reemplazando los datos obtenidos en la Ec. 6.7, se obtiene:

$$L_c = 1770 \text{ mm}$$

Conociendo este valor y la sección utilizada, se consulta el (ANEXO J), que entrega la identificación de la correa adecuada.

Esta identificación es una letra y un número, la letra indica el tamaño de la sección transversal de la correa (A, B, C, D, E) y el número representa el largo de la correa cuyo largo se aproxima lo más posible al largo L_c calculado. Como es muy probable que la correa seleccionada tenga un largo diferente de L_c se debe ajustar la distancia entre centros **C** acercado o alejando los ejes.

Una vez determinados los datos de las poleas, se define el tipo de polea según el (ANEXO K).

En resumen:

Potencia del motor	5 Hp
Revoluciones del motor	1200 rpm
Sección de la banda	Tipo B
Relación de transmisión	1:1,25
Diámetro primitivo de la polea conductora	122,5 mm
Diámetro primitivo de la polea conducida	153,12 mm
Longitud de la banda	1770 mm

Tabla 6.14. Resumen de datos del sistema de transmisión

Fuente: Propia.

6.4.1.5. Fuerzas generadas en el sistema.

6.4.1.5.1. Fuerzas generadas por las bandas.

Los dos lados de la banda están en tensión, como se muestra en la figura. La tensión F_1 en el lado tenso es mayor que la tensión F_2 en el lado flojo, lo que genera una fuerza impulsora neta sobre las poleas, igual a:

$$F_N = F_1 - F_2 \quad \text{Ec. 6.9}$$

La magnitud de la fuerza impulsora neta se puede calcular con el par torsional transmitido.

$$F_N = T/(D_p/2) \quad \text{Ec. 6.10}$$

Por lo tanto:

$$F_N = 40,7/(0,61)$$

$$F_N = 667,2 \text{ [N]}$$

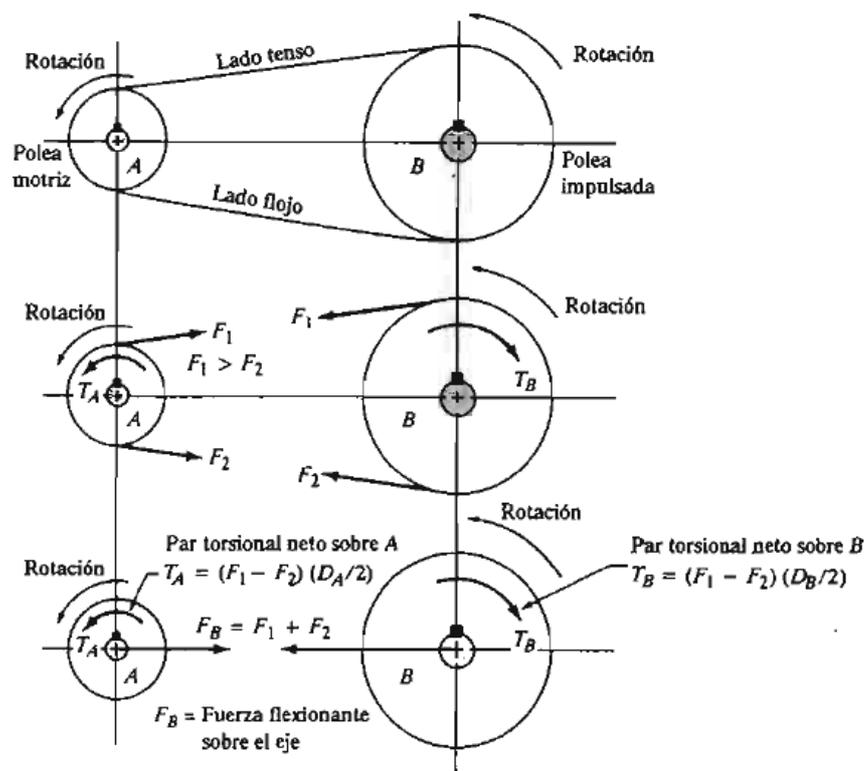


Figura 6.13. Esquema de fuerzas en un sistema de poleas y bandas.

Fuente: Mott R, Diseño de Elementos de Máquinas, Pearson, 4ta Edición, 2006, pág 537

Peso se observa que la fuerza de flexión sobre el eje que sostiene la polea depende de la suma $F_B = F_1 + F_2$. Para ser más precisos, se deben usar las componentes de F_1 y F_2 paralelas a la línea entre centros de las dos poleas. Pero a menos que las dos poleas tengan diámetros radicalmente distintos, se causa poco error si se supone que $F_B = F_1 + F_2$.

Para calcular la fuerza de flexión F_B , se necesita una segunda ecuación donde aparezcan todas las dos fuerzas F_1 y F_2 . Se obtiene al suponer una relación de la tensión en el lado tenso y la tensión en el lado flojo. Para transmisiones con bandas trapezoidales, se supone que la relación es, en el caso normal:

$$\frac{F_1}{F_2} = 5 \quad \text{Ec. 6.11}$$

Conviene establecer una relación entre F_N y F_B , de la forma:

$$F_B = CF_N \quad \text{Ec. 6.12}$$

Donde C es una constante por determinar:

$$C = \frac{F_B}{F_N} = \frac{F_1 + F_2}{F_1 - F_2} \quad \text{Ec. 6.13}$$

Pero de acuerdo a la ecuación 6.11..

$$C = \frac{F_1 + F_2}{F_1 - F_2} = \frac{5F_2 + F_2}{5F_2 - F_2} = \frac{6F_2}{4F_2} = 1,5$$

Entonces la ecuación para la relación de tensiones de la banda es:

$$F_B = 1,5F_N \quad \text{Ec. 6.14}$$

$$F_B = 1,5(667,2)$$

$$F_B = 1001[\text{N}]$$

6.4.1.5.2. Fuerza centrípeta.

También se encuentra en el sistema una fuerza centrípeta, generada por la masa del conjunto de coquilla, plato de sujeción y la aceleración que presenta el motor hasta estabilizar su velocidad a los requerimientos del centrifugado

$$F_c = m * \alpha \quad \text{Ec. 6.15}$$

Se toma para el cálculo, la masa más representativa, la cual corresponde al conjunto de plato de sujeción y coquilla de la brida de mayor tamaño (12 in.)

$$F_c = (m_{\text{coquilla}} + m_{\text{plato}} + m_{\text{acople}}) * \alpha$$

$$F_c = (309 \text{ Kg}) * (2,0 \text{ rad/s}^2)$$

$$F_c = 618 \text{ N}$$

6.4.2. DISEÑO DEL ARBOL DE TRANSMISIÓN.

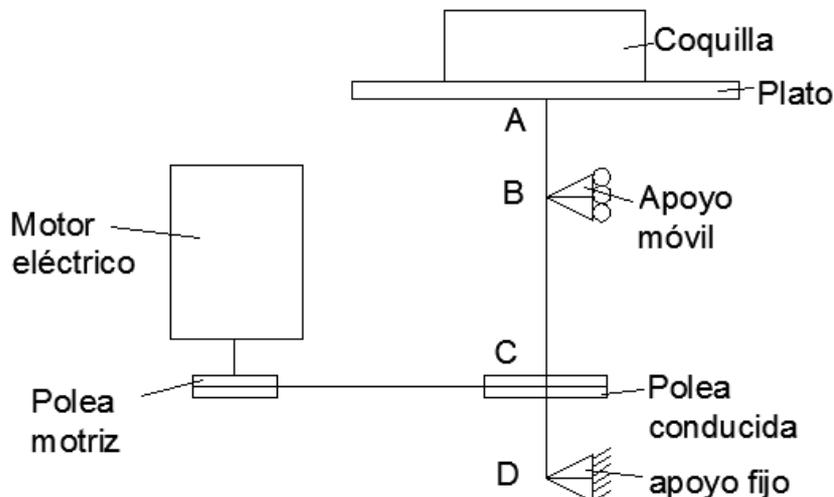


Figura 6.14. Esquema simplificado de la máquina.

Fuente: Propia.

Al hacer un análisis de las cargas que actúa sobre el eje motriz de la máquina se determina lo siguiente.

En el punto A actúa la fuerza ejercida por la masa de la coquilla, la brida y el plato de la máquina. También, se ejerce una fuerza centrípeta debido a la aceleración inicial del motor. En este caso tomaremos los valores del conjunto necesario para producir la brida de mayor diámetro.

En el punto B actuara una carga axial en el sentido y , como se muestra en la figura, ya que en este punto un perfil una chumacera y un rodamiento guían el eje motriz.

En el punto C se presenta la acción de la fuerza resultante de las tensiones de la banda (F_N), a más del torque necesario para iniciar el movimiento del eje motriz totalmente cargado.

Finalmente en el punto D, actúan dos fuerzas resultantes, una debido a la reacción del peso soportado por el eje, y la otra una fuerza ejercida en y como resultado de la fuerza resultante de las tensiones de la banda en C.

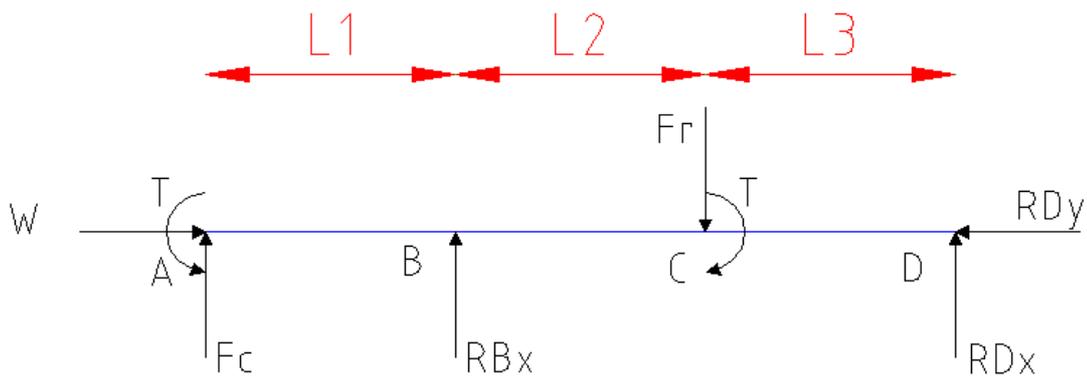


Figura 6.15. Diagrama de cuerpo libre del eje.

Fuente: Propia.

$$L_1 = 70 \text{ mm.}$$

$$L_2 = 590 \text{ mm.}$$

$$L_3 = 60 \text{ mm.}$$

$$F_N = 1001 \text{ N}$$

Cálculo de las reacciones.

$$\sum F_y = 0$$

Ec. 6.16

$$R_{Dy} = W$$

$$R_{Dy} = (m_{\text{coquilla}} + m_{\text{brida}} + m_{\text{plato}} + m_{\text{acople}}) * g$$

Donde g es la fuerza de gravedad en (m/s^2).

$$R_{Dy} = (332 \text{ Kg}) * (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$R_{Dy} = 3254 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_C + R_{Bx} + R_{Dx} = F_N$$

Despejando R_{Bx} :

$$R_{Bx} = F_N - R_{Dx} - F_C$$

Ec. 6.17

$$\sum M_{zB} = 0$$

$$R_{Dx}(L_2 + L_3) = F_R L_2 + F_C L_1$$

$$R_{Dx} = \frac{F_R * L_2 + F_C * L_1}{(L_2 + L_3)} \quad \text{Ec 6.18}$$

Reemplazando los valores antes citados se obtiene R_{Dx} .

$$R_{Dx} = \frac{(1001 * 0,59) + (618 * 0,07)}{(0,59 + 0,06)}$$

$$R_{Dx} = -975,15 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación 6.17 se obtiene R_{Bx} .

$$R_{Bx} = F_R - R_{Dx} - F_C$$

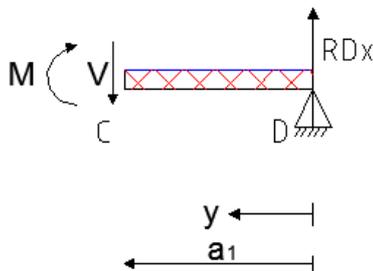
$$R_{Bx} = 592,15 \text{ N}$$

6.4.2.1. Diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Para elaborar el diagrama de fuerza cortante y momento flector dividimos el eje en secciones, las cuales permitan visualizar de mejor manera las fuerzas que actúan en cada tramo. Se coloca el punto de referencia en D.

Tramo I

$$0 \leq y \leq a_1; \quad a_1 = 60 \text{ mm.}$$



$$\sum F_V = 0$$

$$R_{Dx} + V = 0 \quad \text{Ec. 6.19}$$

$$R_{Dx} = -V$$

$$V = 975,15 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M = 0$$

$$(R_{Dx} * y) - M = 0$$

Ec. 6.20

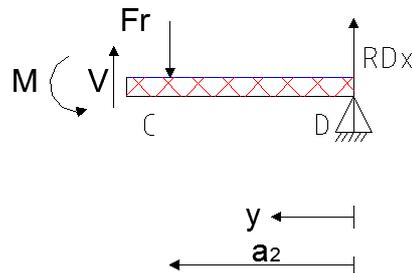
$$M = (R_{Dx} * y)$$

$$M = (975,15)(0,06)$$

$$M = 58,51 \text{ [N - m]}$$

Tramo II

$$0 \leq y \leq a_2 ; a_2 = 650 \text{ mm.}$$



$$\sum F_V = 0$$

$$R_{Dx} + V = F_N$$

Ec. 6.21

$$V = 1001 - 975,15$$

$$V = 1976,19 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M = 0$$

$$M + (R_{Dx} * y) - F_R(y - a_2) = 0$$

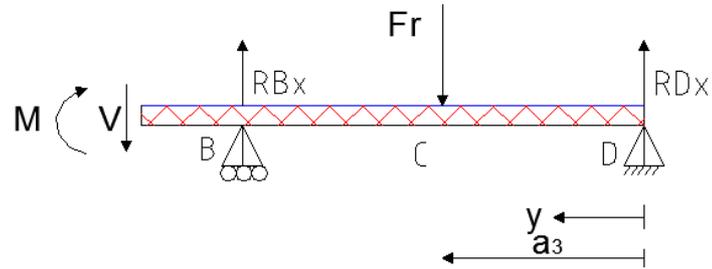
Ec. 6.22

$$M = F_R(y - a_2) - (R_{Dx} * y)$$

$$M = 45,28 \text{ [N - m]}$$

Tramo III

$$0 \leq y \leq a_3; a_3 = 720 \text{ mm.}$$



$$R_{Dx} + R_{Bx} + V = F_N$$

Ec. 6.23

$$V = 1001 + 978,15 - 592,15$$

$$V = 1384 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M = 0$$

$$M = (R_{Dx} * y) - F_R(y - a_2) + R_{Bx}(y - a_3)$$

$$M = 0,0025 \text{ [N - m]}$$

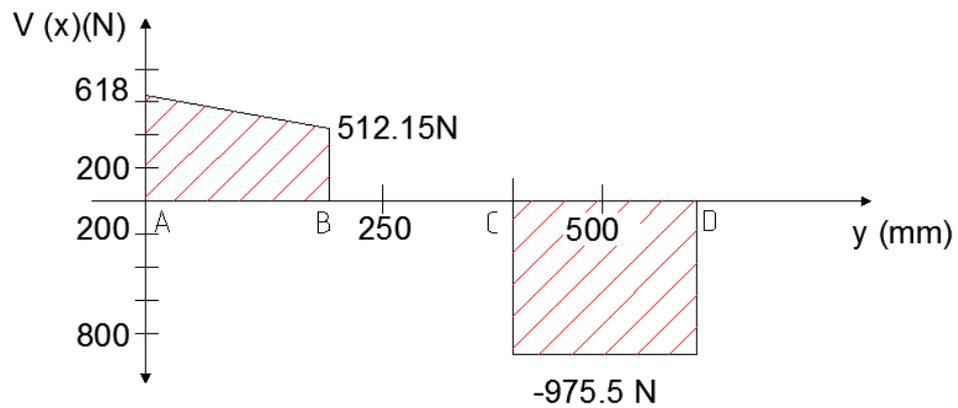


Figura 6.16. Diagrama de esfuerzo cortante.

Fuente: Propia.

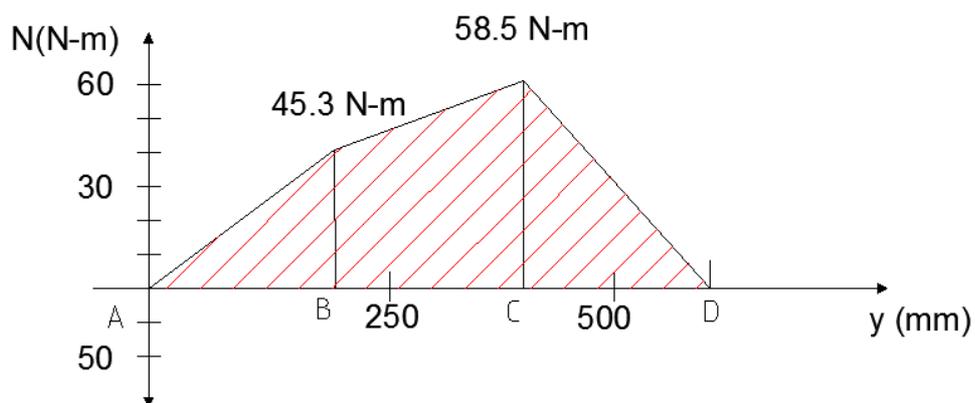


Figura 6.17. Diagrama de momento flector.

Fuente: Propia.

6.4.2.2. Diagrama de momento torsor.

Se calcula el momento torsor con la siguiente expresión.

$$T = F_N \left(\frac{D_p}{2} \right) \text{ [N - m]} \quad \text{Ec. 6.24}$$

Reemplazando los valores ya obtenidos anteriormente, se tiene:

$$T = 1001 \left(\frac{0,153}{2} \right)$$

$$T = 76,58 \text{ [N - m]}$$

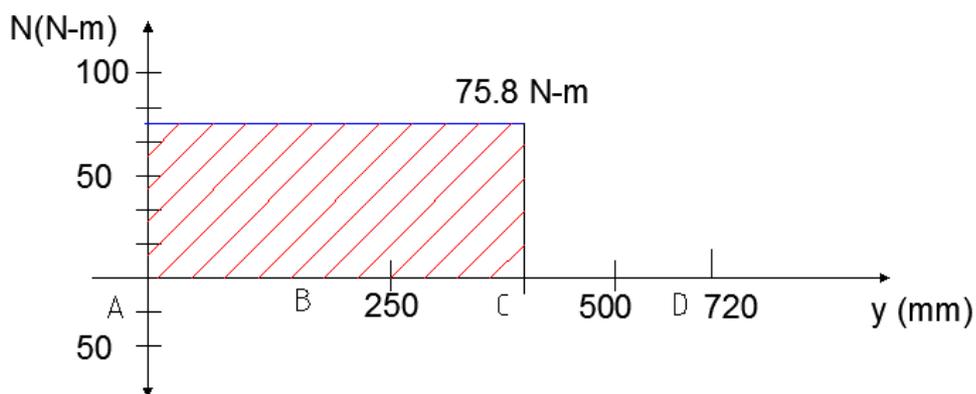


Figura 6.18. Diagrama de Momento Torsor

Fuente: Propia

Al analizar los diagramas resultantes, especialmente el diagrama de momento flector, se concluye que la sección crítica está localizada en el punto C, en el cual se ejerce la fuerza resultante de las tensiones de la banda.

6.4.2.3. Determinación del punto crítico.

El estado de esfuerzos en el punto crítico C, es el siguiente:

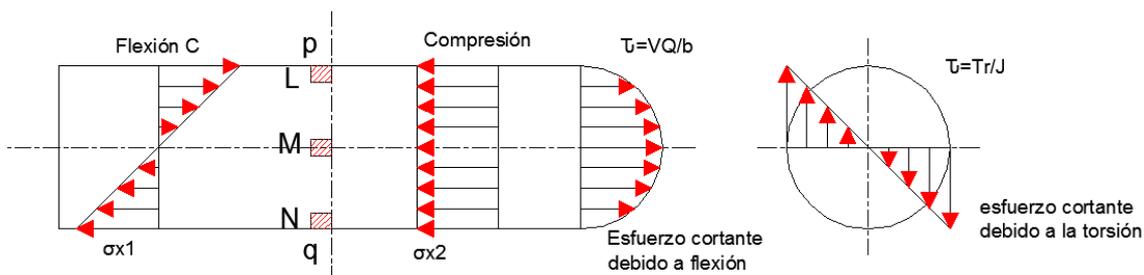
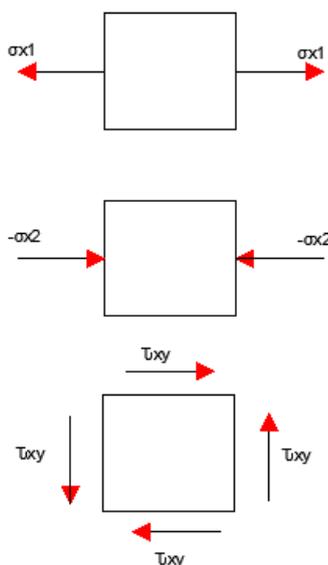


Figura 6.19. Corte $p-q$ en C. Determinación del punto crítico.

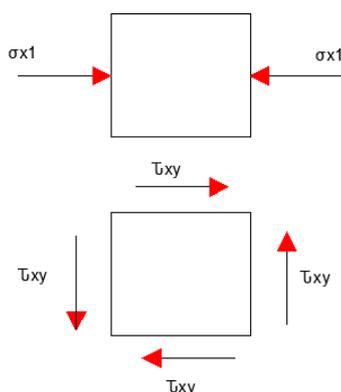
Fuente: Propia.

De donde se analizan los puntos L, M y N, para determinar cuál de ellos es el elemento crítico.

Esfuerzos en el elemento L



Esfuerzos en el elemento M



Esfuerzos en el elemento N.

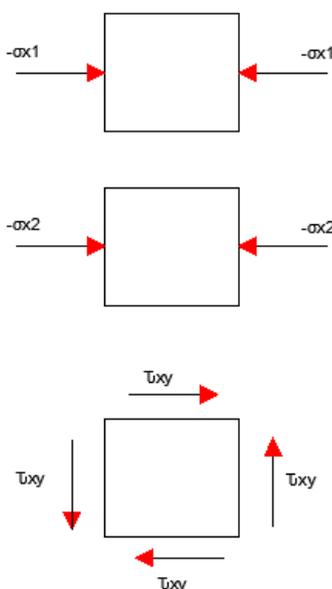


Figura 6.20. Esfuerzos en diferentes elementos de la sección crítica.

Fuente: Propia.

Del análisis de los gráficos, se determina que la sección crítica esta en el elemento N, ya que a mas de ser presentar la compresión ocasionada por el peso del conjunto móvil de la máquina, se suma la compresión de las fibras del eje ocasionada por la fuerza de tensión provocada por las bandas y la torsión provocada por el torque. Por lo tanto se diseña el diámetro del eje tomando en cuenta esta consideración.

6.4.2.4. Diseño estático del árbol de transmisión.

En el presente caso, se procede de la siguiente manera.

$$\sigma_{AB} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 6.25}$$

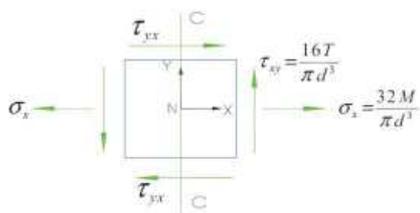
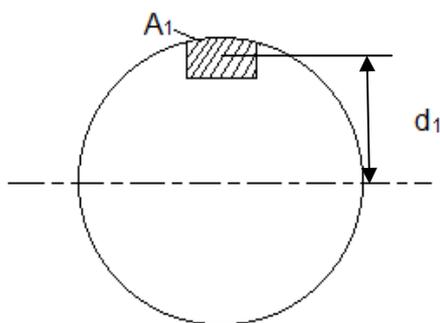


Figura 6.21. Diseño estático del árbol de transmisión.

Fuente: Propia.

$$\sigma_x = \frac{M \cdot c}{I} + \frac{W}{A} \quad \text{Ec. 6.26}$$

En el punto C, del eje de transmisión se aplica la fuerza resultante de la acción de la banda que transmite el movimiento desde el eje del motor. El acople del eje y la polea será por medio de una chaveta. Ya que la sección del eje cambia en este punto, es necesario calcular el momento de inercia de esta sección así como su momento polar de inercia



$$I = \frac{\pi d^4}{64} - A_1 \cdot d_1^2$$

$$I = 3,38 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$J = 6,77 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma_x = 2,56 \times 10^7$$

$$\tau_{xy} = \frac{T}{r} \quad \text{Ec. 6.27}$$

$$\tau_{xy} = 1,69 \times 10^7$$

Se reemplaza la ecuación 6.26, en la ecuación 6.25. Se obtiene la siguiente ecuación.

$$\sigma_{AB} = \frac{2,56 \times 10^7}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2,56 \times 10^7}{2}\right)^2 + (1,69 \times 10^7)^2} \quad \text{Ec. 6.28}$$

Los valores de límite de fluencia y resistencia a la tracción varían dependiendo del diámetro de un eje, por lo que se asume que los valores del diámetro oscilarán entre 16 y 40 milímetros para utilizar valores ya tabulados en manuales de fabricantes de acero.

Designación AISI	Fluencia [MPa]	Rotura [MPa]	S_{sy} [MPa]
1045	340	650	170
1040	290	524	145

Tabla 6.15. *Valores del diámetro del eje tomando en cuenta los esfuerzos principales para diferentes aceros.*

Fuente: Catalogo de aceros Bholer

El proceso a seguir será iterativo, ya que se otorgara un valor definido a la variable del diámetro del eje para evaluar el factor de seguridad que dicho diámetro presenta para diferentes tipos de materiales. Se escoge entonces el valor referencial de 30 mm.

Reemplazando valores, obtenemos.

$$\sigma_A = 3,4 \times 10^7 = \sigma_1$$

$$\sigma_B = -8,4 \times 10^6 = \sigma_3$$

Usando la teoría de energía de distorsión para materiales dúctiles, se realiza el siguiente análisis:

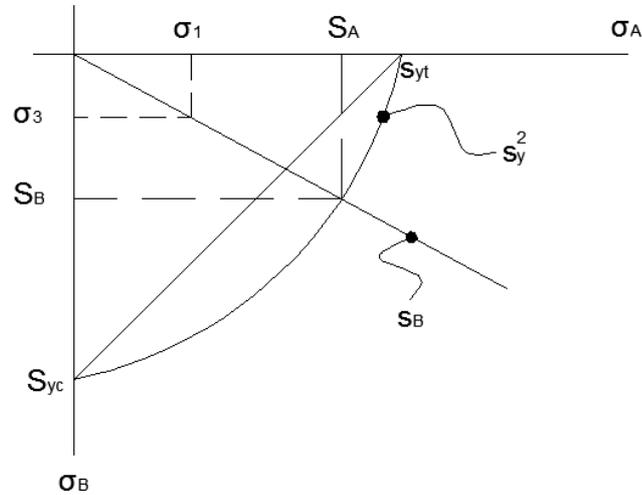


Figura 6.22. Teoría de energía de distorsión

Fuente: Propia..

De donde se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$S_y^2 = S_A^2 - S_A S_B + S_B^2 \quad \text{Ec. 6.29}$$

$$S_B = -\frac{\sigma_3}{\sigma_1} S_A \quad \text{Ec. 6.30}$$

Reemplazando la ecuación 6.29, en 6.30, y despejando S_A , se tiene.

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right) + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right)^2}} \quad \text{Ec. 6.31}$$

Reemplazando valores ya conocidos en la ecuación 6.31, se tiene:

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \left(\frac{9,67 \times 10^6}{3,917 \times 10^7}\right) + \left(\frac{9,67 \times 10^6}{3,917 \times 10^7}\right)^2}}$$

$$S_A = 0,874 S_y \quad \text{Ec. 6.32}$$

Entonces:

El factor de seguridad estático es:

$$n_d = \frac{S_A}{\sigma_A} \quad \text{Ec. 6.33}$$

$$n_d = \frac{0,874S_y}{\sigma_A}$$

Reemplazando los valores de la tabla 6.15, tenemos.

Acero AISI	Fluencia [MPa]	n_d
1045	340	11,6
1040	290	9,9

Tabla 6.16. Factor de seguridad estático para diferentes aceros.

Fuente: Propia

Del análisis de los resultados, concluimos que de igual manera que en el análisis anterior, todos los factores de seguridad son favorables al usar un diámetro de 30 mm. Para el eje.

6.4.2.5. Diseño dinámico del árbol de transmisión.

6.4.2.5.1. Diseño de la sección crítica.

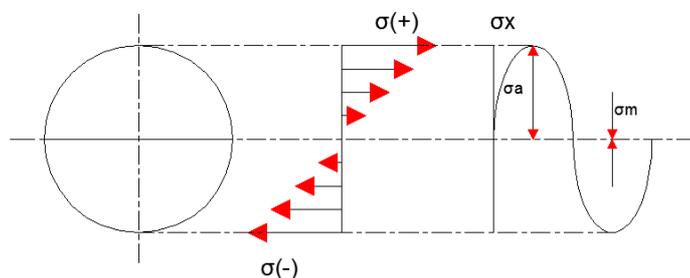


Figura 6.23. Diseño dinámico del árbol de transmisión

Fuente: Propia.

Para el cálculo de esta sección también se escoge un diámetro de 30 mm, el proceso será iterativo, ya que al calcular el factor de seguridad resultante se definirá si el valor supuesto del diámetro es correcto para la aplicación.

En primer lugar, se aplica la energía de distorsión.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 6.34}$$

Luego determinamos los esfuerzos de Von Mises:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3\tau_{xya}^2} \quad \text{Ec. 6.35}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3\tau_{xym}^2} \quad \text{Ec. 6.36}$$

Donde:

σ_a , es esfuerzo alternante.

σ_m , es esfuerzo medio.

Sean:

$$\tau_{xya} = 0$$

$$\sigma_{xm} = 0$$

Se tendría que:

$$\sigma'_a = \sigma_x \quad \text{Ec. 6.37}$$

Se calcula σ_x , con la ecuación 6.27

$$\sigma'_a = \sigma_x = 2,56 \times 10^7 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 6.38}$$

$$\tau_{xy} = 1,69 \times 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Por lo tanto:

$$\sigma'_m = 2,94 \times 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Factores que modifican el límite de Resistencia a la fatiga.

Se encuentran en la siguiente relación.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad \text{Ec. 6.39}$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

K_a : Factor de superficie

K_b : Factor de tamaño

K_c : Factor de confiabilidad

K_d : Factor de modificación por concentración de esfuerzos

K_f : Factor de efectos diversos

Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria S'_e .

El límite de resistencia a la fatiga de la viga rotatoria se determina por la siguiente expresión.

Para el caso de materiales dúctiles:

$$S'_e = 0,5S_{ut} \text{ si } S_{ut} \leq 200\text{Kpsi (1400Mpa)} \quad \text{Ec. 6.40}$$

$$S'_e = 100 \text{ Kpsi cuando } S_{ut} > 200\text{Kpsi (1400Mpa)} \quad \text{Ec. 6.41}$$

Para el caso de materiales frágiles:

$$S'_e = 0,45S_{ut} \text{ si } S_{ut} \leq 88\text{Kpsi (6000Mpa)} \quad \text{Ec. 6.42}$$

$$S'_e = 40 \text{ Kpsi cuando } S_{ut} > 88\text{Kpsi (600Mpa)} \quad \text{Ec. 6.43}$$

Al aplicar el criterio de falla de la línea de Goodman modificado para esfuerzos combinados, se obtiene:

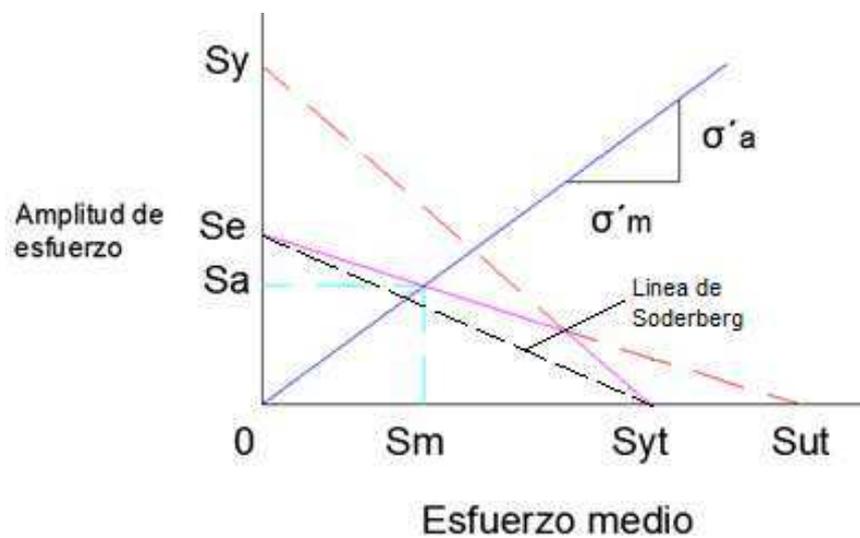


Figura 6.24. Diagrama de Fatiga. Línea de Soderberg

Fuente: Propia.

Además:

$$\frac{\sigma_m}{s_y} + \frac{\sigma_a}{S_e} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec. 6.44}$$

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} + \frac{S_e}{s_y}} \quad \text{Ec. 6.45}$$

6.4.2.5.2. Factor de superficie K_a .

El factor de superficie, se obtiene de la figura X. para la selección el factor es necesaria la resistencia a la tensión, y el tipo de acabado del elemento.

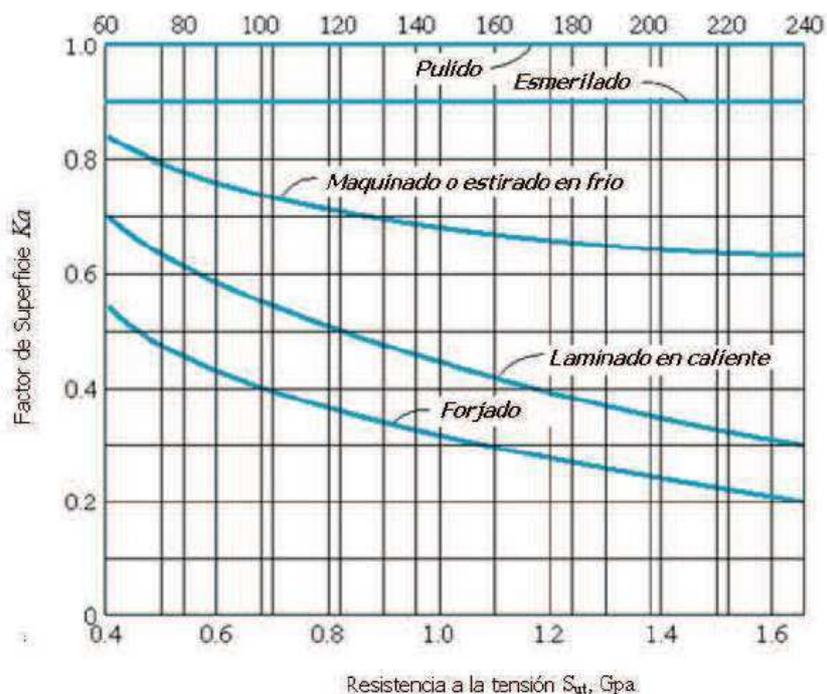


Figura 6.25. Factores de modificación de acabado superficial para el acero.

Fuente: Shygley, J: Manual de Diseño Mecánico: Editorial McGraw-Hill: Cuarta Edición: 1989: México: Pag. 308.

6.4.2.5.3. Factor de tamaño K_b .

Para el cálculo del factor de tamaño se utiliza la siguiente expresión:

$$K_b = 0,869d^{-0,097} \text{ si } 0,3" < d < 10" \quad \text{Ec. 6.46}$$

$$K_b = 1 \text{ si } d \leq 0,3" \quad \text{Ec. 6.47}$$

$$K_b = 1,189d^{-0,097} \text{ si } 8 \text{ mm} < d < 250 \text{ mm.} \quad \text{Ec. 6.48}$$

6.4.2.5.4. Factor de confiabilidad K_c .

El factor de confiabilidad se determina con la ayuda de la siguiente tabla:

Confiabilidad	Variable estandarizada Z_r	Factor de Confiabilidad k_c
0.50	0	1.000
0.90	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.091	0.753
0.999 9	3.719	0.702
0.999 99	4.265	0.659
0.999 999	4.753	0.620
0.999 999 9	5.199	0.584
0.999 999 99	5.612	0.551
0.999 999 999	5.997	0.520

Tabla 6.17. Factor de confiabilidad.

6.4.2.5.5. Factor de temperatura K_d .

El cálculo del factor de temperatura se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$K_d = 1 \quad \text{si } T \leq 450C \text{ (840F)} \quad \text{Ec. 6.49}$$

$$K_d = 1 - (5,8 \times 10^{-3}) \times (T - 450) \quad \text{si } 450C < T < 550C \quad \text{Ec. 6.50}$$

$$K_d = 1 - (3,2 \times 10^{-3}) \times (T - 840) \quad \text{si } 840F < T < 1020F \quad \text{Ec. 6.51}$$

6.4.2.5.6. Factor de concentración de esfuerzos K_e .

Para determinar el factor de concentración de esfuerzos, es necesario saber, el tipo de esfuerzo que está presente en el elemento a calcular, es decir, es necesario saber si el esfuerzo es flector o torsor.

Para determinar el factor de concentración de esfuerzos se utiliza la siguiente expresión:

$$K_d = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{1+q(K_t-1)} \quad \text{Cuando el esfuerzo es flector} \quad \text{Ec. 6.52}$$

$$K_d = \frac{1}{K_{fs}} = \frac{1}{1+q(K_{ts}-1)} \quad \text{Cuando el esfuerzo es torsor} \quad \text{Ec. 6.53}$$

Para determinar los factores K_t , o K_{ts} , consultamos el Manual de Diseño Mecánico, de Shygly, el cual muestra los siguientes diagramas para factores teóricos de concentración de esfuerzo; ya sea para flexión o torsión.

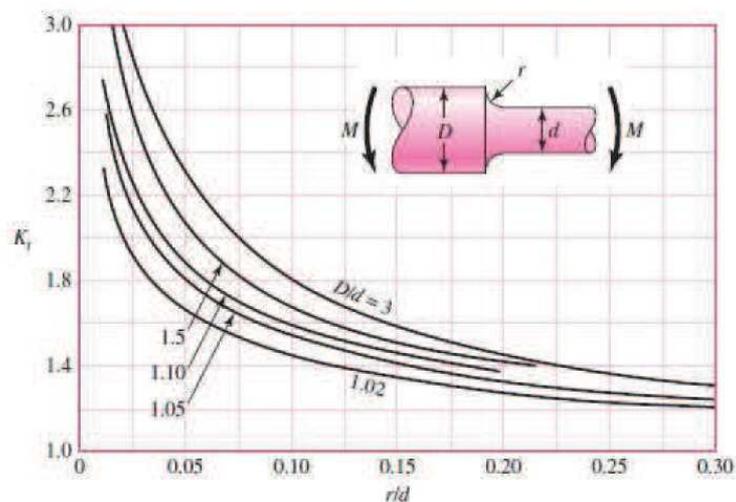


Figura 6.26. Factor K_t para flexión.

Fuente: Shygly, J: Manual de Diseño Mecánico: Editorial McGraw-Hill: Cuarta Edición: 1989: México: Pag. 884.

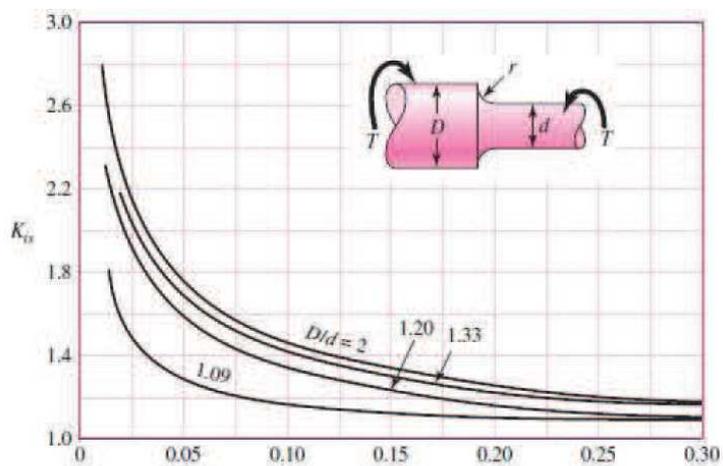


Figura 6.27. Factor K_{ts} para flexión.

Fuente: Shygly, J: Manual de Diseño Mecánico: Editorial McGraw-Hill: Cuarta Edición: 1989: México: Pag. 884.

Para determinar el factor de sensibilidad a las ranuras para aceros, se utiliza la siguiente figura

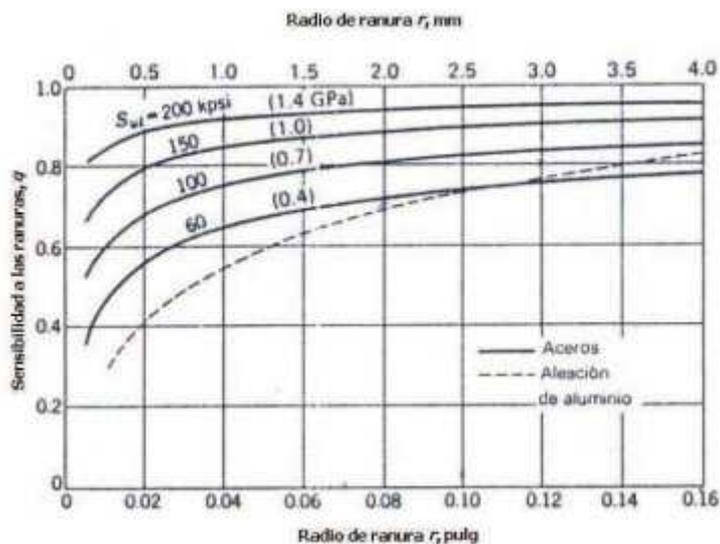


Figura 6.28. Diagrama de sensibilidad a las ranuras para aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a cargas flexionantes o axiales invertidas.

Fuente: Shygly, J: Manual de Diseño Mecánico: Editorial McGraw-Hill: Cuarta Edición: 1989: México: Pag. 323.

Para determinar la sensibilidad a las ranuras para materiales sometidos a torsión invertida alternativamente, se utiliza la siguiente figura:

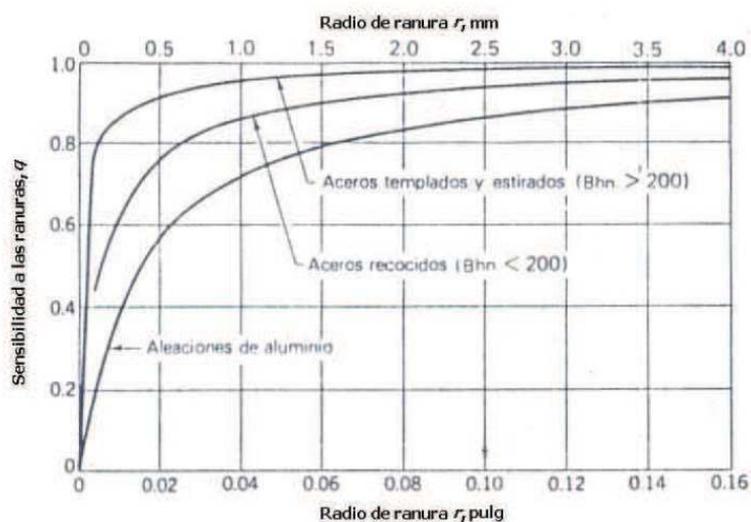


Figura 6.29. Diagrama de sensibilidad a las ranuras para materiales en torsión invertida alternativamente.

Fuente: Shygly, J: Manual de Diseño Mecánico: Editorial McGraw-Hill: Cuarta Edición: 1989: México: Pag. 324.

6.4.2.5.7. Factor de efectos diversos K_f .

Por lo general este factor es considerado igual a 1, excepto para engranes.

Luego de conocer los parámetros necesarios para el diseño dinámico, se inicia con los cálculos, de donde, se obtiene la siguiente tabla.

Acero AISI	Sut [MPa]	S'_e
1045	650	325
1040	524	262

Tabla 6.18. Resultados de S'_e para diseño dinámico del árbol de transmisión.

Fuente: Propia

Se ha determinado con el criterio de material dúctil, los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga. En la siguiente tabla se resumen los tipos de aceros que se han considerado para el diseño.

Acero AISI	K_a	K_b	K_c	K_d	K_e	K_f
1045	0,57	1,67	1	1	1	1
1040	0,62	1,67	1	1	1	1

Tabla 6.19. Factores que modifican S'_e de diseño dinámico del árbol de transmisión.

Fuente: Propia

Finalmente se determinan los valores de S_e .

Acero AISI	S_e
1045	309,4
1040	271,3

Tabla 6.20. Valores de S_e , para el diseño dinámico del árbol de transmisión.

Fuente: Propia

Para determinar el factor de seguridad debemos calcular el esfuerzo medio S_m con la expresión 4.50.

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} + \frac{S_e}{S_y}}$$

Para luego obtener:

$$n_d = \frac{S_m}{\sigma'_m} \quad \text{Ec. 6.54}$$

Tabulando los datos:

Acero AISI	S_m	n_d
1045	173.75	5,9
1040	171,5	5,5

Tabla 6.21. Factor de seguridad dinámico del árbol de transmisión, para diferentes aceros.

Fuente: Propia

CONCLUSION:

Se observa que, el factor de seguridad para ambos casos es mayor a 2, por lo que se concluye en la selección del acero AISI 1045, por ser el más comercial de los estudiados y aquel que mas seguridad representa para el presente proyecto.

6.4.3. SELECCIÓN DE PERNOS PARA EL ACOPLA PLATO, BRIDA EJE.

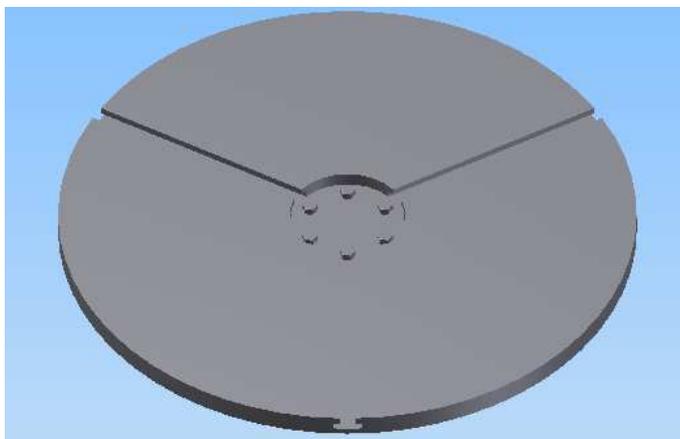




Figura 6.30. Sistema de acople brida plato.

Fuente: Autodesk Inventor 2011

El sistema de acople estará compuesto de una brida unida mediante seis pernos M12 x 45 mm de longitud, de grado 8, al plato, los pernos se han seleccionado de tal manera que se pueda montar y desmontar fácilmente, con llaves o dados comunes en el taller, también se han tomado en cuenta que sean pernos comunes en el mercado.

6.4.3.1. Diseño estático de los pernos:

Los pernos que unen la brida al perno están sometidos a tensión, por lo tanto se diseñaran con la teoría de falla en tensión simple.

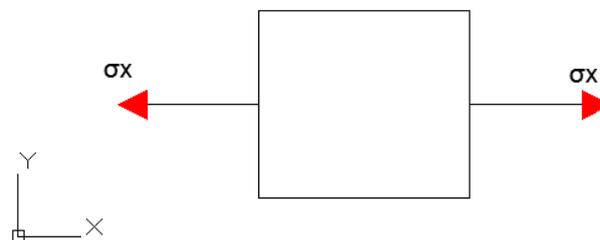


Figura 6.31. Tensión Simple

Fuente: Propia

6.4.3.1.1. Relación de la rigidez

Se determinara la longitud de agarre del perno para obtener la rigidez del mismo. Cada perno soporta el espesor del plato en la sección de los pernos y el espesor de la brida en la misma sección, entonces:

$$\text{Agarre} = l = 0,008 \text{ m} + 0,020 \text{ m} = 0,028 \text{ m}$$

La constante de rigidez del perno es:

$$k_b = \frac{\pi \times d^2 \times E}{4l} \quad \text{Ec. 6.55}$$

Donde:

k_b : Constante de rigidez del perno (kgf/m)

d : Diámetro mayor (kgf)

E : Módulo de elasticidad del acero $E = 2,10 \times 10^6$ (kgf/m²)

l : Longitud de agarre del perno (m)

Reemplazando valores en la ecuación, de tiene.

$$K_b = \frac{\pi \times (0,012)^2 \times 2,1 \times 10^6}{4 (0,028)} = 8482,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

La constante de rigidez de los elementos se encuentra con la siguiente fórmula:

$$k_m = \frac{\pi \times E \times d}{2 \times \ln \left[5 \times \frac{l+0,5d}{l+2,5d} \right]} \quad \text{Ec. 6.56}$$

Donde:

k_m : Constante de rigidez de los elementos (kgf/m)

d : Diámetro mayor (kgf/m)

E : Modulo de elasticidad (kgf/m²)

l : Longitud de agarre del perno (m)

Reemplazando valores en la ecuación, se tiene.

$$K_m = \frac{\pi \times 2.1 \times 10^6 \times 0.012}{2 \times \ln \left[5 \times \frac{0.028 + 0.5 \times 0.012}{0.028 + 2.5 \times 0.012} \right]}$$

$$K_m = 36822,47 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

La constante C, se la determina utilizando la siguiente expresión:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad \text{Ec. 6.57}$$

Reemplazando los valores en la ecuación, se tiene.

$$C = \frac{8482,32}{8482,32 + 36822,47} = 0.19$$

6.4.3.1.2. Selección de la precarga

La carga de prueba obtenida F_p , se la determina utilizando la siguiente formula.

$$F_p = S_p \times A_t \quad \text{Ec. 6.58}$$

Donde:

F_p : Carga de prueba (kgf)

S_p : Resistencia a la tensión (kgf/m²)

A_t : Área de tensión (m²)

En la tabla de las especificaciones de pernos se obtienen los valores para, resistencia a la tensión (S_{ut}), Resistencia a la fluencia (S_y) y la resistencia a la rotura (S_{ut}).

Los siguientes valores son los obtenidos.

$$S_{ut} = 150 \text{ kpsi} = 1,05 \times 10^8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$S_y = 130 \text{ kpsi} = 8,43 \times 10^7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$S_p = 120 \text{ kpsi} = 9,13 \times 10^7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Según el diámetro mayor nominal, se encuentra el área esfuerzo tensión, en el (ANEXO L), se muestra los esfuerzos de tensión según su tipo de paso y el diámetro del tornillo o perno.

Se obtienen los siguientes resultados.

$$A_t = 0.000076 \text{ m}^2$$

Además se conoce que la precarga debe estar en el rango:

$$0,6 F_p \leq F_i \leq 0,9 F_p \quad \text{Ec. 6.59}$$

Reemplazando valores en la Ec. 6., se tiene.

$$F_p = (8,43 \times 10^7) \times 0.000076$$

$$F_p = 6406.8 \text{ kg}$$

Entonces la precarga mínima y máxima:

$$F_i(\text{min}) = 0.6 F_p$$

$$F_i(\text{min}) = 3844.08 \text{ kg}$$

$$F_i (\text{máx}) = 0.9 F_p$$

$$F_i (\text{máx}) = 5766,12 \text{ kg}$$

Entonces reemplazando en la Ec. 6.59, se tiene:

$$3844,08 \text{ kg} \leq F_i \leq 5766,12 \text{ kg}$$

Se escoge la precarga mayor:

$$F_i = 5766,12 \text{ kg}$$

Se determina la resistencia a la fatiga por la carga fluctuante:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

El valor de S'_e se obtiene de la ecuación.

$$S'_e = 19.2 + 0.314 S_{ut} \text{ para } S_{uc} \geq 60 \text{ kpsi}$$

Reemplazando los valores.

$$S'_e = 19.2 + 0.314 * 150 \text{ kpsi}$$

$$S'_e = 47.1 \text{ kpsi}$$

$$S'_e = 324.74 \text{ Mpa}$$

Los modificadores de la Resistencia a la fatiga se encuentran a partir de las recomendaciones del Diseño de elementos de máquinas de "Shigley".

$$K_a = 0.9$$

$$K_b = 1$$

$$K_c = 1 \text{ por confiabilidad del 50\%}$$

$$K_d = 1 \text{ Temperatura menor a } 450^\circ\text{C}$$

$$K_e = 1/K_f \text{ Kf=3 para roscas laminadas entonces } K_e = 0.33$$

Por lo tanto:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

$$S_e = 0.9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.33 \times 324,74 \text{ MPa}$$

$$S_e = 96.45 \text{ MPa}$$

6.4.3.2. Determinación del factor dinámico

Una relación entre F_i y n , cuando se determina una precarga apropiada en el caso del trabajo de una carga a fatiga es.

$$F_i = A_t \times S_{ut} - \frac{C \times n \times P}{2} \left(\frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right) \quad \text{Ec. 6.60}$$

Se puede obtener el factor de seguridad aplicando despejando.

$$n = 2 \times \frac{A_t \times S_y - F_i}{C \times P \left(\frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right)} \quad \text{Ec. 6.61}$$

Se considerara una carga P igual a la reacción en el eje que es de P=325,4 kg

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación, se tiene:

$$n = 2 \times \frac{0.000076 \text{ m}^2 \times 8.43 \times 10^7 - 5766,12 \text{ kg}}{0.19 \times 325,4 \text{ kg} \left(\frac{1.05 \times 10^8}{9.65 \times 10^6} + 1 \right)}$$

$$n = 10.36$$

Se puede observar que el factor de seguridad es mayor que el de diseño, por lo tanto se concluye que los pernos seleccionados son adecuados para el trabajo solicitado.

6.4.4. DISEÑO DE LAS CHAVETAS.

Para el diseño de las chavetas se procede con los valores obtenidos del eje, potencia del motor, y se hace un análisis para cada una de las velocidades a las que girara el eje.

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Pot} = 4.8 \text{ Kw}$$

$$n_1 = 950 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 800 \text{ rpm}$$

$$n_3 = 720 \text{ rpm}$$

$$n_4 = 680 \text{ rpm}$$

El material en el que se fabricaran las chavetas es el AISI 1018, un material muy común en el mercado que tiene un:

$$S_y = 236 \text{ Mpa}$$

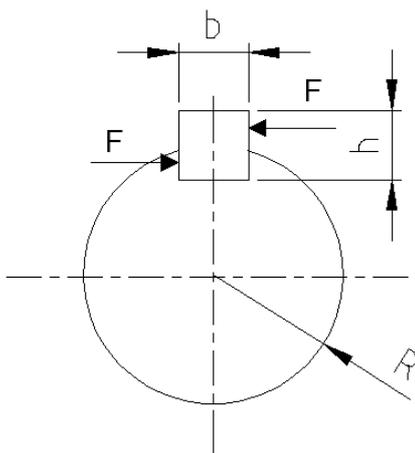


Figura 6.32. Diagrama de fuerzas sobre la chaveta.

Fuente: Propia

Modelo de cálculo de la chaveta cuando el eje gira a 680 rpm.

$$T = 40,69 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T = F \times r \rightarrow F = \frac{T}{r} = \frac{40,69 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,015 \text{ m}} = 2712,7 \text{ N} \quad \text{Ec. 6.62}$$

6.4.4.1. 1ra Teoría corte

$$n = \frac{S_y \times b \times l}{2 \times F} \quad \text{Ec. 6.63}$$

$$l = \frac{2 \times F \times n}{S_y \times b} \quad \text{Ec. 6.64}$$

$$l = \frac{2 \times 2712,7 \times 5}{236 \times 8} = 7 \text{ mm}$$

Se escoge un factor de seguridad de 2.5 puesto que este es de alrededor de la mitad de la del eje, y una chaveta debe actuar a manera de fusible del sistema, para que en el caso de un percance se rompa la chaveta pero no el eje.

6.4.4.2. 2da Teoría aplastamiento

$$n = \frac{S_y \times b \times l}{2 \times F}$$

$$l = \frac{2 \times F \times n}{S_y \times h}$$

$$l = \frac{2 \times 2712.7 \times 5}{236 \times 0,7} = 8 \text{ mm}$$

r del eje (mm)	Potencia (Kw)	n (rpm)	T (N-m)	F (N)	n	b	Sy (Mpa)	l (mm)	h	l (mm) aplast
0,015	4,8	950	31,91	2127	2,5	8	236	6	7	6
0,015		800	31,04	2069		8		5	7	6
0,015		720	33,89	2259		8		6	7	7
0,015		680	40,69	2713		8		7	7	8

Tabla 6.22. Longitudes de chaveta en función de la velocidad de rotación.

Fuente: Propia

De los valores obtenidos podemos concluir que la mínima longitud que debería tener la chaveta es de 8 mm teniendo en cuenta que la chaveta elegida será de 7 mm de alto y 8 mm de ancho¹⁸, por facilidad de construcción se realizaran chavetas de 1 pulgada de longitud, que se encuentran fácilmente en el mercado.

6.4.5. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL EJE.

La selección de los rodamientos se realizará en base a cargas que soporta el eje como se indica en el diagrama del cuerpo libre de la figura 6. 15.

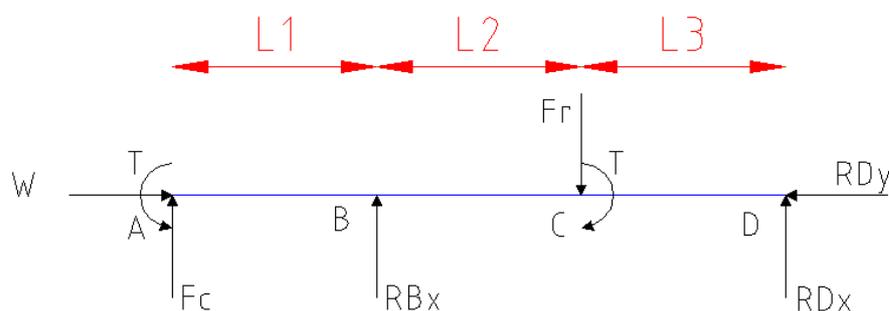


Figura 6.15. Diagrama del cuerpo libre del eje.

Fuente: Propia

¹⁸ HERNANN JUTZ, Tablas para la industria metalúrgica, GTZ,3ra edición, Barcelona 1976, Página 139

Donde:

$$W = 3254 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 592.15 \text{ N}$$

$$R_{Dy} = 3254 \text{ N}$$

$$R_{Dx} = -975.15 \text{ N}$$

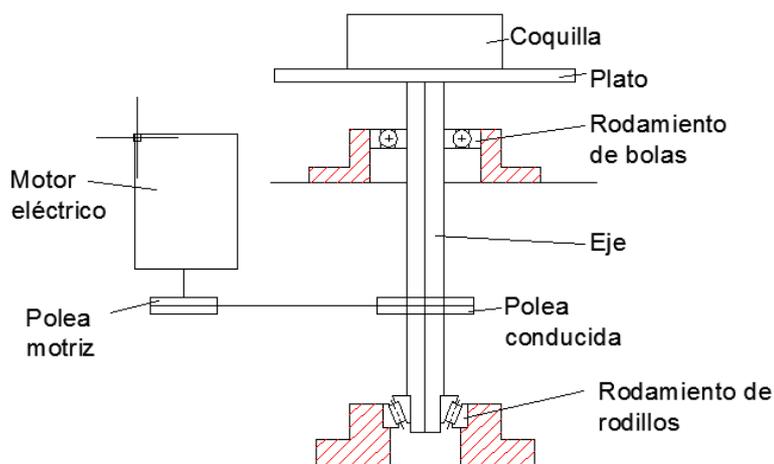


Figura 6.33. Diagrama del sistema de movimiento de la máquina de colado por centrifugado.

Fuente: Propia

El sistema está apoyado sobre el rodamiento inferior, por lo tanto se elige un rodamiento de rodillos cónicos, que soporte carga radial y axial. El rodamiento superior servirá de elemento anti fricción y de guía del eje, por lo tanto solo soportara carga radial. Entonces se realizara la selección independiente del rodamiento superior e inferior.

6.4.5.1. Cálculo de la vida de los rodamientos.

El cálculo de la vida útil es particular para cada tipo de rodamiento, se usa la siguiente tabla debido a que ha sido realizada por una empresa fabricante de rodamientos que tiene una amplia experiencia y trayectoria como para haber obtenido los datos expuestos.

Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas	
Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos periodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 1 2000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas : Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas : Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugas.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día : Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de trasatlánticos.	≈ 100 000

Tabla 6.23. Horas de servicio para diferentes tipos de máquinas.¹⁹

A la máquina de colado por centrifugado se pretende usarla en su máxima capacidad, y parar solo para casos que no se puedan controlar, en este caso la empresa solo puede fundir desde las 22H00 hasta las 18H00 por la hora pico de la energía eléctrica, por lo tanto el horno estaría prendido 20 horas, pero se tiene que considerar que hay que cargar el horno, afinar la composición química, hacer el control de calidad y prepararse para el colado, por lo que consideraríamos por

¹⁹ SKF, Catalogo General, 1975; Pág 30.

experiencia que la máquina podría trabajar en el caso más extremo 8 horas completamente utilizadas, por lo tanto se escoge una vida útil de 25000 horas.

Se realiza el análisis en los puntos B y D, porque cada punto soportara cargas diferentes, el punto B carga radial y el punto D carga radial y axial, usaremos rodamiento de bolas en el punto B y un rodamiento de rodillos en el D que es donde descansa todo el sistema de móvil y el sistema de colado.

Los rodamientos se diseñaran a carga dinámica debido a que la mínima velocidad de trabajo de la máquina es de 680 rpm, y estará girando constantemente por lo que estará solicitado dinámicamente.

6.4.5.2. Selección rodamiento de bolas para el punto B.

Carga dinámica equivalente:

$$P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa \text{ (KN)} \quad \text{Ec. 6.65}$$

Donde:

$$Fr = RBx = 0.592 \text{ (KN)}$$

Fa = 0, solo soporta carga radial.

X = 0.5 (rodamiento de contacto radial)

$$P = 0,5 \times 0,592 \text{ (KN)}$$

$$P = 0,296 \text{ (KN)}$$

Se determina la carga dinámica equivalente C con la siguiente expresión:

$$C = \frac{f_L}{f_n \times f_H} \times P \text{ (KN)} \quad \text{Ec. 6.66}$$

De donde:

f_L = Factor de esfuerzos dinámicos, para condiciones de servicio de una maq.²⁰

f_H = factor de dureza, depende del factor de servicio²¹

f_n = factor de velocidad²²

²⁰ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 38

²¹ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 35

Entonces

$f_L = 3.74$ porque esperamos una vida útil de alrededor de 25000 horas.

$f_H = 1$ porque el rodamiento no estará a más de 120 °C

$f_n = 0,327$ para cojinetes de bolas y $n=950$ rpm

por lo tanto:

$$C = \frac{3.74}{0.327 \times 1} \times 0.296(\text{KN})$$

De donde $C = 3,384$ (KN).

El rodamiento lo seleccionamos en base al diámetro del eje:

Deje= 30 mm,

Rodamiento escogido FAG 16006.

La capacidad de carga dinámica de este rodamiento es 11,2 (KN)

Si bien la carga dinámica equivalente este muy por debajo de la capacidad de carga del rodamiento seleccionado, hay que tener en cuenta que se tiene que escoger un rodamiento que pueda montarse en el eje, y el más adecuado es el indicado.

6.4.5.3. Selección del rodamiento de rodillos cónico para el punto D.

Se determina la carga dinámica con la siguiente relación:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3254 \text{ N}}{975.15 \text{ N}} = 3.34 \text{ N} \quad \text{Ec. 6.67}$$

Se busca el valor de e.

$e=0.35$ ²³ debido a que el diámetro del eje será de 25 mm en la sección del apoyo.

$$\frac{F_a}{F_r} \geq e$$

Entonces la carga dinámica equivalente será:

$$P = X. F_r + Y. F_a \text{ (KN)}$$

²² FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 39

²³ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 368

Donde:

$$F_r = R D x = 0.975 \text{ (KN)}$$

$$F_a = 3.254.$$

$X = 0.5$ (rodamiento de contacto angular con ángulo fuerte)

$$Y = 2$$

$$P = 0,4 * 0,975 + 2 * 3.254 \text{ (KN)}$$

$$P = 6.9 \text{ (KN)}$$

Se determina la carga dinámica equivalente C con la siguiente expresión:

$$C = \frac{f_L}{f_n \times f_H} \times P \text{ (KN)}$$

De donde:

f_L = Factor de esfuerzos dinámicos.²⁴

f_H = factor de dureza, depende del factor de servicio²⁵

f_n = factor de velocidad²⁶

Entonces:

$f_L = 3$ porque esperamos una máquina centrifugadora.

$f_H = 1$ porque el rodamiento no estará a más de 120 °C

$f_n = 0,366$ para cojinetes de rodillos y $n = 950$ rpm

por lo tanto:

$$C = \frac{3}{0.366 \times 1} \times 6.9 \text{ (KN)}$$

De donde $C = 56.6 \text{ (KN)}$.

El rodamiento lo seleccionamos en base al diámetro del eje:

Deje = 25 mm,

Rodamiento escogido FAG 32305A

²⁴ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 38

²⁵ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 35

²⁶ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 39

La capacidad de carga dinámica de este rodamiento es 63 (KN)

La carga bajo sollicitación dinámica es la que soporta el rodamiento seleccionado, por lo tanto el rodamiento escogido es el adecuado para el trabajo.

Podemos concluir que los rodamientos escogidos son:

PUNTO	SERIE RODAMIENTO	Diámetro interior	Diámetro exterior	Ancho
B	16006	30	55	9
D	32305 ^a	25	62	25.25

Tabla 6.24. Dimensiones de los rodamientos para el eje.²⁷

6.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para el diseño de la estructura se toman los elementos que soportan las cargas más importantes, de acuerdo a los análisis anteriores como fueron el caso del eje, y la selección de los rodamientos nos indican que tipo de carga soportara cada perfil, se tratara de tomar un perfil estándar para la estructura debido a que se usara una viga laminado en caliente UPN 120, que es común en el mercado nacional pero se la puede conseguir en una longitud de 6 metros.

6.5.1. DISEÑO DE LA VIGA

La viga esta fija en sus dos extremos, por lo tanto se tiene una viga con empotramiento a ambos lados, como se muestra en la figura xx.

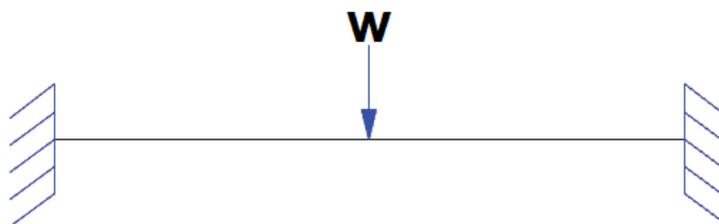


Figura 6.34. Fuerza aplicada en la viga.

Fuente: Propia

²⁷ FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España. Pag. 158 y 328.

$W=325.4 \text{ kg}$

Se puede ver que es una viga indeterminada, por lo tanto para resolver el problema se usara el método de los tres momentos, de acuerdo al Diagrama del cuerpo libre de la figura 62.

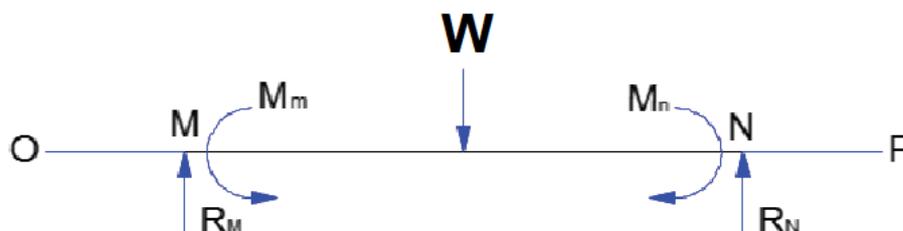


Figura 6.35. Diagrama del cuerpo libre de la viga.

Fuente: Propia

El diagrama del cuerpo libre está definido por la siguiente ecuación:

$$l_o M_o + 2(l_o + l_m)M_m + l_n M_n = -6(\alpha_{oi} + \alpha_{od}) \quad \text{Ec. 6.68}$$

Donde:

$$l_o = 0$$

$$M_o = 0$$

$$\alpha_{oi} = 0$$

Reemplazando la ecuación 6.68, en el apoyo OMN, se tiene:

$$2(0.8)M_m + 0.8M_n = -6(\alpha_{oi} + \alpha_{od})$$

$$1.6M_m + 0.8M_n = -6(\alpha_{od})$$

Reemplazando la ecuación 6.68, en el apoyo MNP, se tiene:

$$0.8M_m + 2(0.8)M_n = -6(\alpha_{oi} + \alpha_{od})$$

$$0.8M_m + 1.6M_n = -6(\alpha_{od})$$

Análisis de los giros.

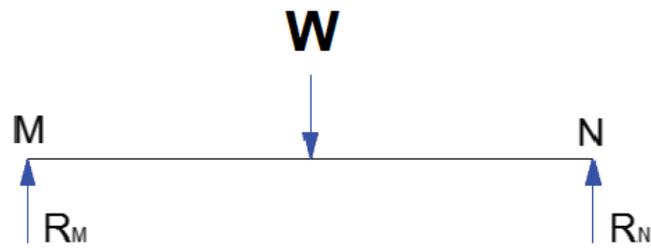


Figura 6.36. Fuerzas aplicadas en la viga

Fuente: Propia

Sumatoria de momentos en los puntos M y N

$$\sum M_M = 0 \quad + \text{antihorario}$$

$$R_N \times 0.8 - 325.4 \times 0.4 = 0$$

$$R_N = \frac{325.4 \times 0.4}{0.8}$$

$$R_N = 162.7 \text{ kg}$$

$$\sum M_N = 0 \quad + \text{antihorario}$$

$$R_M \times 0.8 - 325.4 \times 0.4 = 0$$

$$R_M = \frac{325.4 \times 0.4}{0.8}$$

$$R_M = 162.7 \text{ kg}$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = R_M X - 325.4(X - 0.4)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{R_M X^2}{2} - \frac{325.4(X - 0.4)^2}{2} + A$$

$$EIY = \frac{R_M X^3}{6} - \frac{325.4(X - 0.4)^3}{6} + AX + B$$

Donde:

R_N, R_M Son las reacciones en las esquinas de la estructura

A, B son las constantes del teorema.

$B=0$

Si $Y(x)=0$,

Entonces $X=0.8$ m

$$0 = 162.7 \frac{0.8^3}{6} - \frac{325.4(0.8 - 0.4)^3}{6} + A1(0.8)$$

$$A = -13.02$$

Si $x=0$

$$EI \frac{dy}{dx} = \theta$$

$$\alpha_{oi} = 13.02$$

Si $x=0.8$

$$EI \frac{dy}{dx} = \theta = \alpha_{od} = \frac{162.7 \times (0.8)^2}{2} - \frac{325.4(0.4)^2}{2} - 13.02$$

$$\alpha_{od} = 13.02$$

Reemplazando valores en las ecuaciones (xx y xx), se tiene:

$$1.6M_m + 0.8M_n = -78.12$$

$$0.8M_m + 1.2M_n = -78.12$$

Resolviendo el sistema tenemos:

$$M_M = -48.93 \text{ kg} - \text{m}$$

$$M_N = -48.93 \text{ kg} - \text{m}$$

Entonces se obtiene el siguiente diagrama del cuerpo libre:

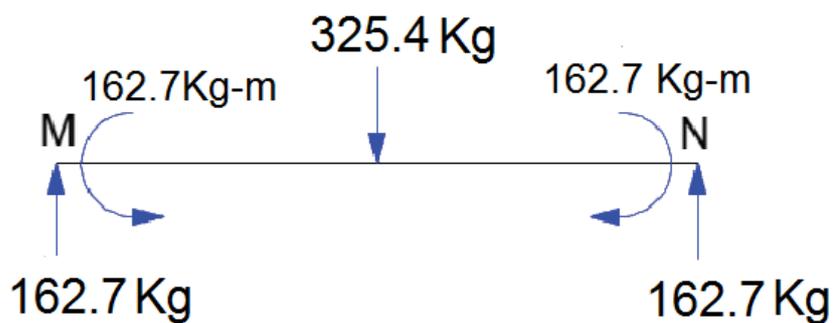


Figura 6.37. Diagrama de cuerpo libre de la viga.

Fuente: Propia

Entonces se obtienen los diagramas de cortante y momento flector.

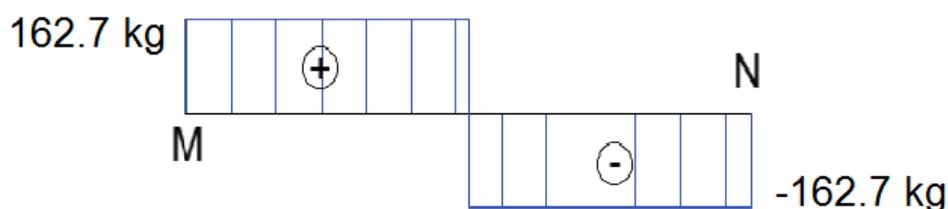


Figura 6.38. Diagrama de fuerza cortante de la viga.

Fuente: Propia

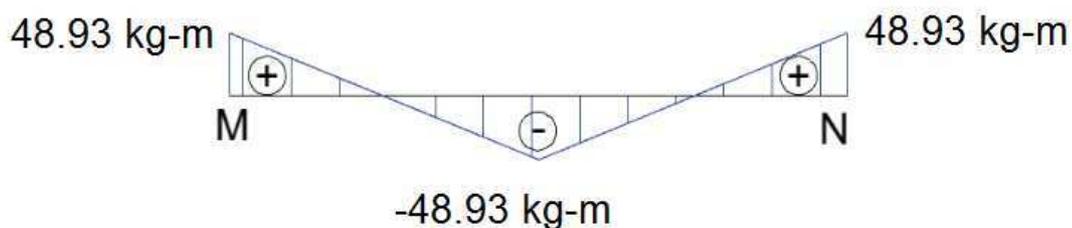


Figura 6.39. Diagrama de momento de la viga.

Fuente: Propia

Como se escogió una viga con perfil UPN 120, que en el país se encuentra en DIPAC, que es un distribuidor de perfiles estructurales, se tiene que el modulo de inercia es:

$$S_{xx}=0.0000607 \text{ m}^3$$

Se obtiene el factor de seguridad.

$$\frac{M_{\max}}{S_{xx}} = [\sigma]_{\text{adm}} = \frac{S_y}{n}$$

El perfil es de acero A-36. Donde $S_y=32$ Kpsi. Reemplazando los valores en la ecuación xx, se tiene:

$$\frac{48.93 \text{ kg} \cdot \text{m}}{0.0000607 \text{ m}^3} = [\sigma]_{\text{adm}} = \frac{22505600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{n}$$

$$n = \frac{22505600 \times 0.0000607}{48.93}$$

$$n = 27,92$$

Se observa que la viga seleccionada soporta la carga requerida, y aunque se ve que el factor de seguridad es elevado, se tiene que tener en cuenta otros factores, como que el perfil tiene que brindar apoyo a la chumacera que sostendrá el rodamiento, y también que en el mercado local no se cuenta con todas las medidas de perfiles, por lo que el seleccionado es el más adecuado para sostener el mecanismo de movimiento de la máquina.

Toda la estructura se fabricara del mismo perfil debido a que este se puede adquirir solo en una presentación de 6 metros y no tiene sentido desperdiciarlo.

Se debe tener en cuenta que si la viga que está sometida al mayor esfuerzo, está sobredimensionada por no haber todos los perfiles en el mercado ecuatoriano, entonces las columnas y las demás vigas que no deben soportar esfuerzos mayores al que representa apoyar todo el sistema móvil, soportaran sin problemas los esfuerzos exigidos.

6.6. CONTROL DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR.

6.6.1. VARIADOR DE FRECUENCIA.

Un variador de frecuencia es un dispositivo que permite controlar la velocidad rotacional de un motor a través de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Se debe tener presente que el cambio de frecuencia debe estar acompañado por un cambio del voltaje aplicado al motor para no saturar el flujo magnético dentro del rotor.

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido.

6.6.1.1. Selección del Variador de Frecuencia

La selección de este dispositivo se realizó en base a las características del motor y del número de entradas que se necesitarán las realizar la variación de velocidad del motor.

Características del motor	
Rango del salida Potencia:	5 HP (3,7 kW)
Amperaje:	≈ 12 A
Numero de fases	3 Ph (220 V)

Tabla 6.25. *Características del motor a usar.*

Fuente: Propia

Por lo que se seleccionó a un dispositivo que cumpla con dichas especificaciones, además que cumpla con certificaciones (UL, CE, CUL, C-Tick) que garanticen un óptimo desempeño, así como durabilidad y facilidad de manejo.

En el ANEXO M, se encuentra toda la información referente a las características técnicas del elemento a más de una explicación detallada de su funcionamiento y forma de conexión.

6.6.2. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

6.6.2.1. Elementos

- 5 bancos de relés
- 5 pulsadores
- PowerFlex ® 4 Driver de CA
- Cable para conexiones 18 AWG
- Motor autoventilado
- Protecciones para motor
- Fusibles

6.6.2.2. Esquema

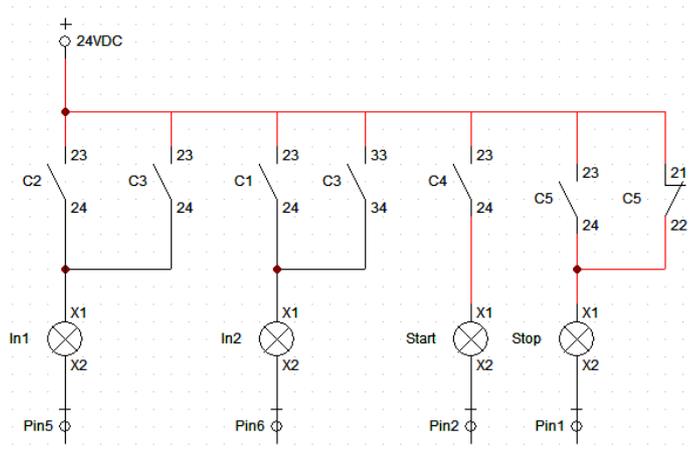
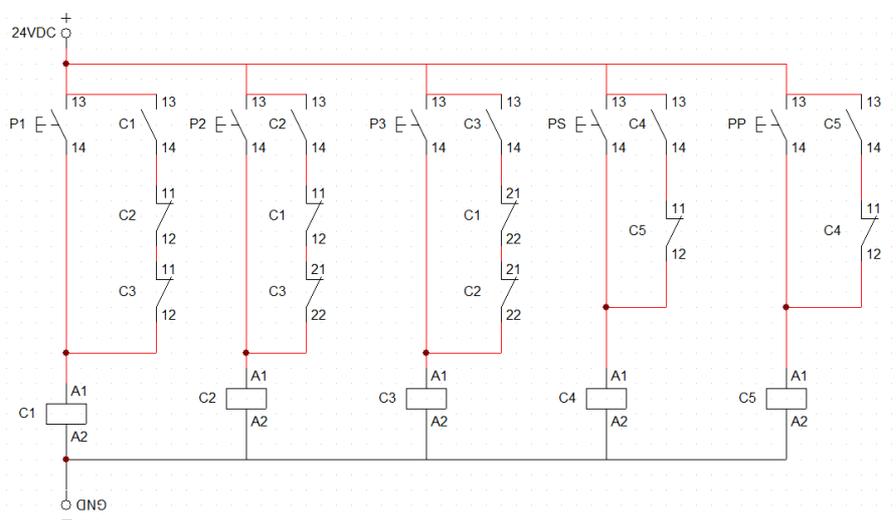


Figura 6.40. Circuito de control con lógica de contactos

Fuente: Propia

6.6.2.3. Simulaciones.

Para que el variador funcione primero se debe presionar el botón de Start, una vez encendido el variador la velocidad de inicio será la preseleccionada en la combinación 00 que será 0 Hz por seguridad.

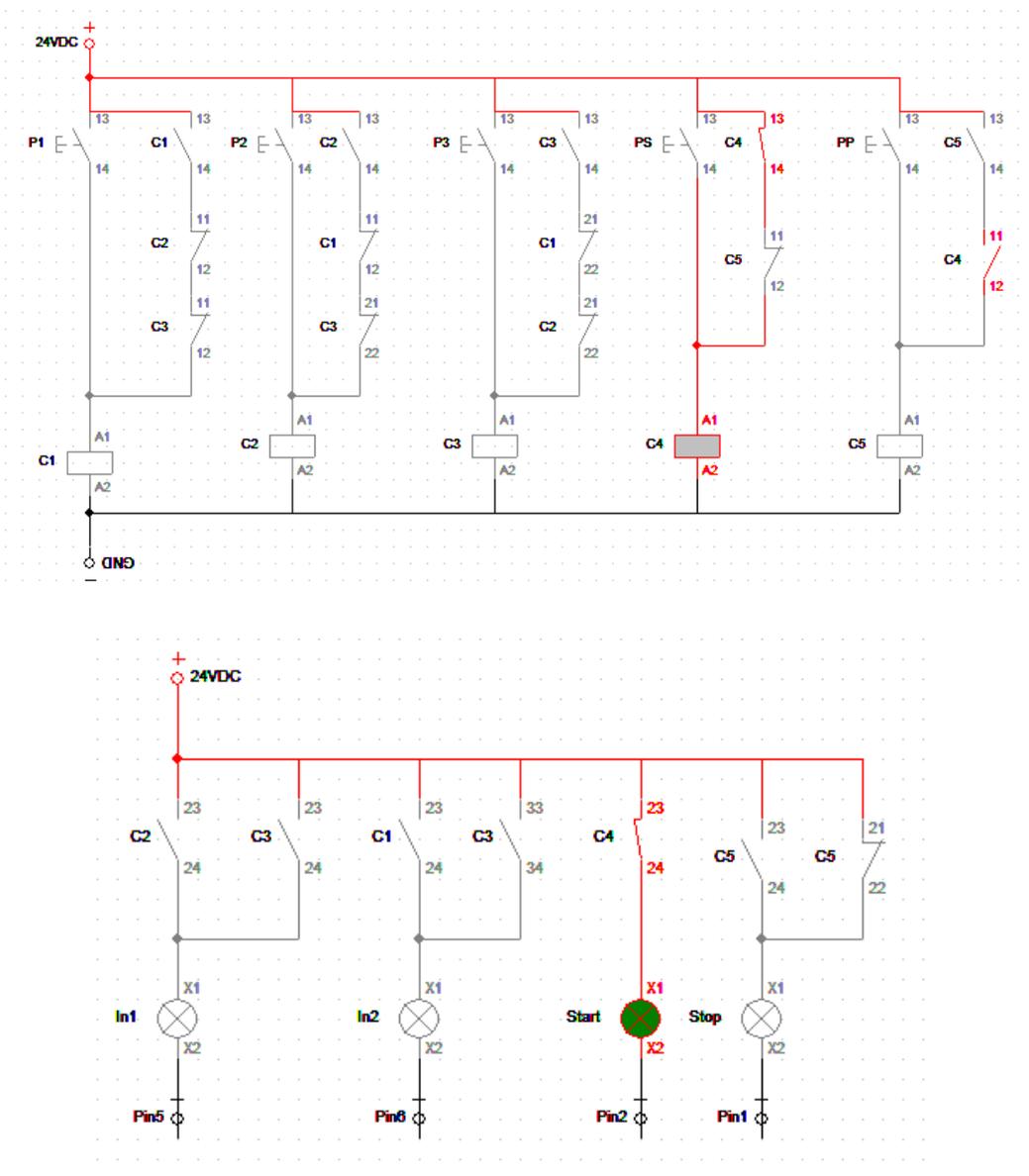


Figura 6.41. Secuencia de inicio del variador.

Fuente: Propia

Se observa el circuito de control en el que el pulsador P1 que representa a la primera combinación está activado, lo cual provocará que el relé C1 de active enclavando así a este pulsador, un contacto de C1 será el encargado de enviar la

señal a la entrada digital (Pin 6), la cual activará la salida del variador a la frecuencia programada en dicha combinación.

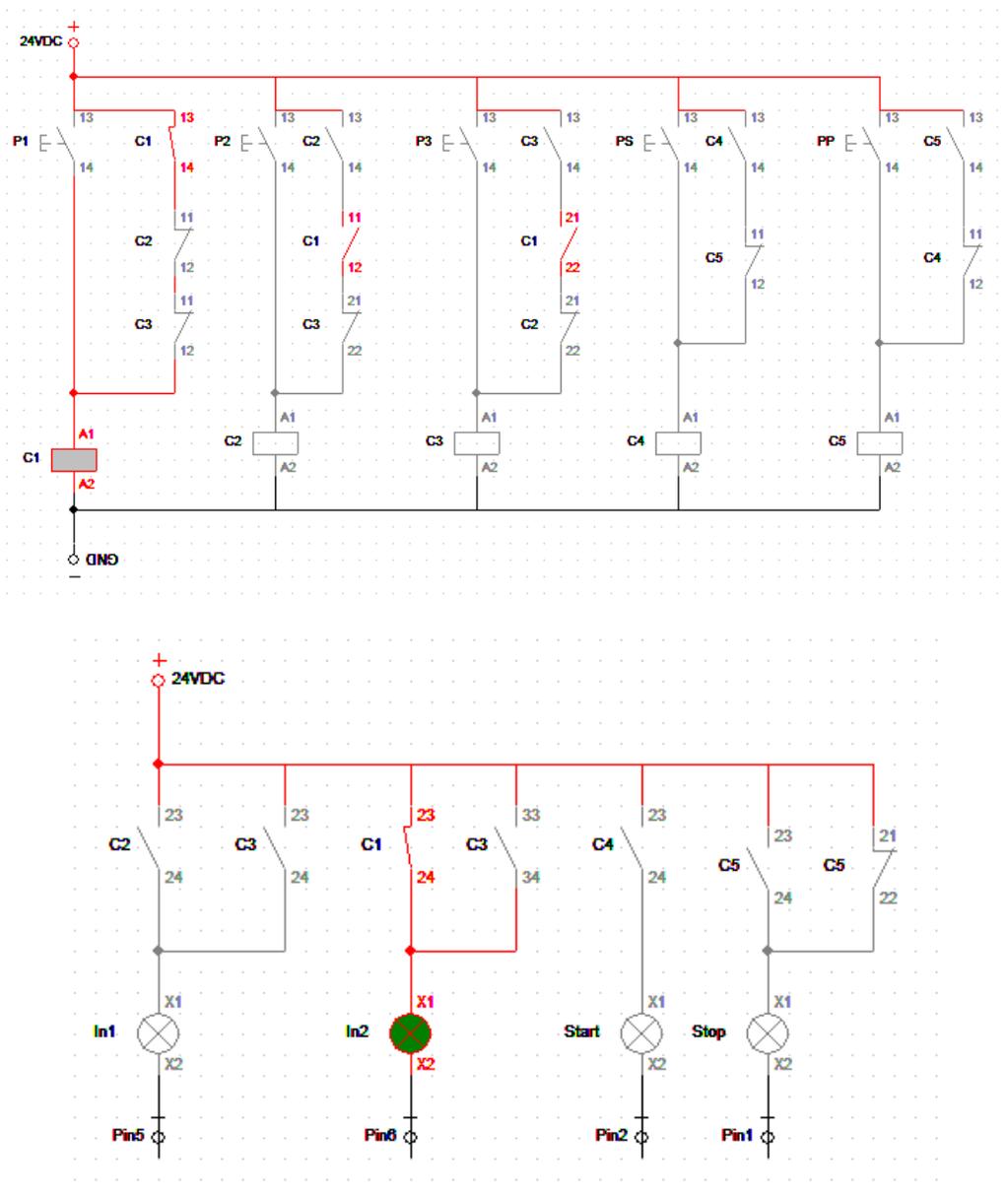


Figura 6.42. Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación a la primera velocidad.

Fuente: Propia

El pulsador P2 representa a las segunda combinación, al activarse energizará al relé C2, uno de los contactos de C2 será el que envíe la señal de activación para que se proceda al cambio de frecuencia.

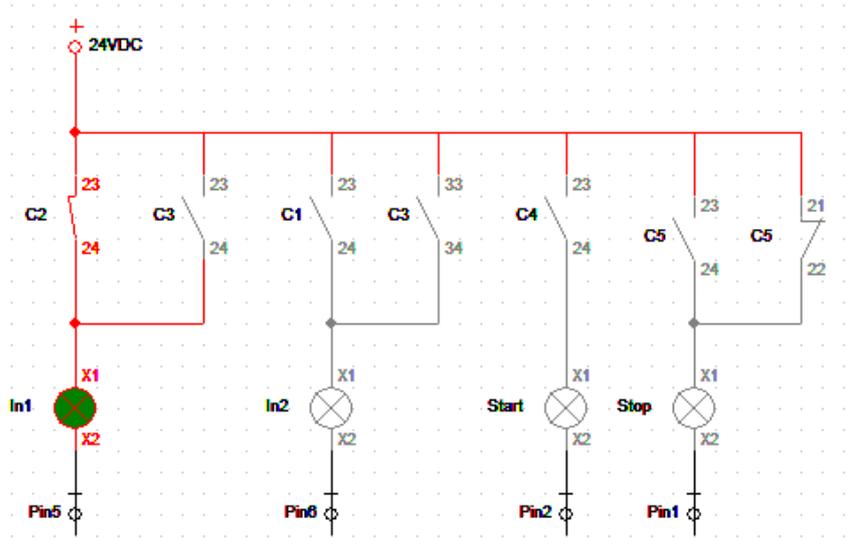
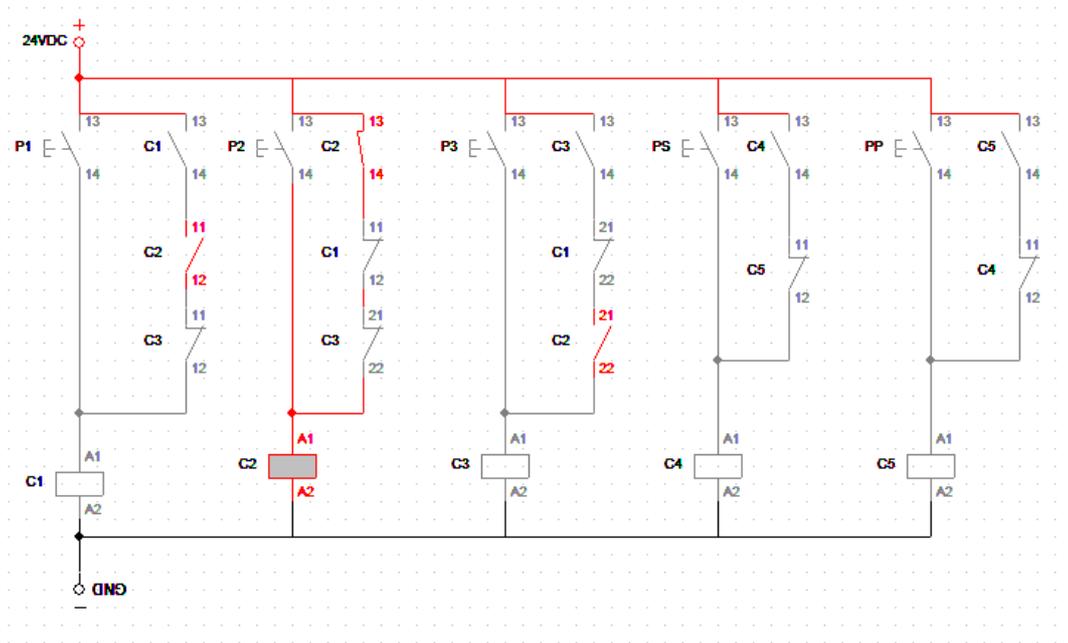


Figura 6.43. Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación de la segunda velocidad.

Fuente: Propia

El pulsador P3 realizará la tercera y última combinación, este pulsador deberá activar o enviar una señal a las dos entradas digitales al mismo tiempo por lo que activará un relé C3 y lo que hace es colocar sus contactos en paralelo a las activaciones realizadas por los pulsadores P1 y P2 respectivamente, colocando las diferentes condiciones de activación en cada caso.

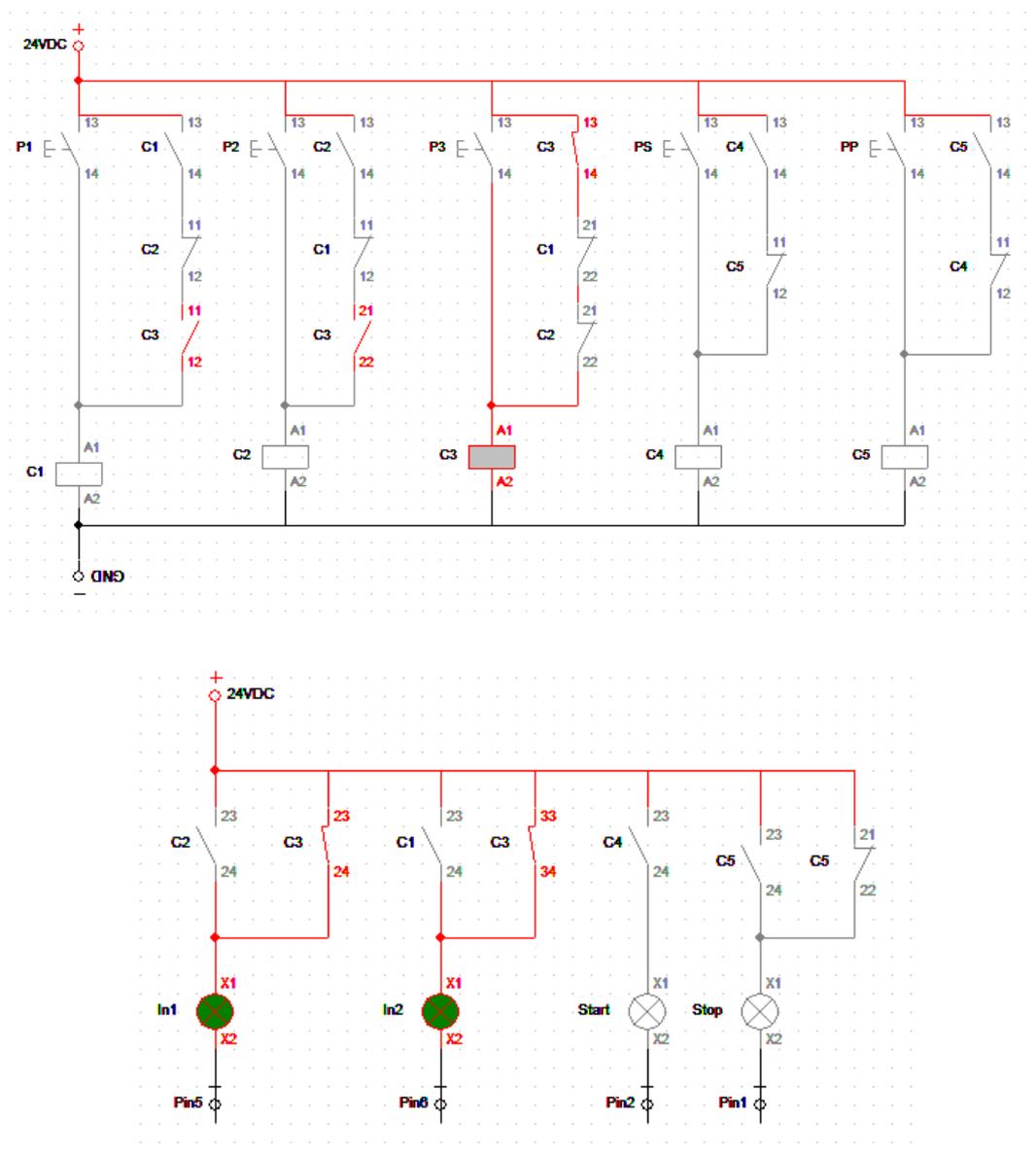


Figura 6.44. Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación de la tercera velocidad.

Fuente: Propia

EL pulsador de Stop será de ayuda en caso que se quiera parar el variador, esto se realiza enviando una señal directa a la terminal dedicada para el paro del variador.

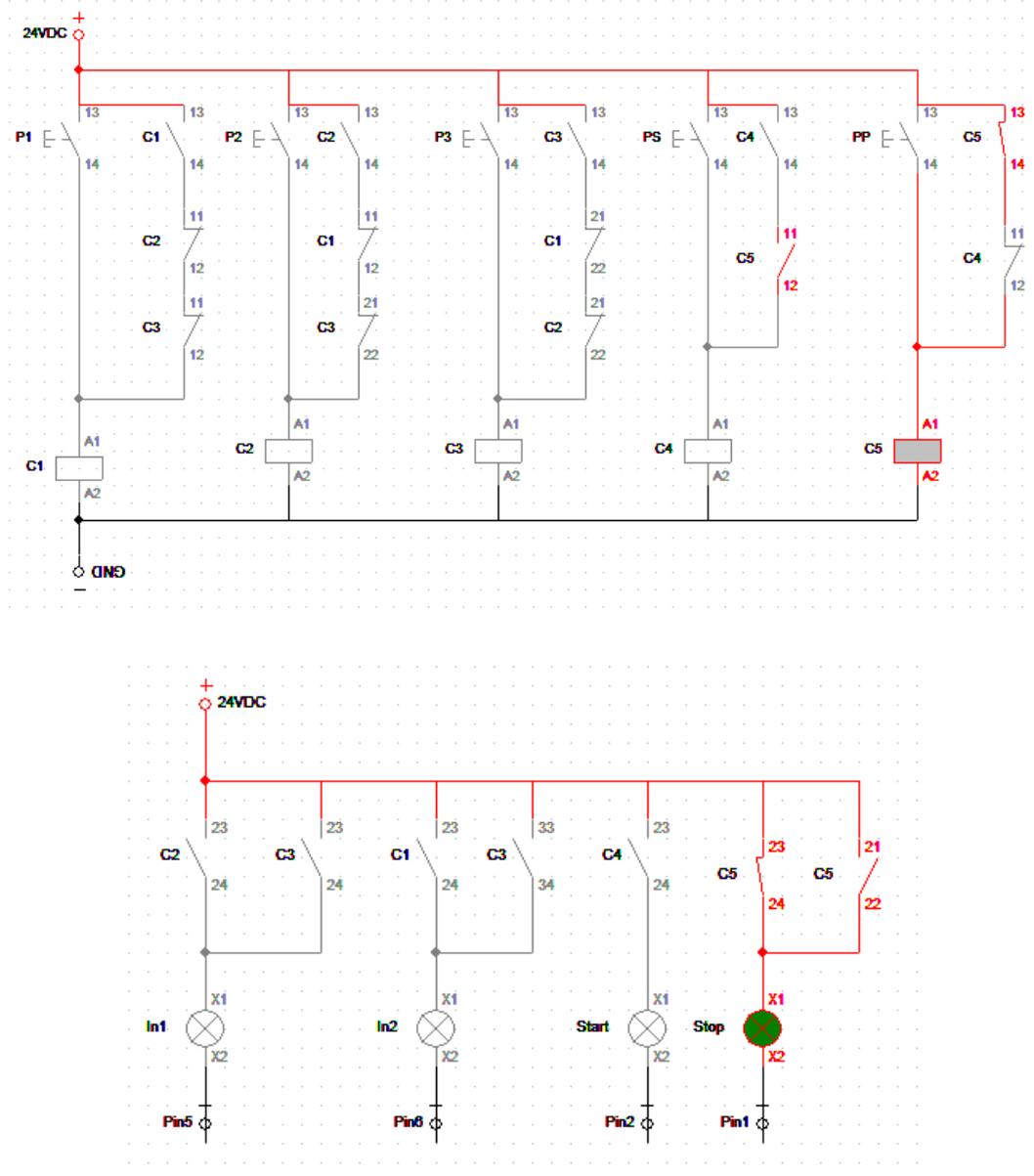


Figura 6.45. Circuito de conmutación para cumplir con la combinación para la variación de velocidades.

Fuente: Propia

6.7. CÁLCULO DEL TIEMPO DE CENTRIFUGADO Y DESMOLDEO.

Para calcular el tiempo de solidificación de las bridas y su respectivo tiempo de desmoldeo, se utilizara un software especializado en fundición el cual se describe brevemente a continuación

Foundry Technology III, es un software especializado en el diseño de sistemas de alimentación y colado. Contiene 16 Subprogramas principales: estimación de peso, estimación de módulos, estimación de distancia de alimentación, cálculo del tamaño de mazarotas, diseño del cuello de mazarotas, colado horizontal, cálculo del filtro, colada interactiva, cálculo metalúrgico, colado disamático, colado basado en velocidad, fundición centrífuga, peso de los moldes, editor de la base de datos de las aleaciones, Filtros y editor de bases de datos y finalmente creación de proyectos de fundición.

En la página principal del software se pueden evidenciar los subprogramas antes mencionados, siendo el de mayor interés para el presente proyecto el de fundición centrífuga.



Figura 6.46. Pantalla principal Novacast Foundry Tech III.

Fuente: NovaCast Foundry Tech III

Una vez seleccionado el modulo de fundición centrífuga, se escoge la forma cercana que tendrá la pieza a fundirse, en el presente caso se ha escogido un cilindro.

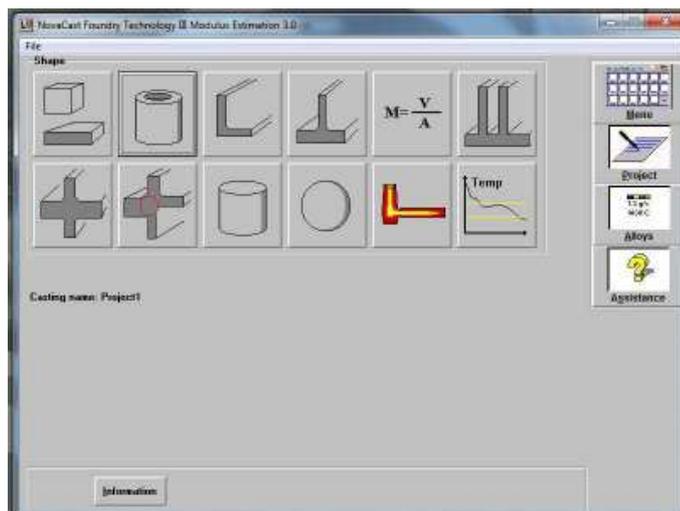


Figura 6.47. Selección aproximada de la forma de la pieza en bruto.

Fuente: NovaCast Foundry Tech III

Ahora, se escoge el material que será objeto de centrifugación.

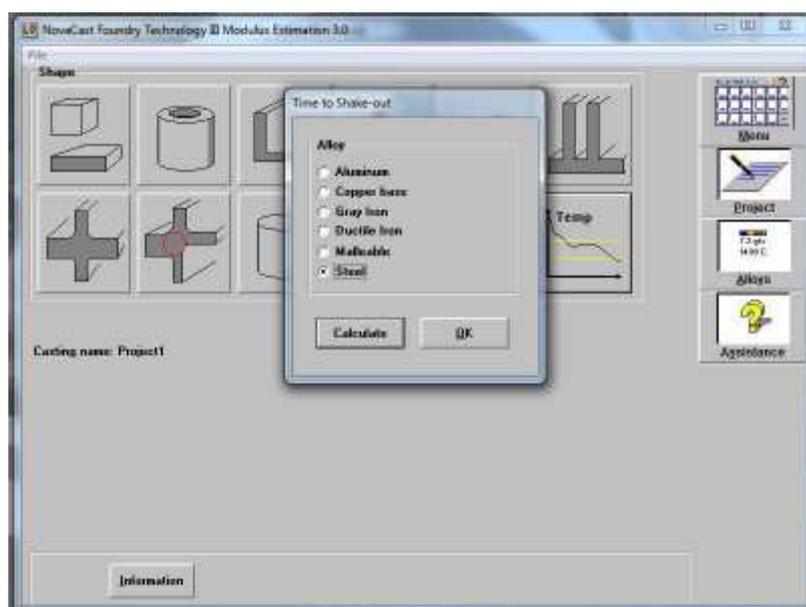


Figura 6.48. Selección del material de la pieza a fundirse.

Fuente: NovaCast Foundry Tech III

Para el siguiente paso son necesarios datos que ya se determinaron en el diseño como son las dimensiones de la pieza en bruto, es decir de las piezas que saldrán del centrifugado, como esto ya se definió en el capítulo 6, la podemos conocer valores tales como Diámetro exterior, diámetro interior, altura de las piezas, y

área de enfriamiento que es la que está en contacto directo de la coquilla con la pieza centrífuga.

Brida (in)	D. ext. (cm.)	D. int. (cm.)	Altura (cm.)	Área Total (cm. ²)	Área no refrigerada (cm. ²)		Área refrigerada (cm. ²)	
6	28,4	15,4	2,2	1197,1	106,4	9%	1090,6	91%
8	35,1	19,6	2,2	1709,8	135,4	8%	1574,3	92%
10	41,4	25,0	2,2	2169,4	172,7	8%	1996,6	92%
12	49,1	30,1	2,6	3010,3	245,8	8%	2764,4	92%

Tabla 6.26. Datos de diseño de las bridas en bruto.

Fuente: Propia

Estos datos nos servirán para determinar el MODULO (M), en fundición por lo general se trabaja con esta medida que relaciona la forma y el tamaño de la pieza puesto que es una relación directa entre el volumen y la superficie de enfriamiento.

$$\text{Modulo} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Superficie de la pieza}}$$

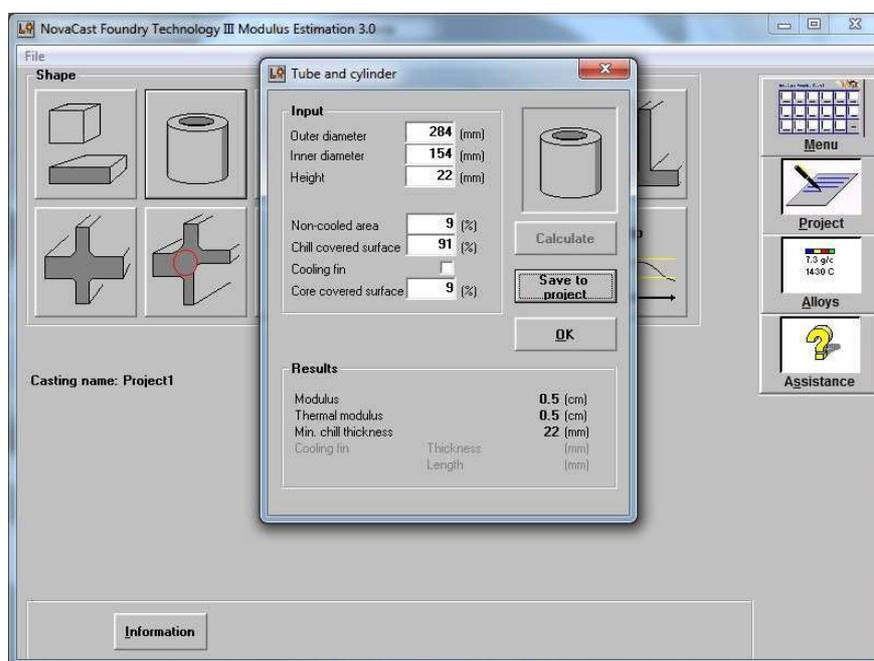


Figura 6.49. Ingreso de datos de forma de la pieza.

Fuente: NovaCast Foundry Tech III

El valor del módulo permitirá que mediante el uso de Novacast, se determine el tiempo en el cual la pieza solidifica, y el tiempo recomendado para el desmoldeo.

Este tiempo está en función tanto del módulo como del tipo de material.

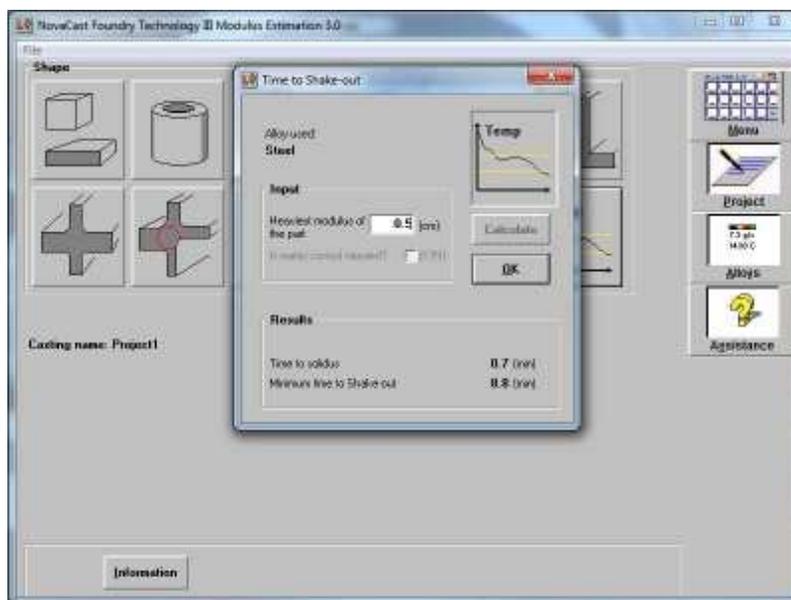


Figura 6.50. Resultado del tiempo de centrifugado y desmoldeo de las piezas.

Fuente: NovaCast Foundry Tech III

Brida (in)	Modulo (cm)	Tiempo de Solidificación (s)	Tiempo de desmoldeo (s)
6	0,5	42	528
8	0,6	60	756
10	0,6	60	756
12	0,7	78	1026

Tabla 6.27. Tiempo de solidificación y desmoldeo para bridas centrifugadas.

Fuente: Propia

El tiempo de solidificación de la pieza también indica el tiempo que el material deberá estar bajo la acción del centrifugado dentro de la máquina, así que también lo podemos llamar tiempo de centrifugado.

6.8. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA COQUILLA

Para determinar la necesidad del enfriamiento en la coquilla se requiere un análisis de la transferencia del calor por las paredes de la misma.

Para el análisis, primero se encuentra el coeficiente de convección entre el acero colado AISI 304, y la pared del molde, la cual será fabricada de acero refractario AISI 310.

Para este análisis se asume una temperatura aproximada en la superficie externa de la coquilla, y se presentan los siguientes datos:

$$T_{\infty,1} = 1600 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_{s,1} = 200 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_{s,2} = 100 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$L_p = 22 \text{ [mm.]}$$

$$r_1 = 250,5 \text{ [mm.]}$$

$$r_2 = 307,5 \text{ [mm.]}$$

$$k_{\text{AISI 310 (473 K)}} = 15,63 \text{ [W/m}^{\circ}\text{K]}$$

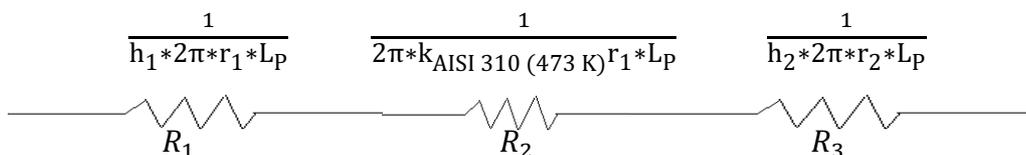
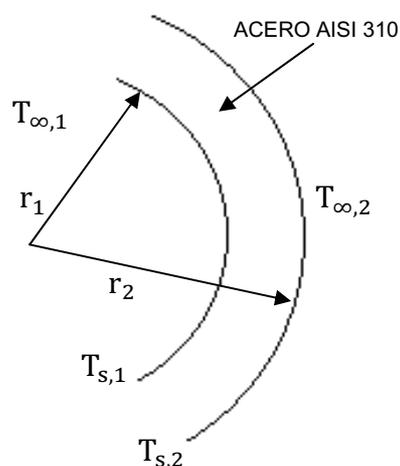


Figura 6.51 Circuito térmico equivalente

La transferencia de calor se relaciona con la diferencia de temperatura y la resistencia asociadas con cada elemento

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{\frac{1}{h_1 * 2\pi * r_1 * L_p}} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi * k_{\text{AISI 310 (473 K)}} * r_1 * L_p}} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_2 * 2\pi * r_2 * L_p}} \quad \text{Ec. 6.69}$$

En la ecuación anterior se observan las relaciones del calor transmitido desde la colada y las resistencias que ofrece el medio por el cual transita, la primera relación de de convección, la segunda de conducción y la tercera nuevamente de convección.

Para encontrar el coeficiente de convección entre el acero colado AISI 304, y la pared interna de la coquilla fabricada de acero AISI 310, igualamos las ecuaciones de la transferencia de calor por conducción y convección

$$\frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{\frac{1}{h_1 * 2\pi * r_1 * L_P}} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi * k_{\text{AISI 310 (473 K)}} * r_1 * L_P}}$$

Reemplazando los datos antes citados obteniendo lo siguiente:

$$\frac{(1600) - (200)}{\frac{1}{h_1 * 2\pi * (250,5/1000) * (25/1000)}} = \frac{(200) - (100)}{\frac{\ln(307,5/250,5)}{2\pi * 15,63 * (25/1000)}}$$

Despejando h_1 , se obtiene:

$$h_1 = 21,72 \text{ [W/m}^2\text{°K]}$$

Para el análisis de la temperatura a la que terminara la pared exterior de la coquilla, tomamos como referencia la coquilla más grande y el tiempo de centrifugado respectivo para dicha brida.

También, como consideraciones iniciales del análisis, se aproxima la pared de la coquilla a una pared plana pues el espesor es mucho menor que el diámetro

Las propiedades del Acero AISI 310, a 200 °C, son:

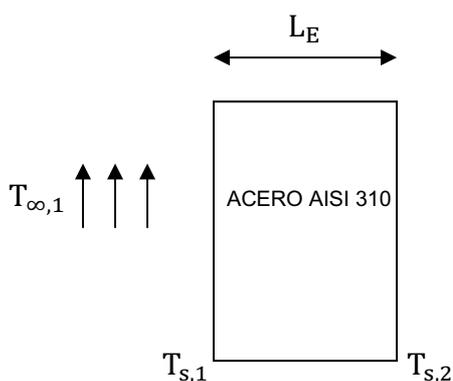
$$\rho = 8055 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$c_p = 500 \text{ [J/Kg * °K]}$$

$$k = 15,63 \text{ [W/m * °K]}$$

$$\alpha = 3,91 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$L_E = 57 \text{ [mm.]}$$



En $t = 78$ s, los números de Biot y de Fourier se calculan utilizando las siguientes ecuaciones.

$$Bi = \frac{h_1 * L_E}{k} \quad \text{Ec. 6.70}$$

$$Fo = \frac{\alpha * t}{L_E^2} \quad \text{Ec. 6.71}$$

Reemplazando los datos, se obtiene:

$$Bi = \frac{(21,72) * (57/1000)}{15,63} = 0,08$$

$$Fo = \frac{(3,91 \times 10^{-6}) * (78)}{(57/1000)^2} = 0,93$$

Ahora se relaciona los resultados obtenidos, con las temperaturas de la colada, la superficie interior de la coquilla y la superficie exterior de la misma con la siguiente ecuación:

$$\theta_0^* = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,1}}{T_{s,1} - T_{\infty,1}} = C_1 \exp(-\zeta_1^2 * Fo) \quad \text{Ec.6.72}$$

De la tabla 5.1 Incropera²⁸, se obtienen las constantes C_1 y ζ , conociendo previamente el número de:

$$C_1 = 1,013$$

$$\zeta_1 = 0,2791 \text{ [rad]}$$

Ya conocidos los datos, se procede al cálculo:

$$\theta_0^* = 1,013 \exp[-(0,2791)^2 * 0,93]$$

$$\theta_0^* = 0,942$$

Ahora, se encuentra el valor de la temperatura en la superficie de la coquilla utilizando la siguiente ecuación

$$T_{s,2}(78s) = T_{\infty,1} + \theta_0^*(T_{s,1} - T_{\infty,1}) \quad \text{Ec. 6.73}$$

²⁸ INCROPERA F, Fundamentos de transferencia de calor, Person, México, 4ta Edición.

$$T_{s,2}(78s) = 1600 + 0,942(200 - 1600)$$

$$T_{s,2}(78s) = 281,2 \text{ °C}$$

Concluyendo el análisis, se verifica que de acuerdo a la diferencia importante entre las masas de la coquilla y de la brida que se solidificara en ella, y la utilización de un material refractario para la fabricación de la coquilla, la transferencia de calor en el tiempo de centrifugado no es importante por lo cual no se justifica la instalación de un sistema de enfriamiento.

CAPITULO 7

7. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO VERTICAL DE BRIDAS EN ACERO INOXIDABLE.

Este estudio comprende un análisis del costo beneficio que implica la construcción de la máquina de colado por centrifugado en la empresa Fundirecicar S. A. teniendo en cuenta que la empresa cuenta con toda la maquinaria y mano de obra calificada para construir la misma, y que se tiene una planificación de producción de bridas de acuerdo a solicitud de clientes y proyecciones de la empresa.

7.1. TARIFA DE MAQUINARIA INSTALADA EN FUNDIRECICLAR.

En la planta de Fundirecicar se encuentran instalados equipos y maquinaria, que permitirá construir la máquina de colado por centrifugado.

$$Tarifa = \frac{\text{Valor de la máquina}}{\text{Vida útil}} = \frac{\text{US\$}}{8\text{horas} \times 20\text{días} \times 12\text{meses} \times \#\text{de años}} = \frac{\text{USD}}{h}$$

Item	Nombre	Valor maquinaria [US/\$]	Vida Útil [años]	Depreciación [US\$/Hora Lab.]
1	AMOLADORA	\$ 192,00	5	\$ 0,02
2	SOLDADORA MIG	\$ 2.400,00	5	\$ 0,25
3	COMPRESOR	\$ 9.672,30	5	\$ 1,01
4	HORNO DE INDUCCION	\$ 31.392,00	5	\$ 3,27
5	RECUPERADOR DE ARENA INC. TABLERO	\$ 30.718,94	5	\$ 3,20
6	HORNO DE INDUCCION	\$ 77.568,00	5	\$ 8,08
7	COLADO 1000 KG A1 ROPER	\$ 8.600,00	5	\$ 0,90
8	ESMERIL DE BANCO	\$ 300,00	5	\$ 0,03
9	ARENADOR DE CONTENEDOR	\$ 2.680,00	5	\$ 0,28
10	HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS 200 KW	\$ 41.210,88	5	\$ 4,29
11	FRESADORA + HERRAMENTAL	\$ 10.507,68	5	\$ 1,09
12	TALADRO RADIAL	\$ 8.000,00	5	\$ 0,83
13	TORNO # 2 (400mm de volteo, 2000mm de D. entre puntos)	\$ 5.500,00	5	\$ 0,57

Tabla 7.1. Tarifa de máquina en Fundireciclar por sistemas y procesos.

Fuente Propia

Como se muestra en la tabla 7.1, se encuentra la tarifa que maneja Fundireciclar por máquina, estos valores nos permiten obtener un costo real de la máquina a construir en lo referente a equipo y maquinaria usado para construir la misma.

7.2. TARIFA DE MANO DE OBRA EN FUNDIRECICLAR.

Fundireciclar cuenta con personal calificado para realizar cada proceso. Dependiendo de la dificultad y la experiencia para determinado proceso, se maneja una tarifa por hora.

Ítem	NOMBRES	Función	Costo/Hora Laboral
1	ALVARO LOACHAMIN LUIS ANIBAL	Soldador	\$ 3,11
2	BARRE MENDOZA ANGEL WILLIAM	Asistente hornero	\$ 3,20
3	BARRE MENDOZA RAMON ANTONIO	Moldeador	\$ 3,44
4	GONZALEZ GUAMAN CISLO JULIAN	Terminados	\$ 3,20
5	GUACALES RUANO GALO EDISON	Bodeguero	\$ 2,78
6	GUACALES RUANO MIGUEL ALIRIO	Armador	\$ 2,86
7	GUAMAN VELEZ LUIS FABIAN	Terminados	\$ 2,36
8	GUAMAN VELEZ SEGUNDO BENIGNO	Terminados	\$ 3,20
9	LINCANGO TITUAÑA WILSON PATRICIO	Mecanizados	\$ 2,86
10	MEDINA JARAMILLO LUIS ALFONSO	Tornero	\$ 3,20
11	MENDOZA CEDEÑO TELMO DE JESUS	Colador	\$ 4,03
12	PALACIOS MINA JORGE EDUARDO	Matricero	\$ 5,19
13	PEÑA LINCANGO WILLIAM GIOVANNY	Terminados	\$ 2,78
14	PIARPUEZAN MONTANCHEZ DAVID CAMILO	Terminados	\$ 2,45
15	SULCA VEGA JOSE LUIS	Terminados	\$ 2,61
16	TUMBACO ALVARO CHRISTIAN JAVIER	Tornero	\$ 3,53
19	ARROYAVE VANEGAS JOAQUIN ALEJANDRO	Hornero	\$ 5,36

Tabla 7.2. Tarifa de mano de obra en Fundireciclar por proceso.

Fuente Propia

En base al tiempo empleado para diseñar esta máquina teniendo en cuenta que ha el diseño ha sido realizado por dos personas, se ha visto que el costo de

diseño de la misma es de alrededor del 7%, por lo tanto a este proyecto se le cargara un rubro de ese porcentaje por el diseño del mismo.

7.3. COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO.

7.3.1. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO.

Se debe considerar que al realizar una pieza de fundición siempre tiene sistemas de alimentación, que son los encargados de conducir el metal liquido hasta la pieza y mazarotas que sirven como rechupadores, estos elementos tienen el mismo material que la pieza, por lo tanto se pueden usar posteriormente para fabricar elementos de la misma composición química o similar, esto implica que no todo lo que se funde es costo hay una parte que se recupera, por lo tanto se puede hacer un descuento, de este material.

7.3.1.1. Eje.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
TORNO # 2	1	0,47	3,00	1,41
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	3,00	3,28
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	4,69
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	6,00	31,14
MATERIALES			PARCIAL MO	31,14
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
	A	B	C	D=BxC
Barra de acero AISI 1045 D_40	Kg.	6	3,15	18,90
Herramientas	U	1,00	10,00	10,00
Energía maquinaria	kw	10,00	0,10	1,00
			PARCIAL MAT	29,90
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		65,73
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				65,73
DISEÑO			7%	4,60
SUBTOTAL COSTOS				70,33
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	70,33

Tabla 7.3. Análisis de costos unitarios de fabricación de eje.

Fuente Propia

7.3.1.2. Plato soporte de coquillas

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
TORNO # 2	1	0,47	4,00	1,88
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	6,00	6,57
Taladro	1	0,83	1,00	0,83
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	9,28
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MECANIZADO	1	5,19	11,00	57,09
MATERIALES			PARCIAL MO	57,09
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
	A	B	C	D=BxC
plancha de AISI 308 e=30 mm	Kg.	122	7,00	854,00
Herramientas	UNIDAD	1	30,00	30,00
Energía Eléctrica				
Maquinaria	kw	20,00	0,10	2,00
			PARCIAL MAT	886,00
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		952,37
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				952,37
DISEÑO			7%	66,67
SUBTOTAL COSTOS				1.019,03
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	1.019,03

Tabla 7.4. Análisis de costos unitarios de fabricación de plato soporte coquillas.

Fuente Propia

7.3.1.3. Brida de acople plato eje

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
TORNO # 2	1	0,47	4,00	1,88
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	1,00	1,09
Taladro	1	0,83	1,00	0,83
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	3,80
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MECANIZADO	1	5,19	6,00	31,14
MATERIALES			PARCIAL MO	31,14
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
	A	B	C	D=BxC
Barra de AISI 1010 D_165	Kg.	12	2,00	24,00
Herramientas	U	1,00	15,00	15,00
Energía maquinaria	kw	10,00	0,10	1,00
			PARCIAL MAT	40,00
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		74,94
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				74,94
DISEÑO			7%	5,25
SUBTOTAL COSTOS				80,19
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	80,19

Tabla 7.5. Análisis de costos unitarios de fabricación de brida de acople plato eje.

Fuente Propia

7.3.1.4. Estructura soporte de la máquina

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Esmeril de banco	1	0,03	2,00	0,06
Soldadora MIG	1	0,65	8,00	5,23
Amoladora	1	0,02	4,00	0,08
Compresor	1	1,01	1,00	1,01
Herramienta menor	1	0,25	4,00	1,00
Arenado de contenedor	1	0,28	2,00	0,56
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	7,95
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Corte de perfiles IPN	1	3,11	2,00	6,22
Soldadura de perfiles IPN	1	3,11	8,00	24,90
Rebarbado y limpieza	1	3,11	9,00	28,01
Pintado	1	2,78	2,00	5,56
MATERIALES			PARCIAL MO	64,70
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
	A	B	C	D=BxC
Perfil IPN 120 12 m	Kg.	150	1,25	187,50
Electrodo MIG	Kg.	10	4,00	40,00
disco de corte	UNIDAD	2	3,00	6,00
disco de rebarbado	UNIDAD	2	3,00	6,00
Plancha de acero inoxidable	UNIDAD	2	300,00	600,00
			PARCIAL MAT	839,50
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		912,14
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				912,14
DISEÑO			7%	63,85
SUBTOTAL COSTOS				975,99
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	975,99

Tabla 7.6. Análisis de costos unitarios de fabricación de estructura soporte.

Fuente Propia

7.3.1.5. Estructura contenedor de coquilla.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Esmeril de banco	1	0,03	3,00	0,09
Soldadora MIG	1	0,65	8,00	5,23
Amoladora	1	0,02	3,00	0,06
Compresor	1	1,01	1,00	1,01
Herramienta menor	1	0,25	2,00	0,50
Arenado de contenedor	1	0,28	2,00	0,56
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	7,46
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Corte de perfiles en L 15x15x2	1	3,11	3,00	9,34
Soldadura de perfiles en L 15x15x2	1	3,11	8,00	24,90
Rebarbado y limpieza	1	3,11	6,00	18,67
Pintado	1	2,78	1,00	2,78
MATERIALES			PARCIAL MO	55,69
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Perfil en l 15x15x2 12 m	Kg.	20	1,25	25,00
Electrodo MIG	Kg.	5	4,00	20,00
disco de corte	UNIDAD	1	3,00	3,00
disco de rebarbado	UNIDAD	1	3,00	3,00
Plancha de acero inoxidable	UNIDAD	1	300,00	300,00
			PARCIAL MAT	351,00
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		414,15
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				414,15
DISEÑO			7%	28,99
SUBTOTAL COSTOS				443,14
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	443,14

Tabla 7.7. Análisis de costos unitarios de fabricación de contenedor de coquilla.

Fuente Propia

7.3.1.6. Embudo

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Esmeril de banco	1	0,03	0,50	0,02
Soldadora MIG	1	0,25	2,00	0,50
Amoladora	1	0,02	1,00	0,02
Compresor	1	1,01	0,50	0,50
Herramienta menor	1	0,25	1,00	0,25
Arenado de contenedor	1	0,28	0,25	0,07
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	1,36
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Corte de pletina y chapa	1	3,11	1,50	4,67
Soldadura	1	3,11	2,00	6,22
Rebarbado y limpieza	1	3,11	2,25	7,00
Pintado	1	2,78	0,50	1,39
MATERIALES			PARCIAL MO	19,29
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Pletina inox 40x4 mm	Kg.	10	1,25	12,50
Electrodo MIG	Kg.	1	4,00	4,00
disco de corte	UNIDAD	1	3,00	3,00
disco de rebarbado	UNIDAD	1	3,00	3,00
Plancha de acero inoxidable	UNIDAD	0,25	300,00	75,00
			PARCIAL MAT	97,50
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		118,15
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				118,15
DISEÑO			7%	8,27
SUBTOTAL COSTOS				126,42
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	126,42

Tabla 7.8. Análisis de costos unitarios de fabricación de embudo de colado.

Fuente Propia

7.3.1.7. Soporte de contenedor y embudo.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Esmeril de banco	1	0,03	0,25	0,01
Soldadora MIG	1	0,25	1,00	0,25
Amoladora	1	0,02	1,00	0,02
Compresor	1	1,01	0,50	0,50
Herramienta menor	1	0,25	1,00	0,25
Arenado de contenedor	1	0,28	0,25	0,07
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	1,10
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Corte tubos	1	3,11	0,25	0,78
Soldadura	1	3,11	1,00	3,11
Rebarbado y limpieza	1	3,11	2,00	6,22
Pintado	1	2,78	0,50	1,39
MATERIALES			PARCIAL MO	11,51
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Tubo D_60x4mm	Kg.	15	1,25	18,75
Tubo D_50x4mm	UNIDAD	5	1,25	6,25
Electrodo MIG	Kg.	0,5	4,00	2,00
disco de corte	UNIDAD	0,5	3,00	1,50
disco de rebarbado	UNIDAD	0,5	3,00	1,50
			PARCIAL MAT	30,00
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		42,61
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				42,61
DISEÑO			7%	2,98
SUBTOTAL COSTOS				45,59
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	45,59

Tabla 7.9. Análisis de costos unitarios de fabricación de soporte contenedor de coquilla.

Fuente Propia

7.3.2. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE HERRAMENTAL PARA PRODUCCIÓN DE LAS BRIDAS.

7.3.2.1. Base coquilla para brida de 6 plg

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	1,00	3,27
Horno de Inducción	1	8,08	0,10	0,81
Recuperador de arena	1	3,20	0,50	1,60
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,10	0,09
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	5,00	2,34
Arenado de contenedor	1	0,14	0,50	0,07
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	51,11
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	1,00	6,64
FUSION	1	15,19	0,20	3,04
DESMOLDEO	1	6,06	0,50	3,03
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	5,00	25,95
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	0,50	7,07
MATERIALES			PARCIAL MO	45,73
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	32,4	2,00	64,80
FeCr 68% LC	Kg.	10,0	6,00	59,88
Ni Puro	Kg.	12,96	38,00	492,48
Si Metálico	Kg.	0,08	4,07	0,31
FeMn	Kg.	0,08	3,82	0,29
Arena de moldeo	Kg.	15	0,23	3,45
Resina	Kg.	3,00	3,75	11,25
Catalizador	Kg.	1,50	1,11	1,67
Modelo	UNIDAD	100,00	1,00	100,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	108,00	0,19	20,52
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	108,00	0,09	10,04
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	783,68
		TOTAL COSTOS X=EQ.+MO.+MAT.		880,53
DESCUENTO RETORNOS				185,33
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				695,20
DISEÑO			7%	61,64
SUBTOTAL COSTOS				756,84
			Subtotal	756,84

Tabla 7.10. Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 6 plg.

Fuente Propia

7.3.2.2. Tapa coquilla para brida de 6 plg

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	0,50	1,64
Horno de Inducción	1	8,08	0,05	0,40
Recuperador de arena COLADO 1000 KG A1	1	3,20	0,25	0,80
ROPER	1	0,90	0,05	0,04
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	2,00	0,94
SANDBLASTING	1	0,14	2,00	0,29
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	47,04
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	0,50	3,32
FUSION	1	15,19	0,10	1,52
DESMOLDEO	1	6,06	0,25	1,51
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	2,00	10,38
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	0,25	3,54
MATERIALES			PARCIAL MO	20,27
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	8,1	2,00	16,20
FeCr 68% LC	Kg.	2,50	6,00	14,97
Ni Puro	Kg.	3,24	38,00	123,12
Si Metálico	Kg.	0,02	4,07	0,08
FeMn	Kg.	0,02	3,82	0,07
Arena de moldeo	Kg.	4	0,23	0,92
Resina	Kg.	0,80	3,75	3,00
Catalizador	Kg.	0,40	1,11	0,44
Modelo	UNIDAD	75,00	1,00	75,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	27,00	0,19	5,13
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	27,00	0,09	2,51
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	260,44
		TOTAL COSTOS DIRECTOS		
		X=EQ.+MO.+MAT.		327,75
DESCUENTO RETORNOS				46,33
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				281,42
DISEÑO			7%	22,94
SUBTOTAL COSTOS				304,36
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	304,36

Tabla 7.11. Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 6 plg.

Fuente Propia

7.3.2.3. Base coquilla para brida de 8 plg

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	1,25	4,09
Horno de Inducción	1	8,08	0,15	1,21
Recuperador de arena	1	3,20	0,70	2,24
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,15	0,13
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	6,00	2,81
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,00	0,00
SANDBLASTING	1	0,14	1,00	0,14
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	53,56
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	1,25	8,30
FUSION	1	15,19	0,30	4,56
DESMOLDEO	1	6,06	0,70	4,24
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	6,00	31,14
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	1,00	14,15
MATERIALES			PARCIAL MO	62,39
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	44,55	2,00	89,10
FeCr 68% LC	Kg.	13,72	6,00	82,33
Ni Puro	Kg.	17,82	38,00	677,16
Si Metálico	Kg.	0,10	4,07	0,42
FeMn	Kg.	0,10	3,82	0,40
Arena de moldeo	Kg.	20	0,23	4,60
Resina	Kg.	4,00	3,75	15,00
Catalizador	Kg.	2,00	1,11	2,22
Modelo	UNIDAD	120,00	1,00	120,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	148,50	0,19	28,22
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	148,50	0,09	13,81
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	1.052,25
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		1.168,20
DESCUENTO RETORNOS				254,82
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				913,38
DISEÑO			7%	81,77
SUBTOTAL COSTOS				995,15
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	995,15

Tabla 7.12. Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 8 plg.

Fuente Propia

7.3.2.4. Tapa coquilla para brida de 8 plg

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	0,60	1,96
Horno de Inducción	1	8,08	0,10	0,81
Recuperador de arena	1	3,20	0,40	1,28
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,10	0,09
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	2,50	1,17
ARENADO DE CONTENEDOR	1	0,14	0,50	0,07
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	48,31
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	0,60	3,98
FUSION	1	15,19	0,20	3,04
DESMOLDEO	1	6,06	0,40	2,42
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	2,50	12,98
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	0,50	7,07
MATERIALES			PARCIAL MO	29,50
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	11,7	2,00	23,40
FeCr 68% LC	Kg.	3,60	6,00	21,62
Ni Puro	Kg.	4,68	38,00	177,84
Si Metálico	Kg.	0,03	4,07	0,11
FeMn	Kg.	0,03	3,82	0,10
Arena de moldeo	Kg.	5	0,23	1,15
Resina	Kg.	1,00	3,75	3,75
Catalizador	Kg.	0,50	1,11	0,56
Modelo	UNIDAD	85,00	1,00	85,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	39,00	0,19	7,41
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	39,00	0,09	3,63
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	343,57
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		421,38
DESCUENTO RETORNOS				66,92
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				354,45
DISEÑO			7%	29,50
SUBTOTAL COSTOS				383,95
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	383,95

Tabla 7.13. Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 8 plg.

Fuente Propia

7.3.2.5. Base coquilla para brida de 10 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	1,50	4,91
Horno de Inducción	1	8,08	0,20	1,62
Recuperador de arena	1	3,20	1,00	3,20
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,20	0,18
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	7,00	3,28
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,00	0,00
ARENADO DE CONTENEDOR	1	0,14	4,00	0,57
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	56,68
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD (toneladas)	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	1,50	9,96
FUSION	1	15,19	0,40	6,08
DESMOLDEO	1	6,06	1,00	6,06
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	7,00	36,33
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	1,00	14,15
MATERIALES			PARCIAL MO	72,58
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	58,95	2,00	117,90
FeCr 68% LC	Kg.	18,16	6,00	108,94
Ni Puro	Kg.	23,58	38,00	896,04
Si Metálico	Kg.	0,14	4,07	0,56
FeMn	Kg.	0,14	3,82	0,53
Arena de moldeo	Kg.	22,5	0,23	5,18
Resina	Kg.	4,50	3,75	16,88
Catalizador	Kg.	2,25	1,11	2,50
Modelo	UNIDAD	150,00	1,00	150,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	196,50	0,19	37,34
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	196,50	0,09	18,27
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	1.373,12
		TOTAL COSTOS DIRECTOS		
		X=EQ.+MO.+MAT.		1.502,38
DESCUENTO RETORNOS				337,19
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				1.165,19
DISEÑO			7%	105,17
SUBTOTAL COSTOS				1.270,36
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	1.270,36

Tabla 7.14. Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 10 plg

Fuente Propia

7.3.2.6. Tapa coquilla para brida de 10 plg

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	0,70	2,29
Horno de Inducción	1	8,08	0,15	1,21
Recuperador de arena	1	3,20	0,50	1,60
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,15	0,13
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	3,00	1,41
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,00	0,00
ARENADO DE CONTENEDOR	1	0,14	0,60	0,09
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	49,66
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	0,70	4,65
FUSION	1	15,19	0,30	4,56
DESMOLDEO	1	6,06	0,50	3,03
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	3,00	15,57
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	0,60	8,49
MATERIALES			PARCIAL MO	36,30
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	15,75	2,00	31,50
FeCr 68% LC	Kg.	4,85	6,00	29,11
Ni Puro	Kg.	6,3	38,00	239,40
Si Metálico	Kg.	0,04	4,07	0,15
FeMn	Kg.	0,04	3,82	0,14
Arena de moldeo	Kg.	6,5	0,23	1,50
Resina	Kg.	1,30	3,75	4,88
Catalizador	Kg.	0,65	1,11	0,72
Modelo	UNIDAD	95,00	1,00	95,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	52,50	0,19	9,98
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	52,50	0,09	4,88
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	436,25
		TOTAL COSTOS DIRECTOS		
		X=EQ.+MO.+MAT.		522,20
DESCUENTO RETORNOS				90,09
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				432,11
DISEÑO			7%	36,55
SUBTOTAL COSTOS				468,66
			Subtotal	468,66

Tabla 7.15. Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 10 plg.

Fuente Propia

7.3.2.7. Base coquilla para brida de 12 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	2,00	6,54
Horno de Inducción	1	8,08	0,40	3,23
Recuperador de arena	1	3,20	1,50	4,80
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,25	0,22
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	8,00	3,75
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,00	0,00
ARENADO	1	0,14	1,50	0,21
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	61,69
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD (toneladas)	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	2,00	13,28
FUSION	1	15,19	0,65	9,88
DESMOLDEO	1	6,06	1,50	9,09
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	8,00	41,52
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	1,50	21,22
MATERIALES			PARCIAL MO	94,99
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	78,75	2,00	157,50
FeCr 68% LC	Kg.	24,26	6,00	145,53
Ni Puro	Kg.	31,5	38,00	1.197,00
Si Metálico	Kg.	0,18	4,07	0,75
FeMn	Kg.	0,18	3,82	0,70
Arena de moldeo	Kg.	25	0,23	5,75
Resina	Kg.	5,00	3,75	18,75
Catalizador	Kg.	2,50	1,11	2,78
Modelo	UNIDAD	200,00	1,00	200,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	262,50	0,19	49,88
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	262,50	0,09	24,41
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	1.822,04
		TOTAL COSTOS DIRECTOS		
		X=EQ.+MO.+MAT.		1.978,72
DESCUENTO RETORNOS				450,44
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				1.528,28
DISEÑO			7%	138,51
SUBTOTAL COSTOS				1.666,79
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	1.666,79

Tabla 7.16. Análisis de costos unitarios de fabricación de base coquilla brida 12 plg.

Fuente Propia

7.3.2.8. Tapa coquilla para brida de 12 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Máquina de moldeo	1	3,27	0,80	2,62
Horno de Inducción	1	8,08	0,20	1,62
Recuperador de arena	1	3,20	0,60	1,92
COLADO 1000 KG A1 ROPER	1	0,90	0,20	0,18
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	10,00	42,93
TORNO # 2	1	0,47	4,00	1,88
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,00	0,00
ARENADO	1	0,14	1,00	0,14
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	51,28
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
MOLDEO	1	6,64	0,80	5,31
FUSION	1	15,19	0,40	6,08
DESMOLDEO	1	6,06	0,60	3,64
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	4,00	20,76
CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO	1	14,15	1,00	14,15
MATERIALES			PARCIAL MO	49,93
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	21,15	2,00	42,30
FeCr 68% LC	Kg.	6,51	6,00	39,09
Ni Puro	Kg.	8,46	38,00	321,48
Si Metálico	Kg.	0,05	4,07	0,20
FeMn	Kg.	0,05	3,82	0,19
Arena de moldeo	Kg.	9	0,23	2,07
Resina	Kg.	1,80	3,75	6,75
Catalizador	Kg.	0,90	1,11	1,00
Modelo	UNIDAD	105,00	1,00	105,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	70,50	0,19	13,40
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	70,50	0,09	6,56
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	100,00	0,19	19,00
			PARCIAL MAT	557,03
		TOTAL COSTOS DIRECTOS		
		X=EQ.+MO.+MAT.		658,24
DESCUENTO RETORNOS				120,98
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				537,26
DISEÑO			7%	46,08
SUBTOTAL COSTOS				583,34
UTILIDAD			0%	0,00
			Subtotal	583,34

Tabla 7.17. Análisis de costos unitarios de fabricación de tapa coquilla brida 12 plg

Fuente Propia

7.3.3. COSTO DE CONTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.

ítem	descripción	Precio Unit	CANTIDAD	Precio Total
1	EJE	\$ 78,77	1	\$ 78,77
2	PLATO	\$ 1.141,32	1	\$ 1.141,32
3	BRIDA	\$ 89,81	1	\$ 89,81
4	EMBUDO	\$ 126,42	1	\$ 126,42
5	SOPORTE CONTENEDOR Y EMBUDO	\$ 45,59	1	\$ 45,59
14	ESTRUCTURA	\$ 1.093,11	1	\$ 1.093,11
15	CONTENEDOR DE COQUILLA	\$ 496,31	1	\$ 496,31
16	6006 2RSR - RODAMIENTO RIGIDO DE BOLAS SELLO DE CAUCHO FAG	\$ 7,40	1	\$ 7,40
17	32205 A - RODAMIENTO CONICO FAG	\$ 20,63	1	\$ 20,63
18	BANDA EN "V" B-50 DE 5/8" MITSUBISHI	\$ 5,39	1	\$ 5,39
19	5CV4P100L/TEFC - MOTOR TRIFASICO 5HP/1800RPM WEG	\$ 1.200,00	1	\$ 1.200,00
20	DLW-18D23P-R32 - CAJA DE ARRANQUE MOTOR TRIFASICO 4-6 HP 11-18AMP 220V - 60HZ	\$ 69,30	1	\$ 69,30
21	MPW16-3-U016 - GUARDAMOTOR TRIFASICO 3-6HP 220V 10-16AMP 60HZ WEG	\$ 36,90	1	\$ 36,90
22	RW17-2D3-U023 - RELE TERMICO DE 15-23 AMP 220V 3 POLOS WEG	\$ 21,15	1	\$ 21,15
23	Variador de frecuencia y circuito	\$ 1.229,00	1	\$ 1.229,00
24	Polea de 6 plg	\$ 25,00	1	\$ 25,00
25	Polea de 5 plg	\$ 20,00	1	\$ 20,00
26	chumacera para rodamiento 6006	\$ 15,00	1	\$ 15,00
27	chumacera para rodamiento 32205	\$ 25,00	1	\$ 25,00
6	BASE COQUILLA BRIDA 6 PLG	\$ 847,66	1	\$ 847,66
7	TAPA COQUILLA BRIDA 6 PLG	\$ 340,89	1	\$ 340,89
8	BASE COQUILLA BRIDA 8 PLG	\$ 1.114,57	1	\$ 1.114,57
9	TAPA COQUILLA BRIDA 8 PLG	\$ 430,02	1	\$ 430,02
10	BASE COQUILLA BRIDA 10 PLG	\$ 1.422,80	1	\$ 1.422,80
11	TAPA COQUILLA BRIDA 10 PLG	\$ 524,90	1	\$ 524,90
12	BASE COQUILLA BRIDA 12 PLG	\$ 1.866,80	1	\$ 1.866,80
13	TAPA COQUILLA BRIDA 12 PLG	\$ 653,34	1	\$ 653,34
TOTAL USD				\$ 12.947,09
Imprevistos 10%				\$ 1.294,71
Mantenimiento 5%				\$ 647,35
TOTAL				\$ 14.889,16
vida útil (h)				\$ 4.000,00
Tarifa por hora				\$ 3,72

Tabla 7.18. Costos de fabricación de la máquina de colado por centrifugado

Fuente Propia

Ítem	DESCRIPCIÓN	COSTO [US/\$]
1	CONSTRUCCIÓN MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO	\$ 12.947,09
2	IMPREVISTOS QUE PUEDAN PRESENTARSE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN (15%)	\$ 1.942,06
	SUBTOTAL	\$ 14.889,15
	HORAS DE TRABAJO	4.000,00
	TARIFA POR HORA(USD/HORA)	\$ 3,72

Tabla 7.19. *Costos de la máquina de colado por centrifugado.*

7.3.4. COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BRIDAS

7.3.4.1. Costos de producción brida de 6 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Horno de Inducción	1	8,08	0,20	1,62
MANUAL 50 KG FAB PROPIA	1	0,01	0,30	0,00
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	1,00	4,29
TORNO # 2	1	0,47	1,00	0,47
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,50	0,55
Máquina de colado por centrifugado	1	3,72	0,20	0,74
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	7,67
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
FUSION	1	15,19	0,50	7,60
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	1,50	7,79
Colado centrifugado	1	10,67	0,20	2,13
MATERIALES			PARCIAL MO	17,51
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	7,54	0,38	2,87
FeCr 68% LC	Kg.	0,19	6,00	1,16
Ni Puro	Kg.	0,00	38,00	0,00
Si Metálico	Kg.	0,01	4,07	0,02
FeMn	Kg.	0,01	3,82	0,05
Modelo	UNIDAD	1.400,00	0,00	2,80
Energía Eléctrica de Fusión	kw	7,31	0,19	1,39
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	7,31	0,09	0,68
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	7,31	0,20	1,46
			PARCIAL MAT	10,42
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		35,61
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				35,61
ADMINISTRATIVOS, SERVICIOS Y OTROS			7%	2,49
SUBTOTAL COSTOS				38,10
UTILIDAD			30%	11,43
			Subtotal	49,53

Tabla 7.20. Costos de fabricación de la brida de 6 plg.

Fuente Propia

7.3.4.2. Costos de producción brida de 8 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Horno de Inducción MANUAL 50 KG FAB PROPIA	1	8,08	0,20	1,62
Horno de tratamiento térmico TORNO # 2	1	0,01	0,50	0,01
	1	4,29	1,00	4,29
	1	0,47	2,00	0,94
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	0,75	0,82
Máquina de colado por centrifugado	1	3,72	0,40	1,49
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	9,16
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
FUSION	1	15,19	0,70	10,63
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	2,75	14,27
Colado centrifugado	1	10,67	0,40	4,27
MATERIALES			PARCIAL MO	29,17
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	10,84	0,38	4,12
FeCr 68% LC	Kg.	0,28	6,00	1,66
Ni Puro	Kg.	0	38,00	0,00
Si Metálico	Kg.	0,01	4,07	0,03
FeMn	Kg.	0,02	3,82	0,07
Modelo	UNIDAD	1.900,00	0,00	3,80
Energía Eléctrica de Fusión	kw	10,50	0,19	2,00
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	10,50	0,09	0,98
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	10,00	0,20	2,00
			PARCIAL MAT	14,65
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		52,99
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				52,99
ADMINISTRATIVOS, SERVICIOS Y OTROS			7%	3,71
SUBTOTAL COSTOS				56,70
UTILIDAD			30%	17,01
			Subtotal	73,71

Tabla 7.21. Costos de fabricación de la brida de 8 plg.

Fuente Propia.

7.3.4.3. Costos de producción brida de 10 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Horno de Inducción MANUAL 50 KG FAB PROPIA	1	8,08	0,20	1,62
Horno de tratamiento térmico	1	4,29	2,00	8,59
TORNO # 2	1	0,47	2,00	0,94
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	1,09	1,00	1,09
Máquina de colado por centrifugado	1	3,72	0,50	1,86
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	14,10
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD (toneladas)	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
FUSION	1	15,19	0,80	12,15
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	3,00	15,57
Colado centrifugado	1	10,67	0,50	5,33
MATERIALES			PARCIAL MO	33,06
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	14,28	0,38	5,42
FeCr 68% LC	Kg.	0,37	6,00	2,19
Ni Puro	Kg.	0	38,00	0,00
Si Metálico	Kg.	0,01	4,07	0,04
FeMn	Kg.	0,02	3,82	0,09
Modelo	UNIDAD	2.400,00	0,00	4,80
Energía Eléctrica de Fusión	kw	13,83	0,19	2,63
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	13,83	0,09	1,29
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	10,00	0,20	2,00
			PARCIAL MAT	18,46
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		65,62
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				65,62
ADMINISTRATIVOS, SERVICIOS Y OTROS			7%	4,59
SUBTOTAL COSTOS				70,22
UTILIDAD			30%	21,06
			Subtotal	91,28

Tabla 7.22. Costos de fabricación de la brida de 8 plg.

Fuente Propia

7.3.4.4. Costos de producción brida de 12 plg.

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA USD/h	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
Horno de Inducción MANUAL 50 KG FAB PROPIA	1	8,08	0,20	1,62
Horno de tratamiento térmico	1	0,01	0,70	0,01
TORNO # 2	1	4,29	3,00	12,88
FRESADORA + HERRAMENTAL	1	0,47	5,00	2,34
Máquina de colado por centrifugado	1	1,09	2,00	2,19
	1	3,72	0,60	2,23
MANO DE OBRA			PARCIAL EQ.	21,27
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD (toneladas)	JORNAL/HORA	HORAS	COSTO UNIT.
	A	B	C	D=BxC
FUSION	1	15,19	0,90	13,67
MECANIZADO (JORGE)	1	5,19	7,00	36,33
Colado centrifugado	1	10,67	0,60	6,40
MATERIALES			PARCIAL MO	56,41
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg)	UNITARIO	COSTO UNIT
		A	B	C=A*B
Chatarra de AISI 304	Kg.	24,40	0,38	9,27
FeCr 68% LC	Kg.	0,62	6,00	3,74
Ni Puro	Kg.	0	38,00	0,00
Si Metálico	Kg.	0,02	4,07	0,07
FeMn	Kg.	0,04	3,82	0,16
Modelo	UNIDAD	3.000,00	0,00	6,00
Energía Eléctrica de Fusión	kw	23,64	0,19	4,49
Energía Eléctrica Maquinaria	kw	23,64	0,09	2,20
Energía Eléctrica Horno de TT	kw	30,00	0,20	6,00
			PARCIAL MAT	31,93
		TOTAL COSTOS DIRECTOS X=EQ.+MO.+MAT.		109,61
DESCUENTO RETORNOS				0,00
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				109,61
ADMINISTRATIVOS, SERVICIOS Y OTROS			7%	7,67
SUBTOTAL COSTOS				117,28
UTILIDAD			30%	35,18
			Subtotal	152,46

Tabla 7.23. Costos de fabricación de la brida de 10 plg.

7.3.5. PRODUCCIÓN DE BRIDAS DE COLADO POR CENTRIFUGADO.

En Fundireciclar se han planteado una posible producción anual en base a la solicitud de clientes como INPAC INC. O para poder suplir el mercado nacional y posible exportación. Por lo que se va a determinar la producción que puede suplir una máquina de colado por centrifugado, para que se justifique su construcción.

ITEM	Diámetro (Plg)	PROYECCION	T de Centr. (h)	Prod/h	Jornada (h)	Prod diaria	Prod. mes	Prod. Anual
30181-02	6	3	0,16	6	0,5	3	62,5	750
30182-02	8	2	0,2	5	0,25	1	25	300
30183-02	10	1	0,25	4	0,075	0,3	6	72
30184-02	12	1	0,3	3	0,05	0	3	40
TOTAL		7	1	19	1	5	97	1162

Tabla 7.24. Proyecciones anuales de producción de bridas.

Fuente Propia

De acuerdo a las proyecciones de producción planteada que puede suplir una sola máquina de colado por centrifugado anualmente.

Un proyecto como este se considera que producirá piezas con alto agregado nacional, por lo que Fundireciclar operara con una utilidad del 27%.

ITEM	Diámetro (Plg)	CANTIDAD (U)	Peso U (kg)	Peso T (kg)	Costo U. \$	Precio U. \$	Utilidad U. \$	Costo T \$	Precio T. \$	Utilidad T. \$
30181-02	6	750	5	3649,5	\$38,10	\$48,39	\$10,29	\$28.576,92	\$ 36.292,69	\$ 7.715,77
30182-02	8	300	7	2100	\$56,70	\$ 2,01	\$15,31	\$17.010,08	\$ 21.602,80	\$ 4.592,72
30183-02	10	72	9	664	70,22	\$89,17	\$18,96	\$5.055,53	\$ 6.420,53	\$ 1.364,99
30184-02	12	40	16	630,4	\$117,28	\$148,95	\$31,67	\$4.691,22	\$ 5.957,85	\$ 1.266,63
TOTAL		1.162	37	7.044	\$282,30	\$358,52	\$76,22	\$55.333,76	\$70.273,87	\$14.940,11
									Utilidad	27%

Tabla 7.25. Proyecciones con una utilidad del 27%.

Fuente Propia

Costo de construcción de la máquina \$ **14.889,16**

Utilidad con el régimen de producción planteado \$ **14.940,11**

Se plante una producción de:

ITEM	Diámetro (Plg)	CANTIDAD (U)
30181-02	6	750
30182-02	8	300
30183-02	10	72
30184-02	12	40

Tabla 7.26. *Producción de bridas en un año*

Fuente Propia

De los datos obtenidos de la proyección de producción de bridas de acero inoxidable se puede obtener que con una utilidad del 27%, y una producción de por lo menos una hora diaria, la inversión en la máquina se recuperara en un año, produciendo la cantidad indicada en la tabla 7.26, produciendo las cantidades indicadas se está recuperando la inversión si se lo hace en menos tiempo esta se recuperaría más pronto.

CAPITULO 8

8. PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO VERTICAL DE BRIDAS EN ACERO INOXIDABLE.

Se realizará la planeación para la construcción de la máquina de tal manera que se optimicen los recursos y se cumpla con los tiempos estimados de construcción de cada elemento como se indico en el Capitulo 7, y no se malgasten ni los recursos físicos, ni personal de la empresa, también para que sirva como una guía ordenada para obtener la máquina de la mejor manera posible.

8.1. CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Para la construcción de la máquina se procederá de la siguiente manera.

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	PERSONAL FUNDIRECICLAR	TIEMPO (h)
I	Diseño de la máquina			120
II	Planificación de la Construcción			30
III	Adquisición de Materia prima, y partes complementarias.			15
IV	Fabricación de piezas			61
V	Ensamblaje de la máquina			23
			TOTAL (H)	248,9
			Total Dias laborables	31

Tabla 8.1. Planificación construcción de la máquina de colado por centrifugado.

8.1.1. TAREAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Las siguientes tareas son las que permitirán construir la máquina según lo planificado, y manteniendo una secuencia lógica, además que de las mismas se obtendrá el tiempo que llevara construirla.

8.1.1.1. Diseño de la máquina.

El diseño es toda la documentación que se desarrollo en el Capitulo 6, y se llevo a cabo en 120 horas de trabajo, por parte de los autores de esta tesis.

8.1.1.2. Planeación de la construcción de la máquina.

La planeación de la construcción es toda la documentación que se desarrollo en este Capítulo 8, y se llevo a cabo en 30 horas de trabajo, por parte de los autores de esta tesis.

8.1.1.3. Adquisición de Materia prima, y partes complementaria.

Fundireciclar tiene un proceso de compras definido, por lo que se seguirá el mismo para las adquisiciones de este proyecto y el tiempo que debe llevar este proceso es el determinado por la empresa, de acuerdo a la siguiente tabla.

FUNDIRECICLAR MODELO DE GESTIÓN							
DIAGRAMA DE FLUJO							
PROCESO : COMPRAS							
INGENIERIA-VENTAS							
RESPONSABLE: JEFE DE INGENIERIA							
N°.	TAREAS	ENCARGADOS					TIEMPO (h)
		JEFE DE INGENIERIA	ASISTENTE DE PRESIDENCIA Y PRESIDENCIA EJECUTIVA	ASISTENTE DE INGENIERIA	ASISTENTE DE CONTADORA	BODEGUERO	
1	Elaborar orden de requisición						3
2	Revisar el inventario						1
3	Ordenar salida de materiales de bodega						1
4	Entregar mercadería						1
5	Generar orden de compra Local y/ó Importación						4
6	Entregar orden de compra Local y/ó Importación al proveedor y pagar.						1
7	Receptar en bodega						1
8	Verificar la recepción en bodega						2
9	Registrar ingreso a inventario						1
10	Fin de Proceso						
						Total (h)	15

Tabla 8.2. Adquisición de materiales.

Fuente Propia

8.1.1.4. Fabricación de Piezas.

Para proceder con la planificación de la construcción de las piezas se tomara como referencia el costeo de las mismas en el Capítulo 7, por lo que a continuación se indica el proceso de construcción de cada uno de los elementos de la máquina, y los tiempos estimados que toma construir los mismos.

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricación del eje				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	TORNERO	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos al tornero			0,50
3	Mecanizado del eje en torno			3,00
4	Mecanizado del eje en fresadora			3,00
5	Control dimensional del eje.			0,30
6	Ensamblaje			
7			Tiempo (h)	7,80

Tabla 8.3. Fabricación del eje.

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricación del plato				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	TORNERO	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos al tornero			0,50
3	Mecanizado del plato en torno			4,00
4	Mecanizado del plato en fresadora			6,00
5	Taladrado del plato			1,00
6	Control dimensional del plato			0,20
7	Ensamblaje			
8			Total (h)	12,70

Tabla 8.4. Fabricación del plato.

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricación de la brida				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	TORNERO	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos al tornero			0,50
3	Mecanizado de la brida en torno			4,00
4	Mecanizado de la brida en fresadora			1,00
5	Taladrado de la brida			1,00
6	Control dimensional de la brida			0,33
7	Ensamblaje			
8			Total (h)	7,83

Tabla 8.5. Fabricación de la brida.

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricacion del embudo				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	OBRAERO SOLDADOR	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos de taller y conjunto			0,50
3	Corte de Pletina y chapa			1,50
4	Ensamblaje por soldadura			2,00
5	Rebarbado y limpieza superficial			2,25
6	Pintado del embudo			0,50
7	Control dimensional del embudo			0,33
8	Ensamblaje			
9			Total (h)	8,08

Tabla 8.6. *Fabricación de la embudo.*

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricación del soporte contenedor				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	OBRAERO SOLDADOR	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos de taller y conjunto			0,50
3	Corte de tubos			0,25
4	Ensamblaje por soldadura			1,00
5	Rebarbado y limpieza superficial			2,00
6	Pintado del soporte contenedor			0,33
7	Control dimensional del soporte contenedor			0,33
8	Ensamblaje			
9			Total (h)	5,41

Tabla 8.7. *Fabricación soporte de contenedor*

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricación de la estructura				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	OBRAERO SOLDADOR	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos de taller y conjunto			0,50
3	Corte de perfiles CPN			2,00
4	Ensamblaje por soldadura de perfiles CPN			8,00
5	Rebarbado y limpieza superficial			9,00
6	Pintado de la estructura			2,00
7	Control dimensional de la estructura			0,33
8	Ensamblaje			
9			Total (h)	22,83

Tabla 8.8. *Fabricación de la estructura.*

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : Fabricacion de la estructura contenedor				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	OBRAERO SOLDADOR	TIEMPO (h)
1	Adquisición de materiales			1,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos de taller y conjunto			0,50
3	Corte de perfiles en L 15x15x2			3,00
4	Soldadura de perfiles en L 15x15x2			8,00
5	Rebarbado y limpieza			6,00
6	Pintado			1,00
7	Control dimensional de la estructura contenedor			0,33
8	Ensamblaje			
9			Total (h)	19,83

Tabla 8.9. *Fabricación de la estructura del contenedor.*

Fuente Propia

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA											
DIAGRAMA DE FLUJO											
PROCESO : Fabricación de las bases de las coquilla											
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO											
RESPONSABLE											
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES					TIEMPO (H)				
		DISÑO	MOLDEADOR	HORNERO	TERMINADOS	MECANIZADOS	TIEMPO 6 PLG	TIEMPO 8 PLG	TIEMPO 10 PLG	TIEMPO 12 PLG	TOTAL
1	Adquisición de materiales						1,00	1,00	1,00	1,00	4,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos de taller y conjunto						0,30	0,30	0,30	0,30	1,20
3	MOLDEO						1,00	1,25	1,50	2,00	5,75
4	FUSION						0,30	0,30	0,75	0,75	2,10
5	DESMOLDEO						0,50	0,75	1,00	1,50	3,75
6	CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO						1,00	1,00	1,00	1,50	4,50
7	MECANIZADO						5,00	6,00	7,00	8,00	26,00
8	Control dimensional de la base de la coquilla						0,50	0,50	0,50	0,50	2,00
9	Ensamblaje										
10										Total sin mecanizado (H)	23,30
11										Mecanizado (H)	26,00

Tabla 8.10. Fabricación de las bases de las coquillas.

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA											
DIAGRAMA DE FLUJO											
PROCESO : Fabricación de las tapas de las coquillas											
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO											
RESPONSABLE											
N°	TAREAS	PARTICIPANTES					TIEMPO				
		DISENO	MOLDADOR	HORNERO	TERMINADOS	MECANIZADOS	TIEMPO 6 PLG (h)	TIEMPO 8 PLG (h)	TIEMPO 10 PLG (h)	TIEMPO 12 PLG (h)	TOTAL (h)
1	Adquisición de materiales						1,00	1,00	1,00	1,00	4,00
2	Entrega de instrucciones, materiales y planos de taller y conjunto						0,30	0,30	0,30	0,30	1,20
3	MOLDEO						0,50	0,60	0,70	0,80	2,60
4	FUSIÓN						0,10	0,20	0,30	0,40	1,00
5	DESMOLDEO						0,25	0,40	0,50	0,60	1,75
6	CORTE DE ALIMENTADORES Y TERMINADO						0,25	0,50	3,00	4,00	7,75
7	MECANIZADO						2,00	2,50	0,60	1,00	6,10
8	Control dimensional de la base de la coquilla						0,50	0,50	0,50	0,50	2,00
9	Ensamblaje										
10											20,30
11											6,10
										Total sin mecanizado (h)	
										Mecanizado (h)	

Tabla 8.11. Fabricación de las tapas de las coquillas.

Con los datos que se obtienen de los procesos de fabricación de cada uno de los elementos tenemos el tiempo en que se fabrican todas las piezas.

Item	Elementos a Fabricar	tiempo de construcción (h)	Tiempos areas (h)	Dias Lab (8 h)	
1	Eje	7,80	28	3,5	
2	Plato	12,70			
3	Brida	7,83			
4	Embudo	8,08	56	7,0	
5	Soporte contenedor	5,41			
6	Estructura	22,83			
7	Estructura contenedor	19,83			
8	Fundición y terminados de Bases coquilla	23,30	23	3	
9	Mecanizado de las Bases coquillas	26,00	26	3,3	
10	Fundición y terminados de Tapas coquilla	20,30	20	2,5	
11	Mecanizado Tapas de las coquillas	6,10	6	0,8	
	TOTAL	154,08	154	20,0	

Tabla 8.12 *Tiempo de construcción de las piezas mecánicas.*

Fuente Propia

8.1.1.5. Ensamble de la máquina.

En base a experiencias anteriores de ensamblaje o mantenimiento de máquinas similares se plantea el proceso del mismo y los tiempos estimados que se demoraría cada paso.

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA				
DIAGRAMA DE FLUJO				
PROCESO : ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO				
RESPONSABLE				
N°.	TAREAS	PARTICIPANTES		
		DISEÑO	ARMADO	TIEMPO (h)
1	Recopilación de las piezas construidas y de los elementos complementarios.			1,00
2	Ubicación de la estructura en la posición inicial para armado.			0,20
3	Unión de estructura con soporte contenedor			1,00
4	Ensamblaje del sistema motriz, eje, chavetas, polea, chumacera.			2,00
5	Ensamblaje polea y motor			1,00
6	Instalación del motor en la estructura soporte.			2,00
7	Instalación del sistema motriz en la estructura soporte junto con la banda.			4,00
8	Ensamblaje del plato a la brida de acople.			1
9	Instalación del conjunto plato brida en el eje.			2,00
10	Templado de la banda			1
11	Instalación del sistema de control electrónico de la máquina.			3
12	Instalación de tapas de la estructura.			1
13	Instalación Estructura contenedor			2,00
14	Instalación de embudo de colado			1,00
15	Instalación de los pernos de sujeción de coquillas.			0,50
16	Ubicación de las respectivas coquillas.			0,2
17				
18			TOTAL (H)	22,90

Tabla 8.13 *Proceso de Ensamblaje de la máquina.*

CAPITULO 9

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado una máquina de colado por centrifugado para producir bridas de acero inoxidable según norma AWWA C207, en la empresa Fundireciclar S. A. de acuerdo a la tecnología existente en la empresa y con parámetros que permitan obtener productos de alta calidad, tanto para el mercado nacional como internacional, por lo tanto se cumplió con el objetivo general.
2. Se ha modelado la máquina en el Software Autodesk Inventor 2011, para poder visualizarla aunque no se la construya, y tener una idea de la complejidad de la misma, antes de empezar la construcción.
3. Se ha constatado que no es necesario construir los elementos en maquinaria CNC, puesto que con la maquinaria ordinaria con la que cuenta Fundireciclar se puede construir todos los elementos tanto de la máquina como el herramental.
4. Se comprendió porque el proceso de centrifugado es el más adecuado para fabricar bridas, y se determinó porque existieron defectos cuando se produce por fundición por gravedad.
5. La máquina se ha diseñado de tal manera que cumpla con parámetros de ergonomía y seguridad, por lo que el personal que existe en la planta, y que ya tiene experiencia en procesos de fundición podrá operarla fácilmente, y no requerirá mayor entrenamiento.
6. Se diseñó la máquina con los conocimientos obtenidos durante la carrera, y la experiencia del personal de Fundireciclar S. A. así como de los ingenieros en Fundición y mecánica de la empresa, por lo que se espera que esta se acople de manera positiva, y permita el desarrollo productivo tanto de la empresa como del país.
7. Durante el diseño se determinó que no se necesita enfriamiento en la máquina puesto que los volúmenes que va a manejar son pequeños en relación al volumen de la coquilla, y al usar materiales de alta calidad para fines específicos, nos darán seguridad durante su funcionamiento.

8. El diseño de esta máquina muestra que la tecnología que existe en el país, permite innovar nuevos procesos productivos, que contribuyen al desarrollo del país, y evitan la salida del capital.
9. Se determino que el costo de construcción de la máquina esta dentro del presupuesto designado por la empresa, por lo que el proyecto se viabilizará en el futuro.
10. Se demuestra que el régimen de producción de la máquina es suficiente para recuperar la inversión en el tiempo estimado, cumpliendo las características técnicas de fundición y cuidando los equipos, por lo que el proyecto se justificaría.

9.2. RECOMENDACIONES

1. Para incrementar la productividad se recomienda construir más de una máquina, puesto que se ha observado que el proyecto es económicamente favorable.
2. Al ser un proceso productivo que no existe en el país, hace que la innovación le dé un agregado más importante, por lo que se debería buscar el apoyo del estado, para hacer más viable el proyecto.
3. Si se desea producir bridas para exportación este sería el único proceso de fundición factible, por lo que al construir la máquina, se deberían buscar mercados internacionales, ya que al partir de material reciclado, sería posible la competencia internacional.
4. Actualmente la materia prima acero Inoxidable AISI 304, es mayormente exportada como chatarra, si se viabiliza este proyecto, con un régimen productivo al alza, la empresa debería pedir al estado, su apoyo para que no se permita la salida del material como chatarra, sino como piezas con alto agregado nacional.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ASM International, Casting, 10ma Edición, ASM International, 2008.
- AUTODESK, Manual Inventor 2010.
- Cunat Pierre-Jean, Euro Inox, Manual de aceros inoxidable de Euro Inox, 1ra edición, 2002.
- DAVIS, I. ASM Specialty Handbook, Stainless Steels; 3ra Edición, ASM International, 1999.
- Engineering Alloys Digests Inc. ASM International, AISI 304, 2002.
- FAG, Catalogo de rodamientos, 2000, España
- J. ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1999.
- JAMES P. LaRue. Basic Metal Casting, Editorial, The American Foundrymen`s Society, Inc. USA, 1989.
- KALPAKJIAN, SCHMID. Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 4ta Edición, Prentice Hall, México, 2002.
- MOTT R. Diseño de elementos de máquinas, Pearson cuarta edición 2006
- NORTON, R. Diseño de Maquinaria; 4ta Edición; México DF; McGraw-Hill; 2009.
- Riba C, Diseño Concurrente, Departamento de Ingeniería Mecánica ETSEIB-UPC, España, 2002.
- SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica; 8va Edición; México DF; McGraw-Hill; 2008.
- SKF, Catalogo General, 1975.
- TITOV, STEPÁNOV. Tecnología del proceso de fundición, Editorial Mir, 1981.
- <http://www.comosehace.cl/procesos/JoselgnacioSanchez/3-6.htm>
- <http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/fonta/taulesconsulta/caracteristicas/caracterinox.htm>
- <http://www.aisi.com.mx/304.htm>

ANEXOS

ANEXO A

NORMA AWWA C207

ANEXO B

FICHAS TECNICAS DEL HORNO DE
INDUCCION Y DELPACER II



FUNDIRECICLAR

CODIGO DEL EQUIPO: MOGAA005

Proceso de adquisicion

Adquisición: 2006

Instalación: 2006

Responsable del mantenimiento:

Características técnicas

REGISTRO DEL EQUIPO

Fecha: 02/02/10
Inventario: 1
Modelo: DM 1000 FURNACE
Tipo:
Criticalidad: 1
Manual: A_1

HORNO DE INDUCCIÓN

serie: 05-2744-05

Ciudad: Quito

Distribuidor: AJAX TOCCO

Operario:

Indicaciones:

Capacidad: 500Kg

Fabricante: Ajax Tocco



CUBA 500Kg

(Indicadores de entrada)

Voltaje min/máx [V] 1145/1250
Amperaje máx [A] 4853
Frecuencia [Hz] 1000
KVA 6054
Fases 1

(Indicadores de salida)

KW 500

Datos del agua de enfriamiento

Presión máx. de entrada [Psi] 70Psi
Temperatura máx. de entrada [°F] 100
Temperatura de entrada mínima por encima del punto de evaporación
Flujo de Agua 25GPM a 30Psi

Observaciones



FUNDIRECICLAR

CODIGO DEL EQUIPO: MQ6AA005

Proceso de adquisicion

Adquisición: 2006

Instalación: 2006

Responsable del mantenimiento:

Características técnicas

REGISTRO DEL EQUIPO

Fecha: 02/02/10
Modelo: PACER II
500Kw/1000Hz

Inventario: 1

Tipo:

Criticidad: 1

Manual: A_1

PACER II

Indicaciones: serie: 05-2744-01

Capacidad: 500 [Kw]

Ciudad: Quito

Distribuidor: AJAX TOCCO

Operario:



CUBA 500Kg

(Indicadores de entrada)

Voltaje min/máx [V] 480
Amperaje máx [A] 775
Frecuencia [Hz] 60
KVA 560
PF. 85
Fases 3

(Indicadores de salida)

KW 500
KVA 1000
Voltaje [V] 1090
Amperaje [A] 945
Frecuencia [Hz] 1000
Fases 1

Datos del agua de enfriamiento

Presión máx. de entrada [Psi] 70Psi
Temperatura máx. de entrada [°F] 95
Temperatura de entrada mínima por encima del punto de evaporación
Flujo de Agua 54GPM a 30Psi

Observaciones

ANEXO C

BITACORA DEL HORNO DE INDUCCIÓN DE
UNA COLADA DE 304

AJAX TOCCO PACER II 500 KW
 BITACORA DEL SISTEMAS AUXILIARES
 Archivo: 80001E550
 Fecha 04/08/2010

Item	HORA Detail	Parámetros			Prom.
		Unit	Min	Max	
SISTEMA ENFRIAMIENTO					
1	Automático				
2	Manual				
3	Presión descarga bomba recirculación	[PSI]	40	45	0
4	Presión retorno bomba recirculación	[PSI]	0	10	0
5	Temperatura agua suministro PACER II	[C]	14	26	0
6	Temperatura Agua retorno PACER II	[C]	15	34	0
7	Diferencia Temperatura	[C]	5	15	0
13	Temperatura Motor bomba recirculación	[C]	40	65	0
14	Temperatura Ambiente Exterior	[C]	10	23	0
15	Temperatura Agua Torre Enfriamiento	[C]	14	29	0
SISTEMA AIRE COMPRIMIDO					
1	Presión Aire Tanque Suministro	[PSI]	110	120	0
2	Presión Aire Regulada entrada PACER	[PSI]	50	50	0
SISTEMA HIDRÁULICO					
1	Temperatura liquido hidráulico	[C]	20	35	0
40					

Notas

Responsable: Joaquin Arroyave

ANEXO D

ENCUESTA DE LA VOZ DEL USUARIO

¿Qué características necesitaría y le gustaría que tenga una maquina de colado por centrifugado para colar bridas de acero inoxidable?

debe de primar la seguridad de los Operarios en el momento del colado, de fácil montaje de las diferentes Matrices ya q' la mayoría de las veces las matrices estan a altas temperaturas, debe de ser lo más estable posible para reducir al riesgo de desarmas por vibraciones; tambien debe tener un control de Velocidad de la mesa para adaptarlo a la necesidad de cada pieza, debe ser de fácil Acceso a la matriz al momento de colar.

Debe tener un eficiente sistema de enfriamiento para q' sea mas productiva, debe de ser movable y fácil de armar y segura al mismo tiempo.

sistema de frenado para optimizar la producción ó alguna Emergencia.

José Alejandro Moyano Vanegas.

¿Qué características necesitaría y le gustaría que tenga una maquina de colado por centrifugado para colar bridas de acero inoxidable?

Que no sea complicado en el colado.

Que no sea muy grande.

Cuando este funcionando no se mueva mucho

Que la coquilla se caliente rapido.

Que no se demore en enfriar la coquilla.

Que no sea dificil de armar

Fácil de dar mantenimiento.

No consuma mucha energia electrica.

Se facil de mover en caso de necesitarlo.

Que sea segura de operar.

Que sea dificil de manejar

Telmo Mendoza.

ANEXO E

CENTRIFUGAL CASTING MACHINES MODELO
VP-500

Model VP-500 Vertical Centrifugal Casting Machine



Model VP-500 Vertical Portable Centrifugal Casting Machine for the production of ferrous or non-ferrous castings. Capable of spinning up to 60 G force on the metal being cast.

Standard Features:

3 HP Variable Speed

Drive

Mold Water Cooling

Mold Heater

Pouring Funnel

24" Adapter Table

Operators Controls

Mold Wash Spray Gun

Sample Mold Wash



Maximum Table Diameter: 24" (610 mm)

Maximum Mold Height: 12" (305 mm)

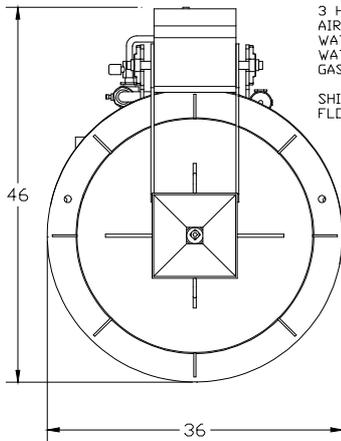
Maximum load at usual top speed 1000 rpm: 500 lbs (226 kgs) (Mold & Casting)

No special foundations required

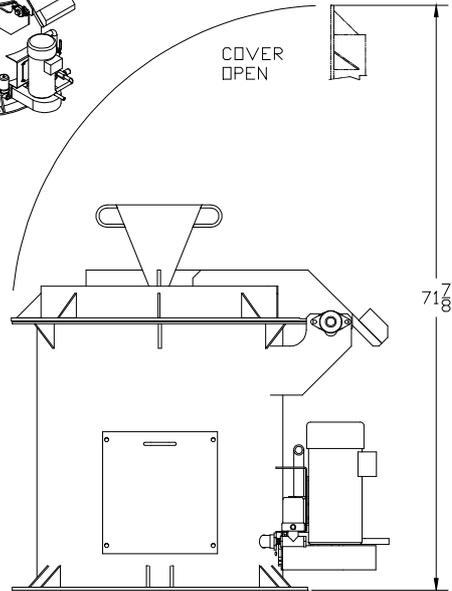
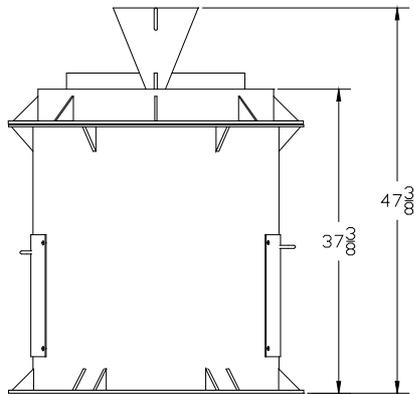
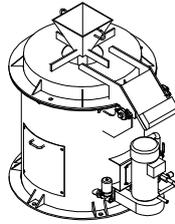
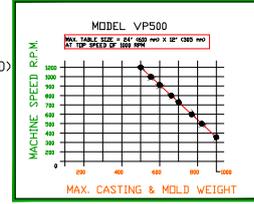


Tulsa Centrifugal Casting Machines, LLC

MODEL VP500 SPECIFICATIONS



3 HP VARIABLE SPEED DRIVE (2.25KW)
 AIR: 20GPM @ 80 PSI (MOLD SPRAY)
 WATER: 20GPM @ 40 PSI (MOLD COOLING)
 WATER: 5GPM @ 40 PSI (SHAFT COOLING)
 GAS: 1.8 CFM @ 0.4 PSI (MOLD HEATING)
 SHIPPING WEIGHT: 1,750 LBS GROSS 1,330 LBS NET
 FLOOR SPACE REQUIRED: 5 FT X 5 FT X 6" (OVERHEAD)



Tulsa Centrifugal Casting Machines, LLC

ANEXO F

GIBSON CENTRI TECH LIMITED MODELO
UGV1 SP

MACHINE SPECIFICATION

Uni-Gyra Vertical

UGV Mini, 1, 2, 3

Floor mounted/shallow pit vertical machines

**Suitable for manufacturing
Bearings, Bushes, Shaped Castings, Gears
in most castable alloys**

Gibson Centri-Tech Limited

Issue 4: Revised 11/94
Issue 5: Revised 11/96
Issue 6: Revised 04/97
Issue 7: Revised 03/99
Issue 8: Revised 09/05

Introduction

The Gibson Centri-Tech UGV machines are made in four size units and are referred to as floor mounted units. Sizes 2 and 3 usually employ a shallow pit solely for casting height convenience.

Each machine is designed on the same shaft and bearing capsule principle, employing a short heavy duty shaft, to enable the units to be used safely as surface machines.

The basic machine design enables varying safety guard and face plate sizes to be employed, in relation to machine loading, permitting maximum flexibility throughout the range.

Machine loading can vary considerably in relation to diameter of moulds/flasks.

A die/mould employed for true centrifugal die casting for a given diameter can weigh eight times that of a sand mould or sand packet ceramic mould.

Machine selection should be based on the long term usage giving consideration to collective weight of mould/die and cast metal.

Machines that are selected on the basis of long term usage for sand or refractory moulds or for centrifuging shaped moulds associated with aluminium die casting can be supplied with the maximum size face plate.

Reference

Type	Standard Face Plate	Maximum Face Plate Diameter
Mini Single	500mm	700mm
UGV1 Single	700mm	900mm
UGV2 Single	900mm	1000mm
UGV2 LF/HD	1000mm	1200mm
UGV3 Single	1200mm	1500mm
UGV3 LF/HD	1200mm	2000mm

Collective weight capacity of each machine for:-

Mould and Casting

Mini Single	300kg
UGV1 Single	600kg
UGV2 Single	1200kg
UGV2 LF/HD	1500kg
UGV3 Single	2500kg
UGV3 LF/HD	2500kg

Important Note

The UGV-3 size vertical machine was added to the surface mounted machine range, primarily to produce heavy ring type castings for gear wheels - pump seal rings - pipe flanges - turbine seals and general ring type castings.

The collective mould/casting weight can be exceeded for a number of applications. Gibson Centri-Tech should be consulted if loads in excess of the listed values are to be considered.

The speed range of the machine is such that a constant 'g' factor can be obtained on the interior mould surface irrespective of the mould size (within the capacity of the machine).

A speed chart is provided with the machine to indicate optimum casting speeds.

The speed range is infinitely variable up to a max. 'g' force speed with the appropriate potentiometer control. This speed is limited to customer's application for safety reasons. The Uni-Gyra machines consist of the following modules:-

1) Base Unit

This consists of a heavy steel fabrication unit and is specially constructed to act as an inertia block for the machine. The construction avoids resonance.

2) Drive Head

The drive head is designed as a single heavy duty box type frame, enabling the machine to cope with higher centrifugal forces. The rigidity of the frame reduces vibration permitting more effective use of the bearings into which the main bearing capsules locate. The main bearings are lubricated by a system which allows a higher speed range, enabling the production of small castings on a large machine.

The main drive shaft is forged from steel and supported in the bearing capsules.

A disc brake is provided as standard.

3) Main Drive

The main drive has been selected for use in the foundry environment and has been found to be highly reliable and is manufactured in quantity to the highest possible standard by a well known International Company.

The drive unit provides infinitely variable speed. The main drive is controlled by inverter frequency monitoring and adjustment and permits the speed of the AC motor to be varied by a microprocessor based digital control.

The prime mover is a standard T.E.F.C squirrel cage electric motor.

4) Control Module

The control unit provided with the machine has the following features:-

- a) Controls and read-outs to enable full repeatability of operation.
- b) Push buttons and starters for motor and rotation control.
- c) Automatic power braking.
- d) Safety interlocks.

The control module for all sizes is provided in the form of a free standing desk.

The control module takes the form of a dual compartment module housing electric and electronic equipment controlling pneumatic controls. All units are fully assembled with motor contactors, overloads, relays, fuses, etc. and low voltage control circuits. The speed control is achieved by frequency variation microprocessor.

5) Die Guarding

For the machine models UGV 0 to UGV 2 the guard is constructed from heavy sheet steel and is provided with a counter balance cover. The cover supports the cast iron tundish type pouring horn for accurate position control.

For the large UGV2 LF to UGV3 LF a sliding roller plate steel cover is provided.

6) Water Cooling (optional)

A water cooling system is available to ensure temperature control. This can be controlled by the operator and high production rates can be maintained.

7) Mould Dressing Device

A hand held spray gun complete with pressure feed tank with agitator is provided as standard, fully equipped with twin outlet and washout three way valve.

8) Pouring Unit

This unit is refractory lined tundish type pouring horn to cover the complete range of mould sizes, from 50 - 500 diameter castings.

The pouring device is arranged so that it can be quickly changed between casts and easily cleaned.

Construction of the pouring unit is simple and robust, for trouble free operation and is supplied with hinge over bracket system.

Zircon or graphite wash lined suitable for iron, semi-steel and high temperature alloys.

Refractory and Mould Coating Materials

Mould Coating

The mould coating material supplied with the machine is a highly successful insulating white powder type of mix and may be used for all alloys, ferrous and non-ferrous, including high temperature alloys, heat resisting and stainless aircraft steels.

Application and mixing instructions are provided in the Handbook Manual.

Refractory Material for Pouring Horn

The pouring horn is designed for lift-off removal with horn change times of less than one minute.

The pouring tubes are refractory lined with taper bores to effect fine stream pouring and designed for quick removal.

Graphite wash material supplied is for use with medium temperature alloys primarily and is suitable for all other alloys. Zircon wash is preferred for high temperatures stainless and heat resisting steels.

Items to be quoted separately to customer's requirements

- 1) Pre-heat burners for mould heating
- 2) Digital pyrometers, chart plotters
- 3) Programmable timers
- 4) Digital speed indicators
- 5) Pouring devices extras
- 6) Tooling
- 7) Moulds
- 8) Pouring horn heating burners
- 9) Mould machining equipment
- 10) Cutting off machines
- 11) Dressing mixing tanks
- 12) Handling equipment (molten metal)
- 13) Crane weighing equipment

Application

The success of the casting process depends to a large extent on the application of the dressing and moulding materials and the die and mould design.

Provided with the machine will be a Manual of Instruction containing the following process recommendations.

- a) General Operation
- b) Mould surface preparation (i.e. mould coating, cleaning etc)
Mould materials for sand moulds.
- c) Rotational speeds
- d) Pouring temperatures and speed
- e) Cooling procedures
- f) Moulds and balancing
- g) Quality control and measurement

Tooling, Ancillary and other equipment.

Advice will be given on tooling when the customer's application data is received.

Machine Type (UGV Range) and Services Requirements

1)	Machine size	UGV Mini Standard	UGV 0 High Speed
2)	Face Plate diameter	550mm	410mm
3)	Main Drive Motor	3 h.p.	5.5 h.p.
4)	Rotational Speed Range	0 - 1350	0 – 1500*
5)	Electrical Supply total	2 kW	4 kW
6)	Air Pressure Brake	5 - 6 bar	5 – 6 bar
7)	Water Pressure	40 p.s.i. min	N/A
8)	Gas supply - flow rate	-----	-----
9)	Guard Type - hinge open	600 x 600	600 x 600

*This is our standard speed ranges.

Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine.

Machine Type (UGV Range) and Services Requirements

1)	Machine size	UGV 1 Standard	UGV1 High Speed
2)	Face Plate diameter	700mm	500mm
3)	Main Drive Motor	7.5 HP	10 HP
4)	Rotational Speed Range	0 - 1350	0 - 1800
5)	Electrical Supply total	5.5 kW	7.5 kW
6)	Air Pressure Brake	5 - 6 bar	5 – 6 bar
7)	Water Pressure	40 psi min	40 psi min
8)	Gas supply - flow rate	-----	-----
9)	Guard Type - hinge open	800 x 800	800 x 800

This is our standard speed ranges.
Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine

Machine Type (UGV Range) and Services Requirements

1)	Machine size	UGV No. 2 Standard
2)	Face Plate diameter	900mm
3)	Main Drive Motor	10 h.p.
4)	Rotational Speed Range	10 - 1350
5)	Electrical Supply total	7.5 kW
6)	Air Pressure Brake	5 - 6 bar
7)	Water Pressure	40 p.s.i. min
8)	Gas supply - flow rate	-----
9)	Guard Type - hinge open	1200 x 1200

This is our standard speed ranges.

Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine

Machine Type (UGV Range) and Services Requirements

1)	Machine size	UGV No. 2 LF	UGV No. 2 HD
2)	Face Plate diameter	1200mm	900mm
3)	Main Drive Motor	15 h.p.	15 h.p.
4)	Rotational Speed Range	10 - 1000	10 - 1000
5)	Electrical Supply total	11 kW	11 kW
6)	Air Pressure Brake	5 - 6 bar	5-6 bar
7)	Water Pressure	40 p.s.i. min	40 psi min
8)	Gas supply - flow rate	-	-
9)	Guard Type - hinge open	1500 x 1500 - sliding	-

Models designated LF are modified to enable the fitting of a larger face plate. If the machine is supplied with a standard face plate it is designated HD (Heavy duty due to increased load capacity)

This is our standard speed ranges.
Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine

Machine Type (UGV Range) and Services Requirements

1)	Machine size	UGV No. 3 Standard
2)	Face Plate diameter	1200mm
3)	Main Drive Motor	20 h.p.
4)	Rotational Speed Range	10 - 800 *
5)	Electrical Supply total	15 kW
6)	Air Pressure Brake	5 - 6 bar
7)	Water Pressure	-
8)	Gas supply - flow rate	-
9)	Guard Type - hinge open	1400 x 1400

This is our standard speed ranges.

Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine

Machine Type (UGV Range) and Services Requirements

1)	Machine size	UGV No. 3 LF
2)	Face Plate diameter	2000mm
3)	Main Drive Motor	25 h.p.
4)	Rotational Speed Range	10 - 600 *
5)	Electrical Supply total	20 kW
6)	Air Pressure Brake	5 - 6 bar
7)	Water Pressure	-
8)	Gas supply - flow rate	-
9)	Guard Type - hinge open	Sliding guard

This is our standard speed ranges.

Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine

UGV RANGE

DESIGNATION	FACE PLATE DIA MM	NOMINAL * CAPACITY INC. FACE PLATE	NORMAL MAX RPM
MINI SINGLE	500-700	300Kg	1500/2000
UGV 1 SINGLE	700-900	600Kg	1200/1400
UGV 2 SINGLE	900-1200	1200Kg	1000/1200
UGV 2 LF/HD	On application		
UGV 3 SINGLE	1200-1500	2500Kg	800/1000
UGV 3 LF	On application		

* This is our standard speed ranges.

Alternative speed ranges are available subject to application providing they fall within the load speed capacity of the machine

Gibson Centri-Tech's Policy is one of continuous development, therefore the right is reserved to supply products which may differ slightly from this specification

ANEXO G

FORMATO DE EVALUACIÓN DE LA
SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL
CLIENTE EN RELACION A LA PROPIA
EMPRESA Y A LA COMPETENCIA

Vos del Usuario Necesidades y deseos del Usuario	Evaluación Del usuario		
	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2
Rápida	3,5	4	5
Fabrique varios tamaños	4,5	3,5	4
Compacta	3,5	5	5
Cero vibraciones	4	4,5	5
Fácil para vaciar la colada	3	4,5	3
Bajo consumo Eléctrico	4	4	4
Rápido calentamiento de la coquilla	3	2,5	5
Rápido enfriamiento de la coquilla	3,5	3,5	5
Fácil de transportar	4,5	4,5	4
Fácil de armar y desarmar	4	4	4
Que cuente con protecciones	5	4,5	4
Que sea fácil de operar	4	4,5	4
Que no sea costosa	5	3	3

Vos del Usuario Necesidades y deseos del Usuario	Evaluación Del usuario		
	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2
Rápida	3	4	4
Fabrique varios tamaños	4	4	3
Compacta	4	5	5
Cero vibraciones	4	4	4
Fácil para vaciar la colada	4	5	3
Bajo consumo Eléctrico	4	5	4
Rápido calentamiento de la coquilla	3	2	5
Rápido enfriamiento de la coquilla	3	3	5
Fácil de transportar	5	4	4
Fácil de armar y desarmar	4	4	3
Que cuente con protecciones	5	4	4
Que sea fácil de operar	4	4	4
Que no sea costosa	5	3	4

Vos del Usuario Necesidades y deseos del Usuario	Evaluación Del usuario		
	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2
Rápida	4	4	5
Fabrique varios tamaños	5	3	4
Compacta	3	5	5
Cero vibraciones	4	5	5
Fácil para vaciar la colada	2	4	3
Bajo consumo Eléctrico	4	3	4
Rápido calentamiento de la coquilla	3	3	5
Rápido enfriamiento de la coquilla	4	4	5
Fácil de transportar	4	5	4
Fácil de armar y desarmar	4	4	5
Que cuente con protecciones	5	5	4
Que sea fácil de operar	4	5	4
Que no sea costosa	5	3	2

ANEXO H

CASA DE LA CALIDAD

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR

MOTOR

MARCA: U.S. Motors

SERIE: YC5E3B

Generalidades:

A prueba de explosiones, eficiencia energética, constitución de hierro fundido, resistente a la corrosión y sustancias químicas.

Placa de identificación de acero inoxidable y elementos de zinc plateado, temperatura de 25 °C a 40 °C, diseño NEMA tipo B, rodamientos reengrasables, tipo de aislamiento F, tapón de latón, factor de servicio 1.15, frecuencia de trabajo 60 Hz, eficiencia 88.9%



Datos:

Fábrica	U.S. Motors
Modelo	YC5E3B
Potencia	5 HP
RPM	1200 RPM
Voltaje	230/460 Volts
Fase	3 Fases
Encapsulado	TEFC
Especificaciones Técnicas	<ul style="list-style-type: none">• Hp: 5• Fase: 3• Volts: 230/460• HZ: 60• RPM: 1200

- Amps: 14.6/7.3
- Insul Class: F
- SF: 1.15
- SFA: 16.3/8.2
- Max Ambient: 40
- NEMA Frame: 215T
- Encl: TE
- Code: H
- Shaft End Bearing: 6208-J/C3
- Opp End Bearing: 6206-J/C3
- NEMA Nom Eff: 93
- Thermally Protected: N/A
- Type: FLC
- Frame: Cast Iron
- Cast Iron Inner Bearing Caps: YES
- Regreasable Bearing: YES
- Lifting Provisions: YES
- Sealed Bearing: NO
- Shielded Bearing: YES"

Garantía

Completa por fallas de fabrica

Cálculos:

Tipo de Motor:	<i>MOTOR DE INDUCCION</i>	
Tipo de alimentación:	Trifásico	
Clase NEMA:	B	<i>De propósito general</i>
Tipo de aislamiento NEMA:	F	<i>40°C MAX (operación)</i>
Código letra rotor bloqueado NEMA:	G	<i>5,6 - 6,29 kVA/HP</i>
Potencia:	5	HP
Potencia Activa salida:	3,73	<i>kW (Rotor)</i>
Potencia Activa entrada:	4,01	<i>kW (Alimentación)</i>
Potencia Aparente entrada:	4,19	kVA
Voltaje nominal:	230	V
Frecuencia de alimentación:	60	Hz
Corriente nominal:	11.31	A
Corriente de arranque:	7.3	A (6,3 In)
FP:	0,89	
Eff.:	93	%
Factor de Servicio:	1,15	
Nº de Polos:	6	
Velocidad de sincronismo:	1200	RPM
Deslizamiento aprox:	2.5	%
Velocidad de operación aprox:	1170	RPM
Frame NEMA:	215T	

DISYUNTOR UNIPOLAR ROCKER AD, ROJO 20A "MASTERVOLT"



Descripción: Disyuntor unipolar tipo rocker AD, rojo 20A

Características Técnicas: Amperaje 20 A Color Rojo Polaridad Unipolar Tipo de palanca Interruptor estándar.

Corto Circuito

Norma NEC 430.52 e IEC 947

Fusibles temporizados para evitar pico de corriente en arranque directo.

$$\begin{aligned} \text{Fusible} &= 175\% \times \text{Corriente a plana carga} \\ &= 175\% \times 14.6 \\ &= 25.55 \text{ A} \\ &\approx 30 \text{ A} \end{aligned}$$

ANEXO J

TABLA DE LONGITUD DE CORREAS

ANEXO

LONGITUDES PRIMITIVAS DE LAS CORREAS					
Nº	Perfil A (13 x 8)	Perfil B (17 x 10,5)	Perfil C (22 x 13.5)	Perfil D (32 x 19)	Perfil E (40 x 25)
26	690				
28	741				
31	817				
35	919	932			
38	995	1008			
42	1097	1110			
46	1198	1211			
51	1325	1338	1347		
55	1427	1440			
60	1554	1567	1576		
64	1656	1669			
68	1757	1770	1779		
71	1833	1846			
75	1935	1948	1957		
80	2062	2079	2084		
81		2100	2109		
85	2189	2202	2211		
90	2316	2329	2338		
96	2468		2490		
97	2494	2507	2516		
105	2697	2710	2719		
112	2875	2888	2897		
120	3078	3091	3100	3117	
128	3281	3294	3303	3320	
136		3497	3506		
144		3701	3710	3727	
158		4055	4065	4082	
162		4158	4167	4184	
173		4437	4446	4463	
180		4615	4624	4641	4656
195		4996	5005	5022	5037
210		5377	5386	5403	5418
240		6106	6105	6102	6109
270		6868	6867	6864	6871
300		7630	7629	7626	7633
330			8391	8388	8395
360			9153	9150	9157
390			9915	9912	9919
420			10677	10674	10681
480				12198	12205
540				13722	13729
600				15246	15253

ANEXO K

TABLA DE SELECCIÓN DE POLEAS

POLEAS TRAPECIALES CON CUBO CIEGO
POULIES TRAPECIAL À MOYEU PLEIN
V-BELT PULLEYS WITH PLEIN HUB



SPB

SPB /B		1			2			3			4			5			6		
Nº Canales		25			44			63			82			101			120		
Prim.	Ext.	d	l	f	d	l	f	d	l	f	d	l	f	d	l	f	d	l	f
63	70	40	37	1	50	47	1	50	75	1	-	82	2						
71	78	45	37	1	50	47	1	55	75	1	-	82	2						
80	87	50	37	1	50	47	1	60	75	1	-	82	2						
90	97	60	37	1	60	47	1	70	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
100	107	60	37	1	70	47	1	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
106	113	60	37	1	70	47	1	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
112	119	60	40	1	70	47	1	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
118	125	60	40	3	70	47	1	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
125	132	60	40	3	70	47	1	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
132	139	60	40	3	70	47	1	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
140	147	60	40	3	65	47	3	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
150	157	60	40	3	65	47	3	80	75	1	-	82	2	-	101	2	-	120	2
160	167	60	40	3	65	47	3	80	75	3	80	94	1	-	101	2	-	120	2
170	177	65	40	3	80	47	3	80	75	3	80	94	3	-	101	2	-	120	2
180	187	65	40	3	80	50	3	80	75	3	80	94	3	85	101	4	85	101	5
190	197	65	40	3	80	50	3	80	75	3	80	94	3	85	101	4	85	101	5
200	207	70	40	3	80	50	3	90	75	3	90	94	3	90	101	4	90	101	5
212	219	70	40	3	80	50	3	90	75	3	90	94	3	90	101	4	95	101	5
224	231	80	40	3	80	60	3	90	75	3	90	94	3	100	101	4	100	101	5
236	243	80	40	3	80	50	3	90	75	3	90	94	3	100	101	4	100	101	5
250	257	90	40	3	90	50	6	90	75	3	90	94	3	100	101	4	100	101	5
280	287	90	50	6	90	50	6	90	75	3	90	94	6	110	101	4	110	101	5
300	307	90	50	6	90	50	6	100	75	3	100	94	6	110	101	4	110	101	5
315	322	90	50	6	90	50	6	100	75	6	100	94	6	110	101	4	110	101	5
355	362	90	50	6	90	50	6	100	75	6	100	94	6	110	101	4	115	101	5
375	382	90	50	6	90	50	6	100	75	6	100	94	6	110	101	7	115	101	8
400	407	90	50	6	100	50	6	110	75	6	120	94	6	120	101	7	120	101	8
450	457	90	55	6	100	50	6	110	80	6	120	100	6	120	101	7	120	101	8
500	507	100	55	6	110	50	6	120	80	6	120	100	6	120	101	7	130	120	7
560	567				110	50	6	120	80	6	130	100	6	130	101	7	135	120	7
630	637				120	60	6	120	80	6	140	120	6	140	101	6	140	120	7
710	717							130	100	6	140	120	6	140	120	6	140	120	7
800	807							130	100	6	150	120	6	150	120	6	150	120	7
900	907							150	100	6	150	120	6	150	120	6	150	120	7
1000	1007							150	110	6	160	120	6	160	120	6	160	120	7

Maciza / Solid
 Pletina / Plate
 Radios / Arms

ANEXO L

CATALOGO DE PERNOS MILIMETRICOS

Valores de apriete de pernos métricos

	4.8		8.8 9.8				10.9				12.9			
Grado y marcas en cabezas														
Grado y marcas en tuercas	5		10				10				12			

	Categoría 4,8				Categoría 8,8 ó 9,8				Categoría 10,9				Categoría 12,9			
	Lubricado*		Seco*		Lubricado*		Seco*		Lubricado*		Seco*		Lubricado*		Seco*	
Tamaño	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft	N·m	lb-ft
M6	4,8	3,5	6	4,5	9	6,5	11	8,5	13	9,5	17	12	15	11,5	19	14,5
M8	12	8,5	15	11	22	16	28	20	32	24	40	30	37	28	47	35
M10	23	17	29	21	43	32	55	40	63	47	80	60	75	55	95	70
M12	40	29	50	37	75	55	95	70	110	80	140	105	130	95	165	120
M14	63	47	80	60	120	88	150	110	175	130	225	165	205	150	260	190
M16	100	73	125	92	190	140	240	175	275	200	350	255	320	240	400	300
M18	135	100	175	125	260	195	330	250	375	275	475	350	440	325	560	410
M20	190	140	240	180	375	275	475	350	530	400	675	500	625	460	800	580
M22	260	190	330	250	510	375	650	475	725	540	925	675	850	625	1075	800
M24	330	250	425	310	650	475	825	600	925	675	1150	850	1075	800	1350	1000
M27	490	360	625	450	950	700	1200	875	1350	1000	1700	1250	1600	1150	2000	1500
M30	675	490	850	625	1300	950	1650	1200	1850	1350	2300	1700	2150	1600	2700	2000
M33	900	675	1150	850	1750	1300	2200	1650	2500	1850	3150	2350	2900	2150	3700	2750
M36	1150	850	1450	1075	2250	1650	2850	2100	3200	2350	4050	3000	3750	2750	4750	3500

*“Lubricado” significa, que se aplica a las fijaciones un lubricante como p.e. aceite motor o que se trata de tornillos aceitados o recubiertos de fosfato. “Seco” significa, que se utilizan fijaciones normales o cincadas sin lubricación alguna.

NO UTILIZAR estos valores si se especifica un valor de apriete o procedimiento de apriete diferente para una aplicación específica. Los valores dados son para uso general. Comprobar periódicamente el apriete de los tornillos.

Los pernos rompibles están diseñados para romperse bajo cargas determinadas. Sustituir siempre los pernos rompibles por otros de idéntico grado.

Los dispositivos de fijación deben ser sustituidos por otros similares o de mayor grado. En este último caso,

las fijaciones deben ser apretadas al par de apriete original.

Comprobar que las roscas de las fijaciones están limpias y que se empieza a enroscar correctamente. Esto evitará el fallo de las fijaciones al apretar.

Apretar las tuercas de freno de núcleo de plástico o de metal a 50% del par especificado en el cuadro para las fijaciones ‘secas’. Apretar las tuercas de freno almenadas o dentadas a los valores máximos especificados en el cuadro.

DX,TORQ2 -63-20JUL94-1/1

ANEXO M

CATALOGO DE PERNOS MILIMETRICOS

PowerFlex® 4 Driver de CA

Este dispositivo está diseñado para satisfacer necesidades del usuario final para la simplicidad, ahorro de espacio y la rentabilidad. Esta unidad compacta ofrece funciones intuitivas como un teclado integrado que facilita la programación, con un display que ayuda a la visualización de variables.



Características:

Número de catálogo: 22A-B017N104

Información

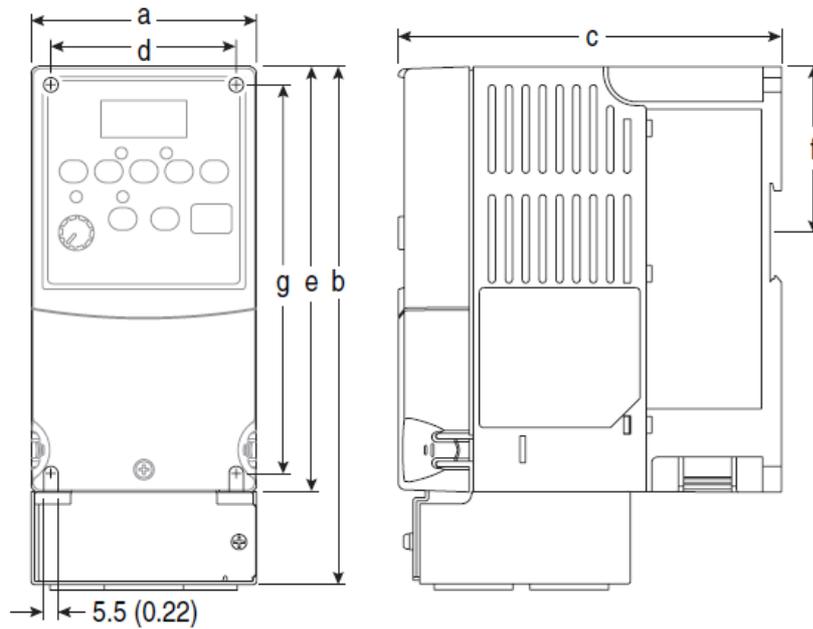
Input Voltage	240 (208)VAC, 3PH
Output Current	17 Amps
Enclosure Style	IP20 (Open)
Frame Size	Frame Size B

Opciones de Instalación

Human Interface Module (Type)	LED Display, Fixed Digital Keypad
Internal EMC Filtering	No CE Compliant Filter
Communication Module	RS485

Dimensiones y peso

Weight (kg / lbs)	1.81 / 3.98
-------------------	-------------



Bastidor	a	b	c	d	e	f	g
A	80 (3.15)	185 (7.28)	136 (5.35)	67 (2.64)	152 (5.98)	59.3 (2.33)	140 (5.51)

Consideraciones de Montaje

Instale el variador en posición hacia arriba sobre una superficie vertical y a nivel.

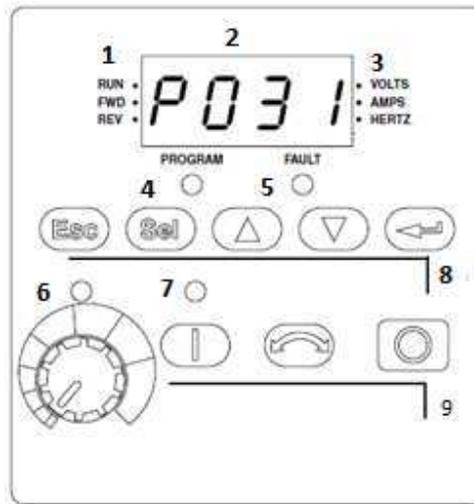
Consideraciones del fabricante

Tamaño de tornillos	M4 (#8-32)
Grosor mínimo de panel	1,9 mm
Par del tornillo	1,56 – 1,96 Nm
Riel DIN	35 mm

Temperatura de Operación:

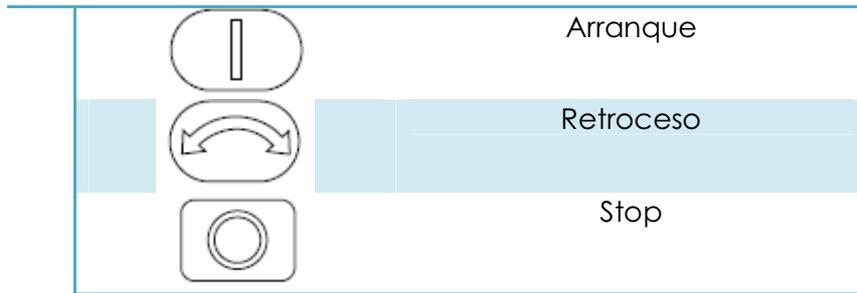
Temperatura Ambiente	
Mínimo	Máximo
-10 °C	40 °C
	50 °C

Teclado Integral



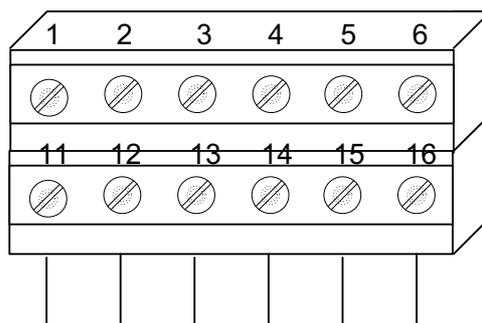
No	Led	Estado Led
1	Estado de marcha/dirección	Rojo continuo
2	Pantalla alfanumérica	Rojo intermitente
		Rojo continuo
3	Unidades	Rojo intermitente
		Rojo continuo
4	Estado del programa	Rojo continuo
5	Estado de fallas	Rojo intermitente
6	Estado del potenciómetro	Verde continuo
7	Estado de tecla de arranque	Verde continuo

No	Tecla	Nombre
8		Esc
		Seleccionar
		Fechas selección arriba / abajo
		Ingresar
	9		Potenciómetro



Menú	Descripción
d	Condiciones de funcionamiento
p	Programación básica, usada con mayor frecuencia
A	Programación avanzada, contiene el resto de funciones programables
F	Detector de fallos

Terminales de control



Pin	Señal	Valor Inicial	Descripción
1	Stop	Defecto	Necesita estar conectado a 24VDc para que arranque el variador.
2	Start	Desactivado	
3	Dir/RunREV	Desactivado	
4	Común Digital	-	

5	Entrada digital 1	Frec Presel	Programa con A051
6	Entrada digital 2	Frec Presel	Programa con A052
11	+ 24 VDC	-	Tensión para las entradas digitales, corriente de salida máx. 100 mA
12	+ 10 VDC	-	Tensión para el potenciómetro, salida de corriente máx. 15 mA
13	Ent 0-10 V	Desactivado	
14	Común Analógico	-	Electrónicamente aislado con las E/S digitales
15	Ent 4-20 mA	Desactivado	
16	RS485	-	Puerto de comunicaciones RS485

Programación de las terminales

El variador cuenta con 2 entradas digitales (Pin 5 y Pin 6).

Para la programación de las velocidades se empleara la opción que nos brinda el PowerFlex® 4 Driver de CA de ingresar las señales de control por combinación binaria de la siguiente forma:

Pin 5 (In 1)	Pin 6 (In 2)	Frecuencia
0	0	00 Hz
0	1	33 Hz
1	0	
1	1	

Por lo que se deben programar algunos parámetros del PowerFlex® 4 Driver de CA.

Para las entradas digitales

- Para activar las entradas digitales de seleccionará en menú la letra A, desplazarse hasta los números deseados y activar las opciones deseadas:

No	Parámetro	Opción
A051	Entrada In1	Seleccionar la opción 4 que representa "Preset Freq"
A052	Entrada In2	

- Para activar el Arranque que es la opción que establece el esquema del control utilizado para poner en marcha al variador:

No	Parámetro	Opción
P036	Arranque Fuente	Seleccionar la opción 1 que representa "3 hilos"

- Para activar el Stop o modo de paro.

No	Parámetro	Opción
P037	Modo de Paro	Seleccionar la opción 2 que representa "Freno DC"

- Para establecer el valor de las frecuencias a las que se quiere trabajar

No	Parámetro	Opción
A070	Preset Freq	Seleccionar la frecuencia deseada de acuerdo con la combinación antes mencionada.
A071	Preset Freq	
A072	Preset Freq	
A073	Preset Freq	

- Para seleccionar lo que se desea mostrar en la operación se activarán los siguientes parámetros.

Frecuencia a la que se encuentra el variador

No	Parámetro
d001	Frecuencia Salida

Tiempo en marcha del variador

No	Parámetro
d018	Tiempo en marcha

Estado de las entradas para poder verificar el correcto funcionamiento del sistema.

No	Parámetro
d014	Estado de entradas digitales

Se activará el control de fuente, el cual nos mostrara la velocidad de acuerdo con la velocidad seteada desde en circuito lógico de control.

No	Parámetro
d012	Digito 1 "comando de velocidad"

ANEXO N

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
DE LA MÁQUINA

1. MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO.

1.1. CONSIDERACIONES PREVIO AL USO.

- La máquina tendrá un sitio determinado de ubicación en la planta, pero ha sido diseñada para que se pueda mover si es el caso, si se ha movido tener cuidado de que se encuentre nivelada, y cerca de tomas de energía eléctrica adecuadas.
- Verificar que el sitio tenga la superficie adecuada para que la máquina no tenga interferencias si se abre en toda su envergadura.
- Como el colado debe realizarse rápidamente, se debe buscar un sitio para la instalación cerca del horno, y donde no se tenga problemas de acceso con el puente grúa.
- Llenar la lista de chequeo previo al uso de la máquina.
- Revisar orden de trabajo de máquina.

1.2. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO.

- Según la especificación de la orden de trabajo, preparar herramental.
- Calentar la coquilla seleccionada con las antorchas de GLP, dependiendo de la brida a fabricar hasta 200°C, se comprobara con pirómetro óptico.
- Pintar el interior de la coquilla y superficie inferior de la tapa con pintura refractaria para acero inoxidable.
- Armar la coquilla.
- Colocar coquilla calentada a 200°C en la máquina de colado por centrifugado.
- Asegurar la coquilla con los pernos de sujeción.
- Cerrar el contenedor de coquilla, y asegurar la bisagra.
- Colocar el embudo en la posición de colado.
- Activar la máquina, se pulsara el botón determinado para centrifugar cada tipo de brida, este estará programado para que active el motor

hasta la velocidad de centrifugado de cada brida, existe un pulsado por diámetro de brida.

- Detener la maquina después del tiempo calculado en el diseño de la máquina de acuerdo al diámetro.
- Retirar el embudo de colado a una posición neutra.
- Abrir el contenedor de coquilla y retirar la misma con la pieza centrifugada en el interior, para desmoldear en otro sitio.
- Colocar otra coquilla preparada previamente en la maquina y repetir el proceso.

1.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.

La máquina no tiene sistemas complejos y ha sido diseñada con factores de seguridad adecuados para que no tenga problemas durante su vida útil, sin embargo se debe constatar que los sistemas se encuentren en buen estado debido, a que debe cumplir con regímenes de producción estrictos.

El funcionamiento de la máquina está ligado al de otras máquinas y viceversa, no se puede permitir que se tengan problemas durante el funcionamiento, por lo tanto se plantea un mantenimiento preventivo, de los principales elementos, y cambios de los elementos como rodamientos, y banda.

Se verificara fichas técnicas de los rodamientos y banda, y se revisara su vida útil en horas, se llevara una bitácora de funcionamiento de la máquina, y se realizaran los cambios antes que concluya su vida útil.

Como mantenimiento convencional, se revisara el estado de los sistemas móviles, poleas, bandas, rodamiento y chumaceras.

Se engrasara los rodamientos con grasa de tipo 1 de litio, por medio de los graseros que vienen en las chumaceras respectivas.

Las piezas más críticas no son costosas por los tanto lo recomendable es mantener en bodega uno de cada elemento, es decir, un rodamiento cónico de rodillos, uno radial de bolas, y una banda, con las especificaciones obtenidas en el diseño. Ya que de tener algún problema estos serian los

elementos que probablemente fallen, y no es difícil su cambio, lo que ahorraría tiempo, evitando pérdidas económicas graves.

Propuesta de check list.

CHECK LIST MÁQUINA DE COLADO POR CENTRIFUGADO									
		Horas de trabajo							
		50	100	500	1000	2000	3000	4000	5000
ítem	Descripción elemento	estado	estado	estado	estado	estado	estado	estado	estado
1	Rodamiento 16006								
2	Rodamiento 32305								
3	Banda								
4	Polea 6 plg								
5	Polea 5 plg								
6	chavetas								
7	brida de acople plato eje								
8	plato soporte								
9	Pernos de sujeción coquilla								
10	Embudo de colado								
11	Motor eléctrico								
12	Sistema de control								
	Estado								
	Buen estado	BE							
	Reparación	R							
	Cambio	C							

ANEXO 0

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEROS
INOXIDABLES

Table 4 Typical physical properties of wrought stainless steels in the annealed condition

Type	UNS number	Density g/cm ³ (lb/in. ³)	Elastic modulus GPa (10 ⁵ psi)	Mean CTE from 0 °C (32 °F) to:			Thermal conductivity		Specific heat(a) J/kg · K (Btu/lb · °F)	Electrical resistivity, n Ω · m	Magnetic perme- ability (b)	Melting range °C (°F)
				100 °C (212 °F)	315 °C (600 °F)	538 °C (1000 °F)	at 100 °C (212 °F)	at 500 °C (932 °F)				
				μm/m · °C (μin./in. · °F)	μm/m · °C (μin./in. · °F)	μm/m · °C (μin./in. · °F)	W/m · K (Btu/ft · h · °F)	W/m · K (Btu/ft · h · °F)				
201	S20100	7.8 (0.28)	197 (28.6)	15.7 (8.7)	17.5 (9.7)	18.4 (10.2)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	690	1.02	1400-1450 (2550-2650)
202	S20200	7.8 (0.28)	...	17.5 (9.7)	18.4 (10.2)	19.2 (10.7)	16.2 (9.4)	21.6 (12.5)	500 (0.12)	690	1.02	1400-1450 (2550-2650)
205	S20500	7.8 (0.28)	197 (28.6)	...	17.9 (9.9)	19.1 (10.6)	...	...	500 (0.12)	...	...	...
301	S30100	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.0 (9.4)	17.2 (9.6)	18.2 (10.1)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1420 (2550-2590)
302	S30200	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	18.4 (10.2)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1420 (2550-2590)
302B	S30215	8.0 (0.29)	193 (28.0)	16.2 (9.0)	18.0 (10.0)	19.4 (10.8)	15.9 (9.2)	21.6 (12.5)	500 (0.12)	720	1.02	1375-1400 (2500-2550)
303	S30300	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	18.4 (10.2)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1420 (2550-2590)
304	S30400	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	18.4 (10.2)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1450 (2550-2650)
304L	S30403	8.0 (0.29)	...	...	...	...	...	...	...	...	1.02	1400-1450 (2550-2650)
302Cu	S30430	8.0 (0.29)	913 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	...	11.2 (6.5)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1450 (2550-2650)
304N	S30451	8.0 (0.29)	196 (28.5)	...	...	...	...	...	500 (0.12)	720	1.02	1400-1450 (2550-2650)
305	S30500	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	18.4 (10.2)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1450 (2550-2650)
308	S30800	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	18.4 (10.2)	15.2 (8.8)	21.6 (12.5)	500 (0.12)	720	...	1400-1420 (2550-2590)
309	S30900	8.0 (0.29)	200 (29.0)	15.0 (8.3)	16.6 (9.2)	17.2 (9.6)	15.6 (9.0)	18.7 (10.8)	500 (0.12)	780	1.02	1400-1450 (2550-2650)
310	S31000	8.0 (0.29)	200 (29.0)	15.9 (8.8)	16.2 (9.0)	17.0 (9.4)	14.2 (8.2)	18.7 (10.8)	500 (0.12)	780	1.02	1400-1450 (2550-2650)
314	S31400	7.8 (0.28)	200 (29.0)	...	15.1 (8.4)	...	17.5 (10.1)	20.9 (12.1)	500 (0.12)	770	1.02	...
316	S31600	8.0 (0.29)	193 (28.0)	15.9 (8.8)	16.2 (9.0)	17.5 (9.7)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	740	1.02	1375-1400 (2500-2550)
316L	S31603	8.0 (0.29)	...	...	...	...	...	...	...	...	1.02	1375-1400 (2500-2550)
316N	S31651	8.0 (0.29)	196 (28.5)	...	...	...	...	...	500 (0.12)	740	1.02	1375-1400 (2500-2550)
317	S31700	8.0 (0.29)	193 (28.0)	15.9 (8.8)	16.2 (9.0)	17.5 (9.7)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	740	1.02	1375-1400 (2500-2550)
317L	S31703	8.0 (0.29)	200 (29.0)	16.5 (9.2)	...	18.1 (10.1)	14.4 (8.3)	...	500 (0.12)	790	...	1375-1400 (2500-2550)
321	S32100	8.0 (0.29)	19.3 (28.0)	16.6 (9.2)	17.2 (9.6)	18.6 (10.3)	16.1 (9.3)	22.2 (12.8)	500 (0.12)	720	1.02	1400-1425 (2550-2600)
329	S32900	7.8 (0.28)	...	...	...	...	...	...	460 (0.11)	750	...	...
330	N08330	8.0 (0.29)	196 (28.5)	14.4 (8.0)	16.0 (8.9)	16.7 (9.3)	...	...	460 (0.11)	1020	1.02	1400-1425 (2550-2600)
347	S34700	8.0 (0.29)	193 (28.0)	16.6 (9.2)	17.2 (9.6)	18.6 (10.3)	16.1 (9.3)	22.2 (12.8)	500 (0.12)	730	1.02	1400-1425 (2550-2600)
384	S38400	8.0 (0.29)	193 (28.0)	17.2 (9.6)	17.8 (9.9)	18.4 (10.2)	16.2 (9.4)	21.5 (12.4)	500 (0.12)	790	1.02	1400-1450 (2550-2650)
405	S40500	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.8 (6.0)	11.6 (6.4)	12.1 (6.7)	27.0 (15.6)	...	460 (0.11)	600	...	1480-1530 (2700-2790)
409	S40900	7.8 (0.28)	...	11.7 (6.5)	...	...	...	...	...	...	...	1480-1530 (2700-2790)
410	S41000	7.8 (0.28)	200 (29.0)	9.9 (5.5)	11.4 (6.3)	11.6 (6.4)	24.9 (14.4)	28.7 (16.6)	460 (0.11)	570	700-1000	1480-1530 (2700-2790)
414	S41400	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.4 (5.8)	11.0 (6.1)	12.1 (6.7)	24.9 (14.4)	28.7 (16.6)	460 (0.11)	700	...	1425-1480 (2600-2700)
416	S41600	7.8 (0.28)	200 (29.0)	9.9 (5.5)	11.0 (6.1)	11.6 (6.4)	24.9 (14.4)	28.7 (16.6)	460 (0.11)	570	700-1000	1480-1530 (2700-2790)
420	S42000	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.3 (5.7)	10.8 (6.0)	11.7 (6.5)	24.9 (14.4)	...	460 (0.11)	550	...	1450-1510 (2650-2750)
422	S42200	7.8 (0.28)	...	11.2 (6.2)	11.4 (6.3)	11.9 (6.6)	23.9 (13.8)	27.3 (15.8)	460 (0.11)	...	...	1470-1480 (2675-2700)
429	S42900	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.3 (5.7)	...	...	25.6 (14.8)	...	460 (0.11)	590	...	1450-1510 (2650-2750)
430	S43000	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.4 (5.8)	11.0 (6.1)	11.4 (6.3)	26.1 (15.1)	26.3 (15.2)	460 (0.11)	600	600-1100	1425-1510 (2600-2750)
430F	S43020	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.4 (5.8)	11.0 (6.1)	11.4 (6.3)	26.1 (15.1)	26.3 (15.2)	460 (0.11)	600	...	1425-1510 (2600-2750)
431	S43100	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.2 (5.7)	12.1 (6.7)	...	20.2 (11.7)	...	460 (0.11)	720	...	...
434	S43400	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.4 (5.8)	11.0 (6.1)	11.4 (6.3)	...	26.3 (15.2)	460 (0.11)	600	600-1100	1425-1510 (2600-2750)
436	S43600	7.8 (0.28)	200 (29.0)	9.3 (5.2)	...	...	23.9 (13.8)	26.0 (15.0)	460 (0.11)	600	600-1100	1425-1510 (2600-2750)
439	S43035	7.7 (0.28)	200 (29.0)	10.4 (5.8)	11.0 (6.1)	11.4 (6.3)	24.2 (14.0)	...	460 (0.11)	630	...	...
440A	S44002	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.2 (5.7)	...	...	24.2 (14.0)	...	460 (0.11)	600	...	1370-1480 (2500-2700)
440C	S44004	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.2 (5.7)	...	...	24.2 (14.0)	...	460 (0.11)	600	...	1370-1480 (2500-2700)
444	S44400	7.8 (0.28)	200 (29.0)	10.0 (5.6)	10.6 (5.9)	11.4 (6.3)	26.8 (15.5)	...	420 (0.10)	620	...	...
446	S44600	7.5 (0.27)	200 (29.0)	10.4 (5.8)	10.8 (6.0)	11.2 (6.2)	20.9 (12.1)	24.4 (14.1)	500 (0.12)	670	400-700	1425-1510 (2600-2750)
PH 13-8 Mo	S13800	7.8 (0.28)	203 (29.4)	10.6 (5.9)	11.2 (6.2)	11.9 (6.6)	14.0 (8.1)	22.0 (12.7)	460 (0.11)	1020	...	1400-1440 (2560-2620)
15-5 PH	S15500	7.8 (0.28)	196 (28.5)	10.8 (6.0)	11.4 (6.3)	...	17.8 (10.3)	23.0 (13.1)	420 (0.10)	770	95	1400-1440 (2560-2620)
17-4 PH	S17400	7.8 (0.28)	196 (28.5)	10.8 (6.0)	11.6 (6.4)	...	18.3 (10.6)	23.0 (13.1)	460 (0.11)	800	95	1400-1440 (2560-2620)
17-7 PH	S17700	7.8 (0.28)	204 (29.5)	11.0 (6.1)	11.6 (6.4)	...	16.4 (9.5)	21.8 (12.6)	460 (0.11)	830	...	1400-1440 (2560-2620)

CTE, coefficient of thermal expansion. (a) At 0 to 100 °C (32 to 212 °F). (b) Approximate values

- Nature and distribution of microstructural constituents
- Continuity of exposure of the metal to the medium
- Surface condition of the metal
- Stresses in the metal during exposure to the medium
- Contact of the metal with one or more dissimilar metallic materials
- Stray electrical currents
- Differences in electric potential
- Marine growth such as barnacles
- Sludge deposits on the metal
- Carbon deposits from heated organic compounds
- Dust on exposed surfaces
- Effects of welding, brazing, and soldering

More detailed information on selection of stainless steels for use in various corrosive environments can be found in the Section "Corrosion Behavior" in this Volume.

Mechanical properties at service temperature are obviously important, but satisfactory performance at other temperatures must be considered also. Thus, a product for arctic service must have suitable properties at subzero temperatures even though steady-state operating temperature may be much higher; room-temperature properties after extended service at elevated temperature can be important for applications such as boilers and jet engines, which are intermittently shut down.

Table 2 compares tensile and impact values for selected stainless steel grades. More detailed information on properties of stainless steels can be

found in the articles that immediately follow this Section of the Handbook as well as the Section "Properties of Stainless Steels."

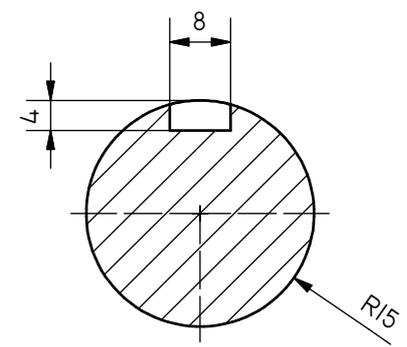
Physical Properties. Although there are applications for stainless steels in which physical properties are the determining factors in selection, the magnetic and electrical properties of stainless steels are critical in selected applications. These include the use of stainless steel soft magnetic applications (for example, ferritic solenoid-quality types 430F or 430FR) and chromium-aluminum alloys containing 1 to 22% Cr and 4 to 5.5% Al for resistance heating elements. These materials are described in the Section "Physical Properties" in this Volume.

There are also many applications in which physical properties are important in produc-

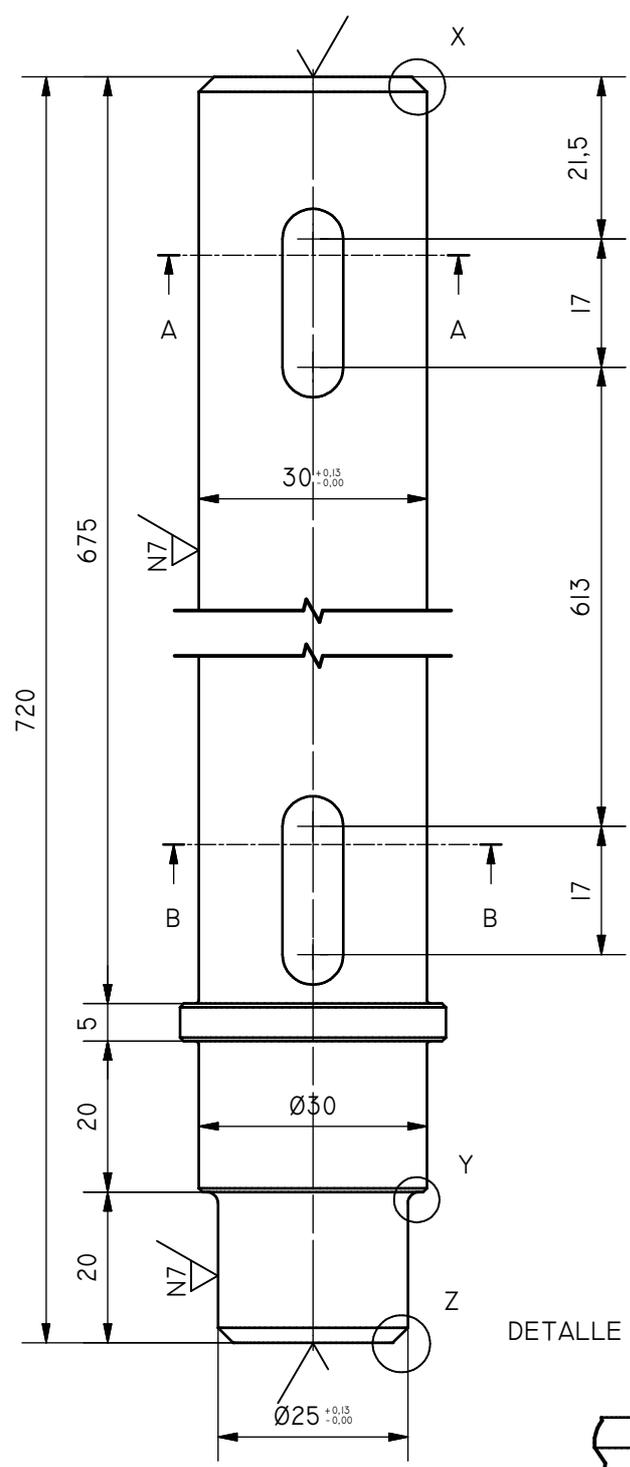
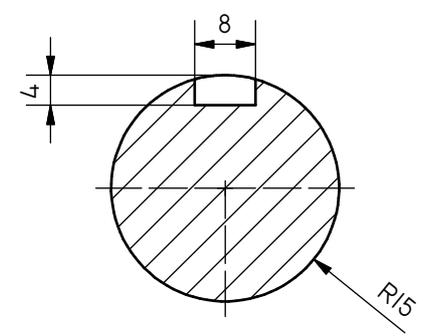
PLANOS

N6/ N7/ ✓

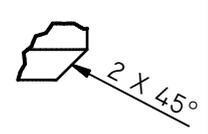
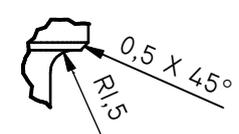
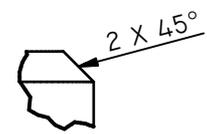
CORTE A-A (1:1)



CORTE B-B (1:1)

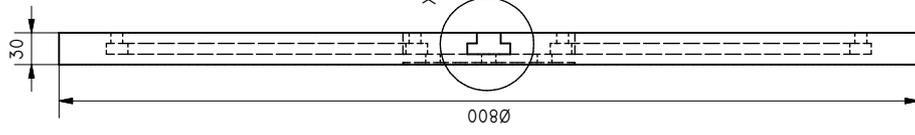
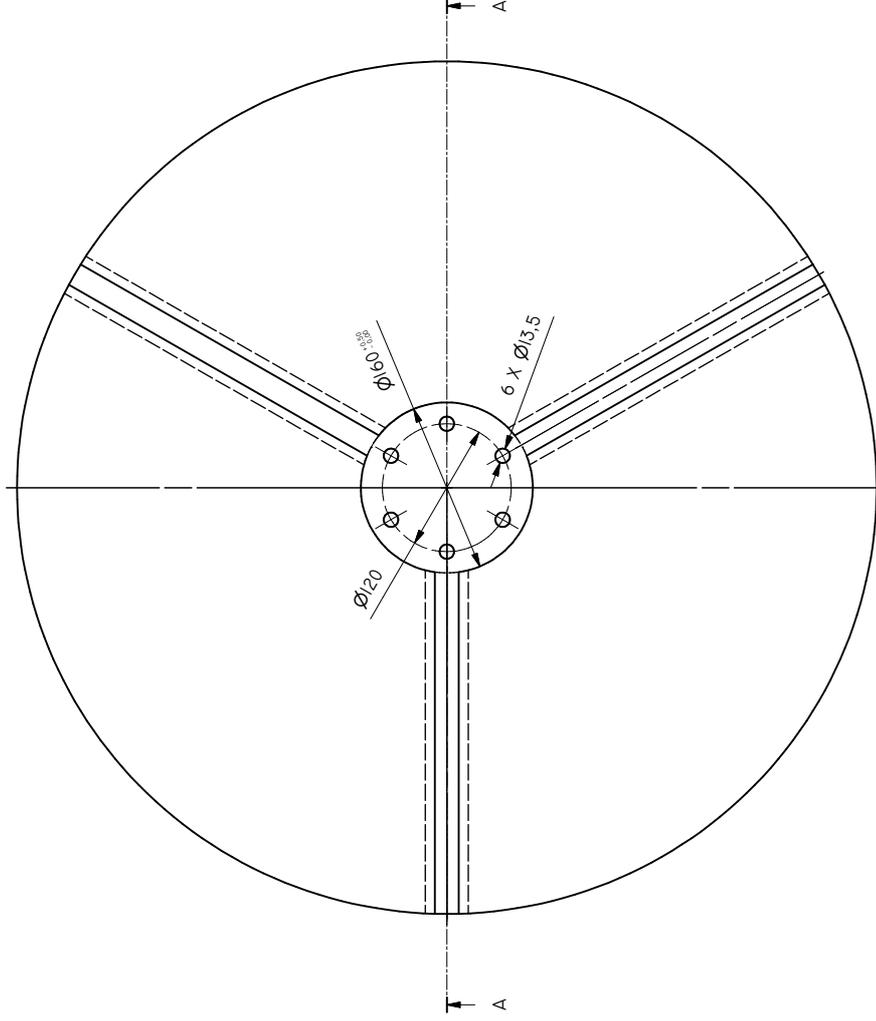
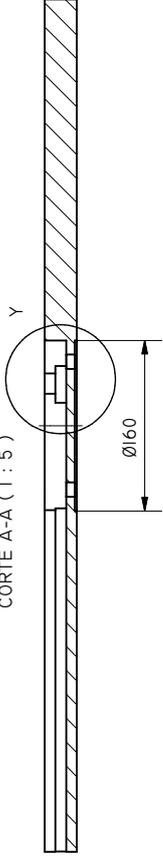


DETALLE X (2 : 1) DETALLE Y (2 : 1) DETALLE Z (2 : 1)

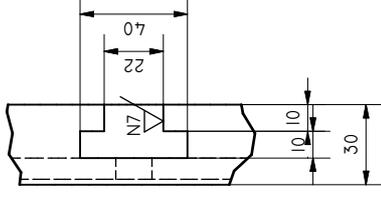


TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB.	G. LOACHAMIN, C. LUNA	
MATERIAL:	AISI 1045	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
		±0,1	1:1	REV	ING. P. FLORES
EJE		EPN-FIM-01			FECHA 12/09/2011

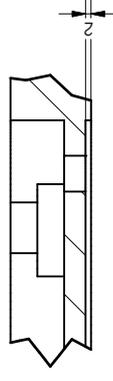
CORTE A-A (1:5)



DETALLE X (1:2)



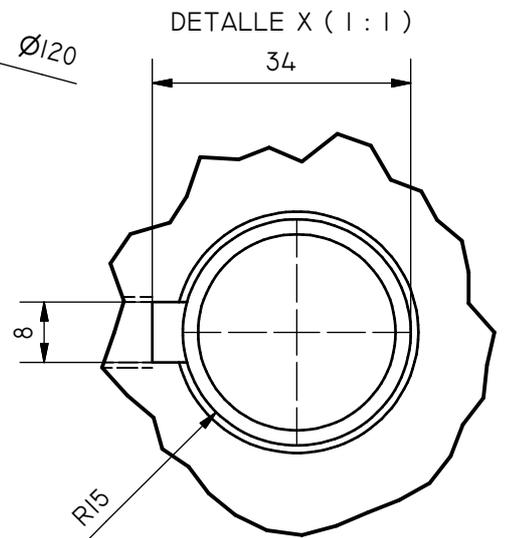
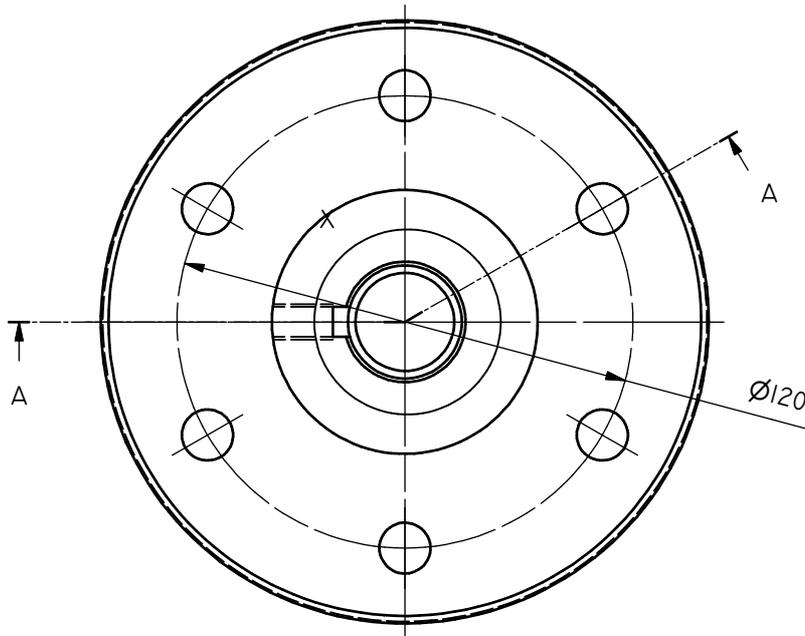
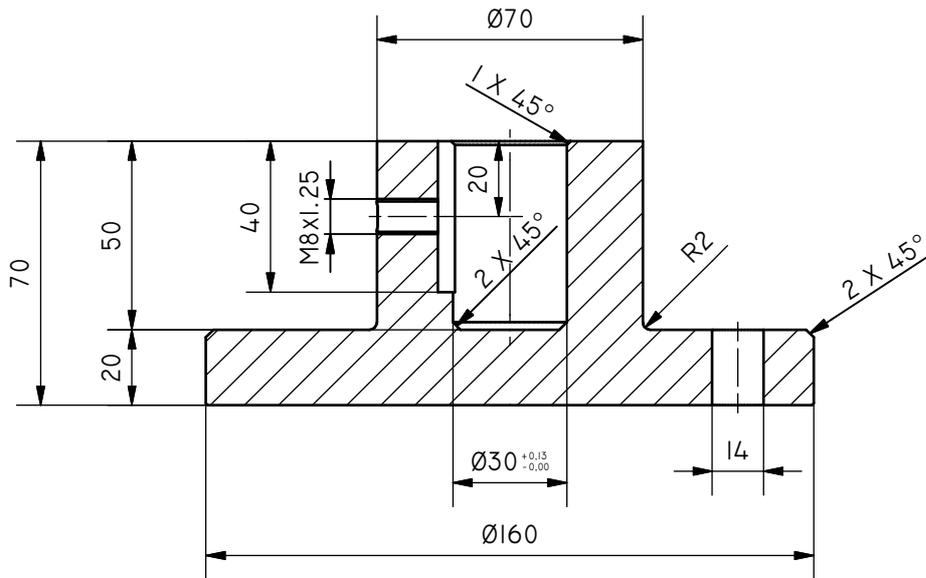
DETALLE Y (1:2)



TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		
MATERIAL:	TOL. GRAL. ±0.5	ESCALA:	DIB: G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310		1:5	DIS: G. LOACHAMIN, C. LUNA
			REV: ING. P. FLORES
PLATO COQUILLAS		EPN-FIM-02	
		FECHA 12/09/2011	

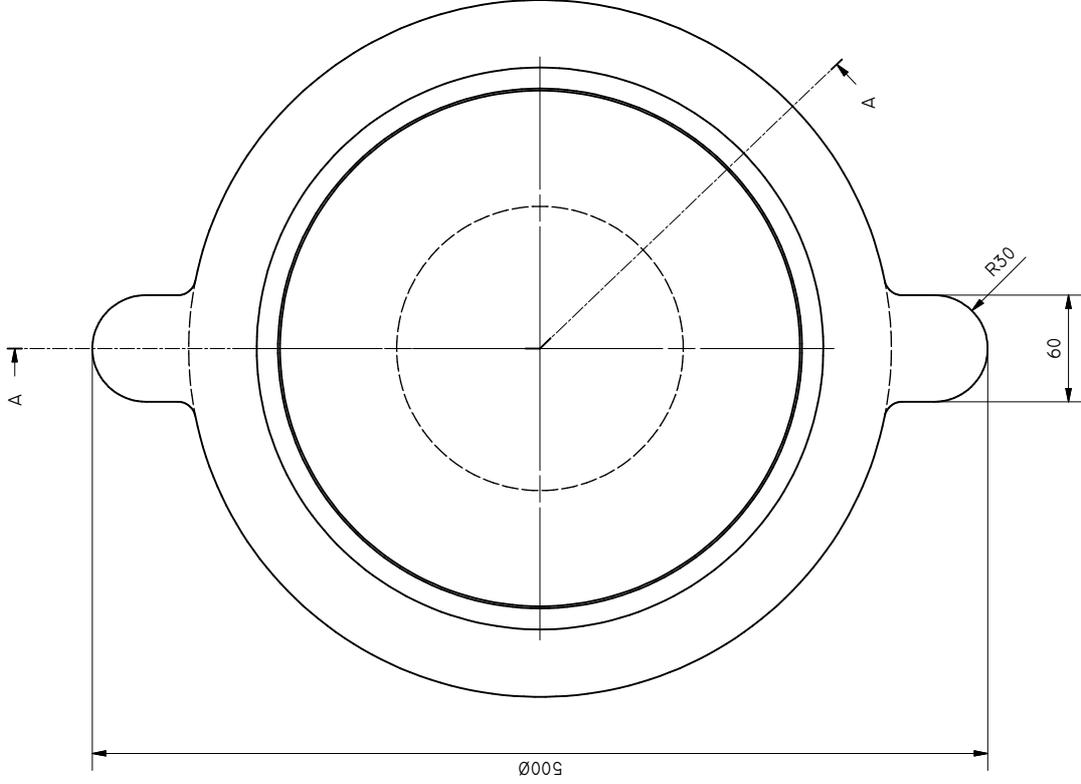
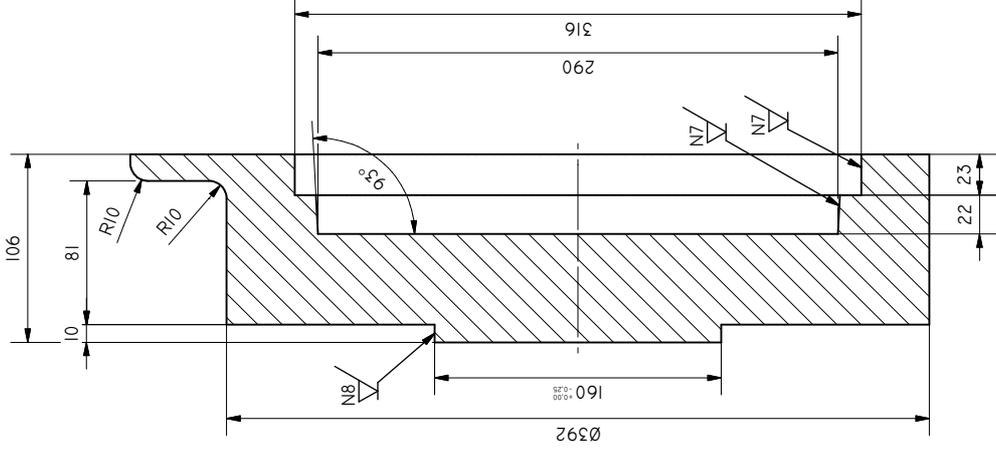
CORTE A-A (1 : 2)

N8



TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 1045			±0.1	1:1	REV	ING. P. FLORES
BRIDA EJE PLATO		EPN-FIM-03		FECHA
				12/09/2011

CORTE A-A (1 : 3)



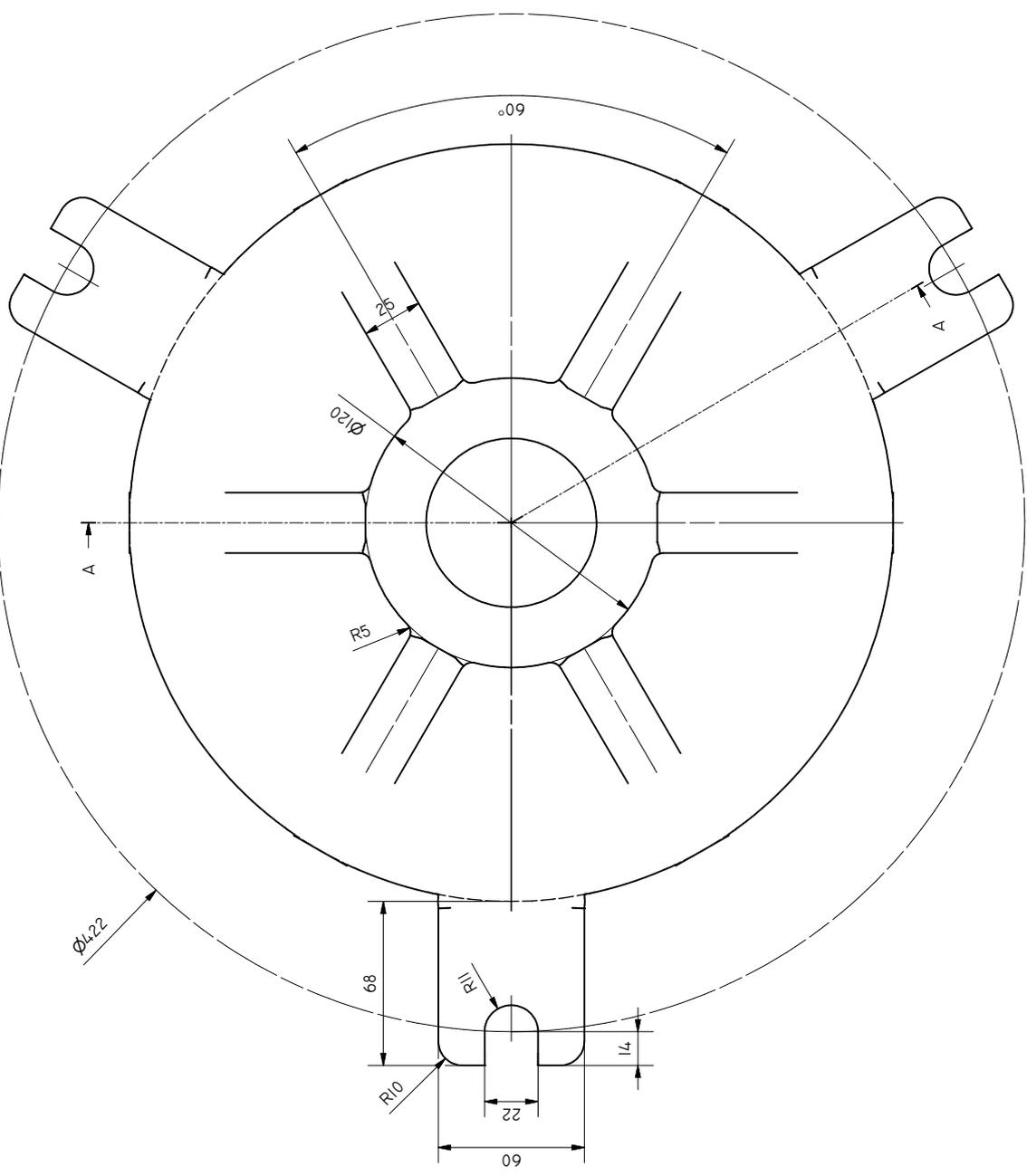
N8

N7

✓

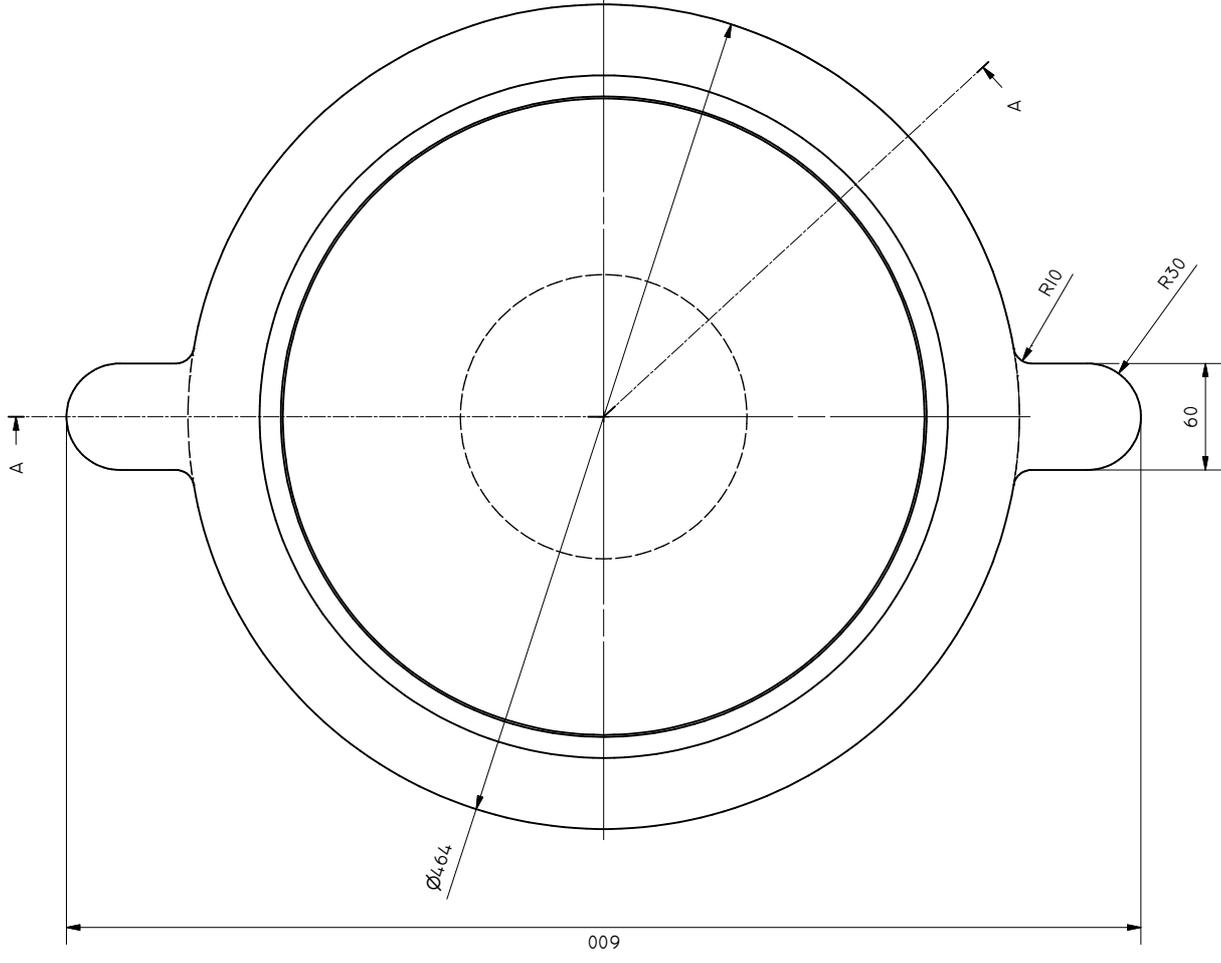
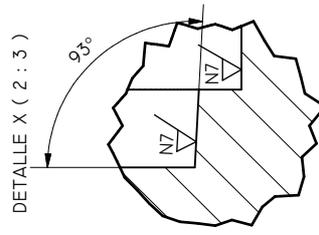
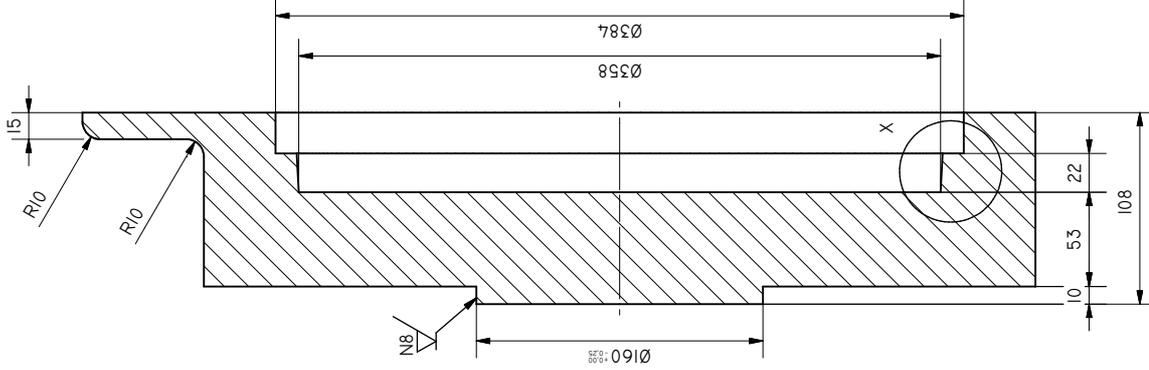
TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNA		
MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB: G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310	±0.5	1:3	DIS: G. LOACHAMIN, C. LUNA
			REV: ING. P. FLORES
BASE COQ. 6 PLG.		EPN-FIM-04	
		FECHA	
		12/09/2011	

N8

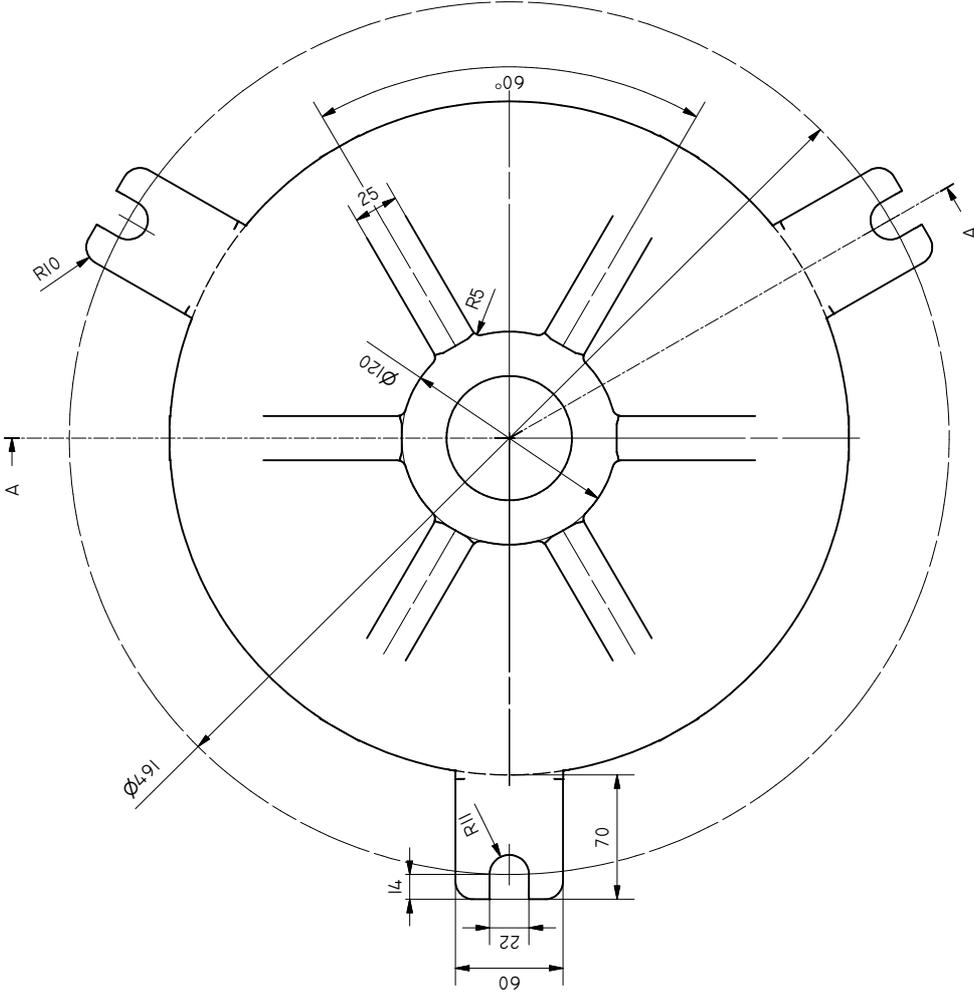


TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB. G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS. G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310	±0.1	1:2	REV. ING. P. FLORES
TAPA COQ. 6 PLG.		EPN-FIM-05	
		FECHA	
		12/09/2011	

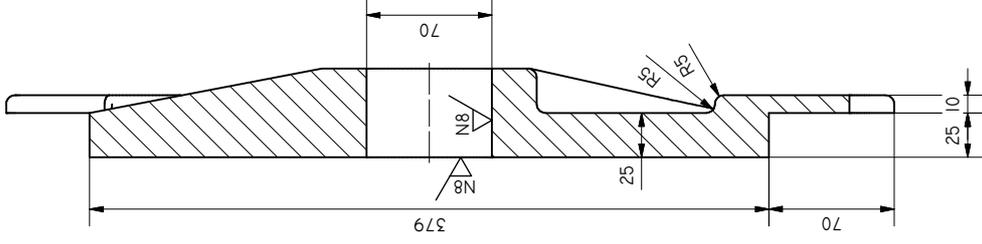
CORTE A-A (1:3)



TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIB. G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310	± 0.5	1:3	DIS. G. LOACHAMIN, C. LUNA
			REV. ING. P. FLORES
BASE COQ. DE 8 PLG.			FECHA
			12/09/2011
			EPN-FIM-06



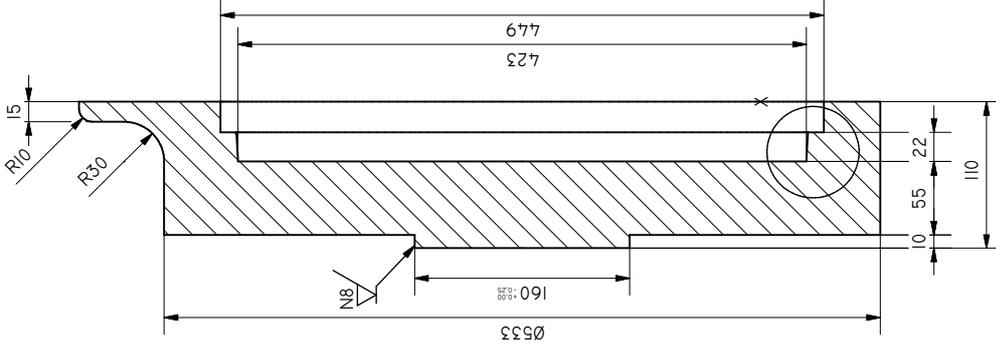
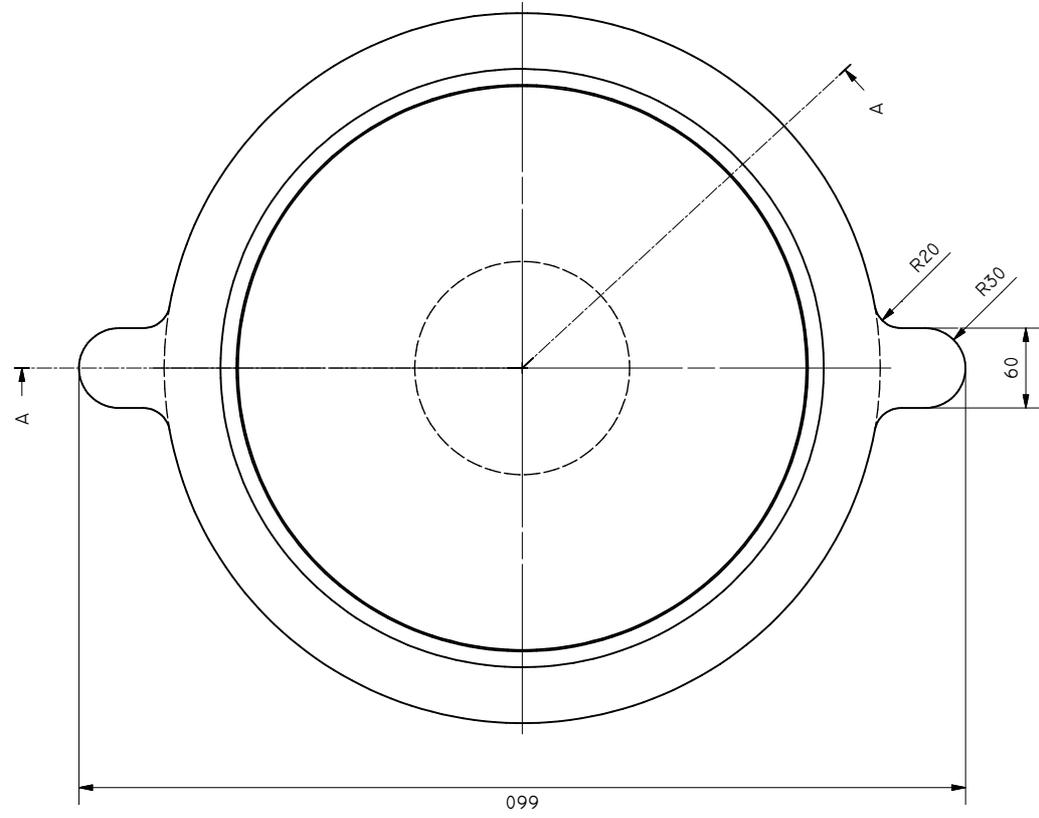
A-A (1:3)



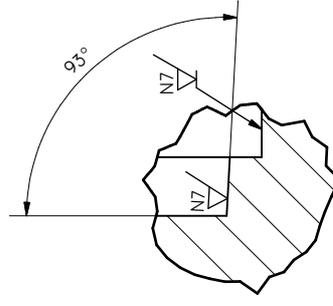
TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIB. G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310	±0.5	1:3	DIS. G. LOACHAMIN, C. LUNA
			REV. ING. P. FLORES
TAPA. CPQ. 8 PLG.		EPN-FIM-07	
		FECHA	
		12/09/2011	

N8 / N7

CORTE A-A (1:4)

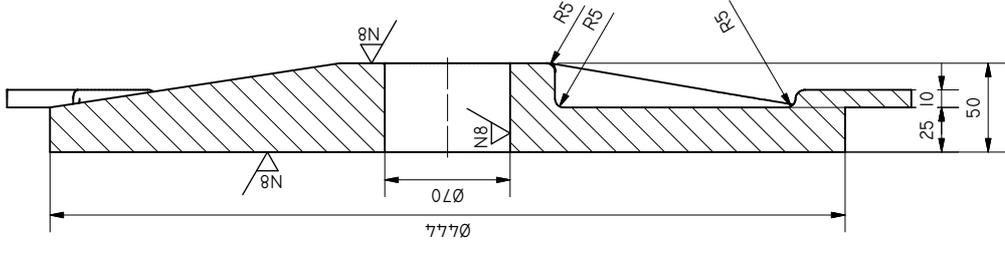
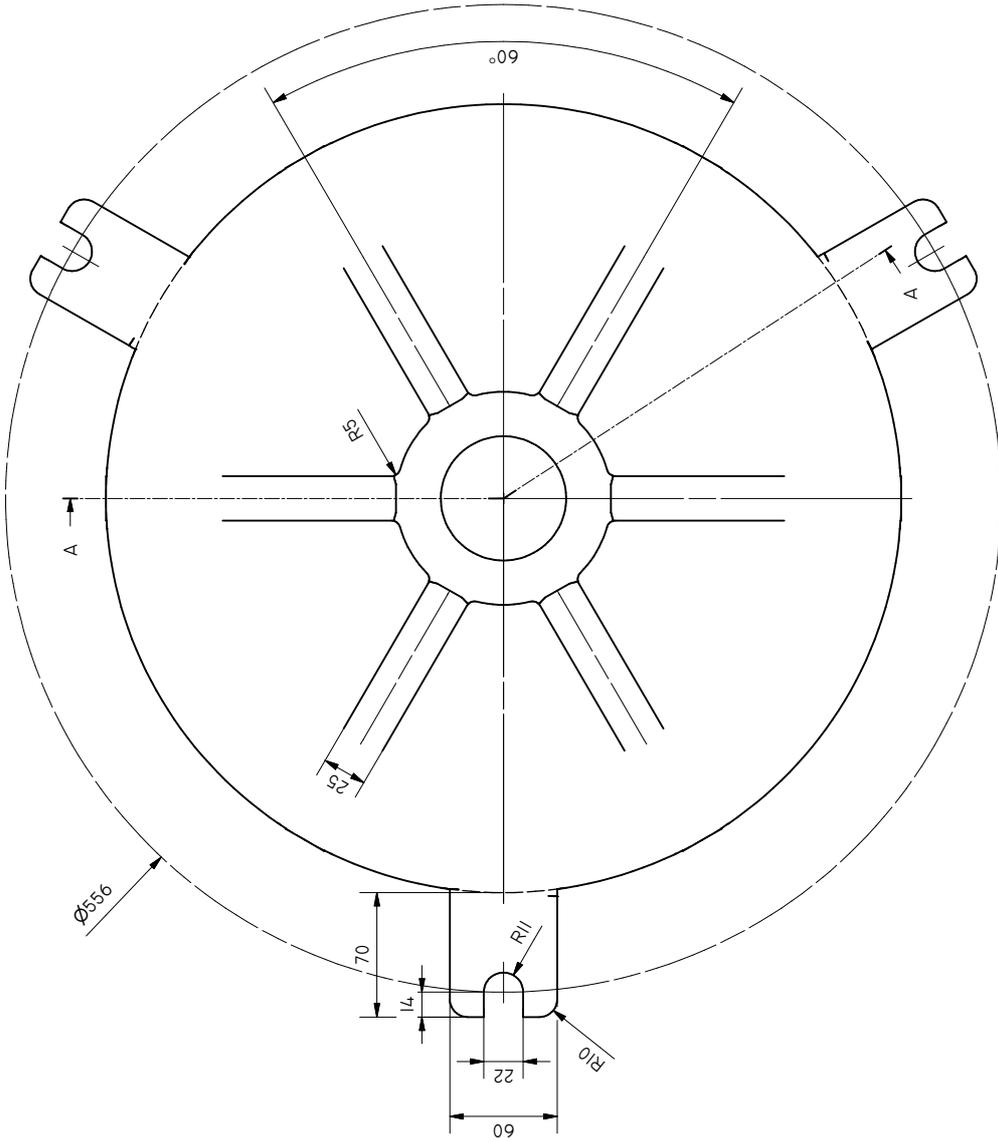


DETALLE X (1 : 2)



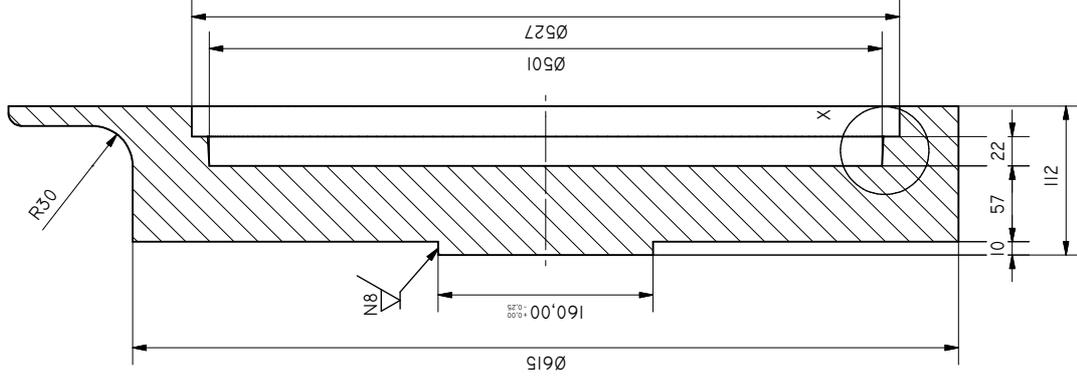
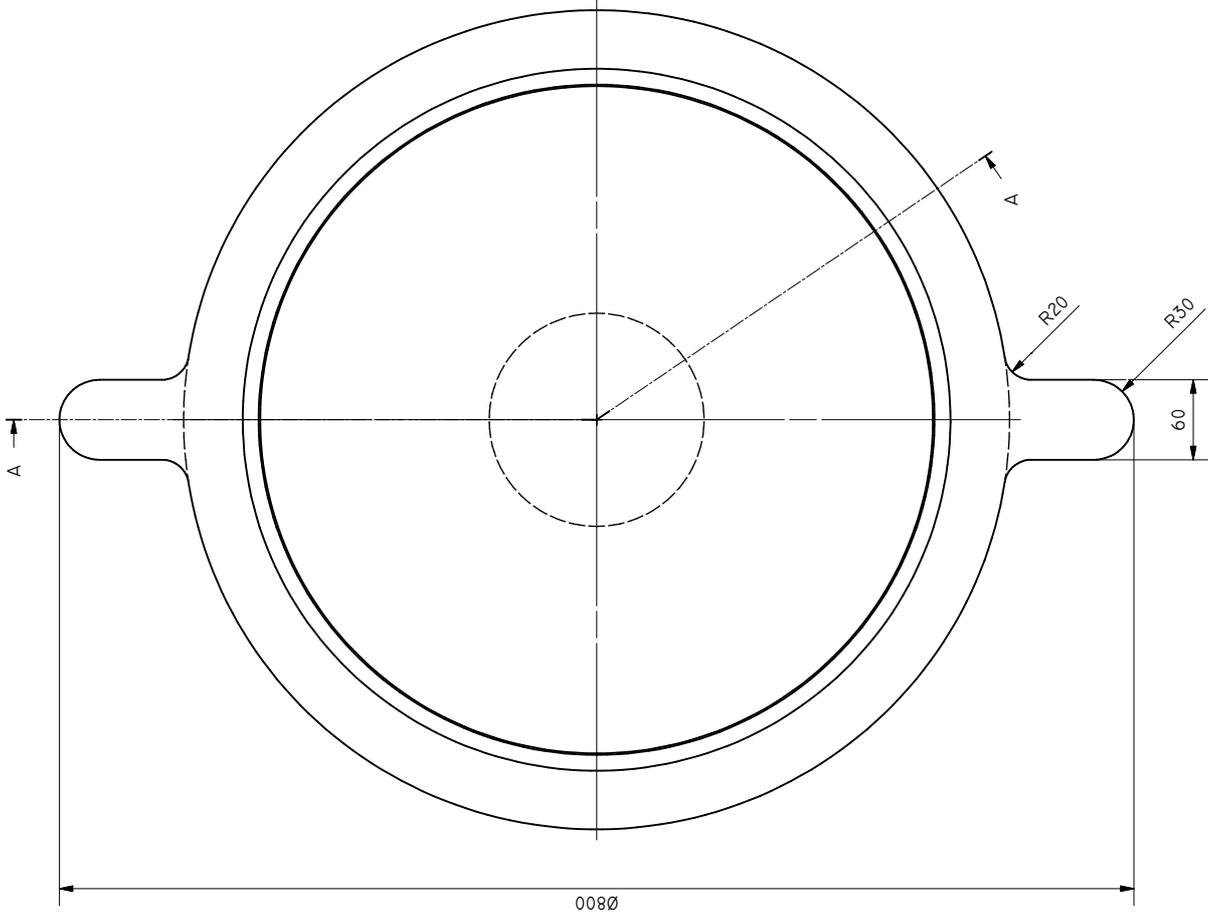
TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIB. G. LOACHAMIN, C. LUNA	
AISI 310	±0.5	1:4	REV	ING. P. FLORES
BASE COQ. DE 10 PLG		EPN-FIM-08		FECHA
				12/09/2011

CORTE A-A (1:3)

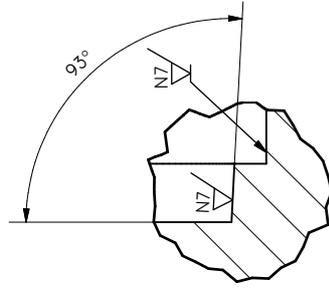


TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB: G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS: G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310	±0.5	1:3	REV: ING. P. FLORES
TAPA. COQ. 10 PLG.		EPN-FIM-09	
		FECHA	
		12/09/2011	

CORTE A-A (1:4)

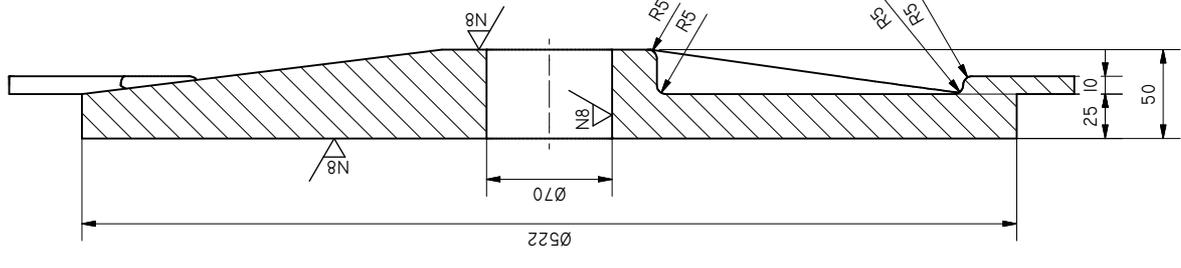
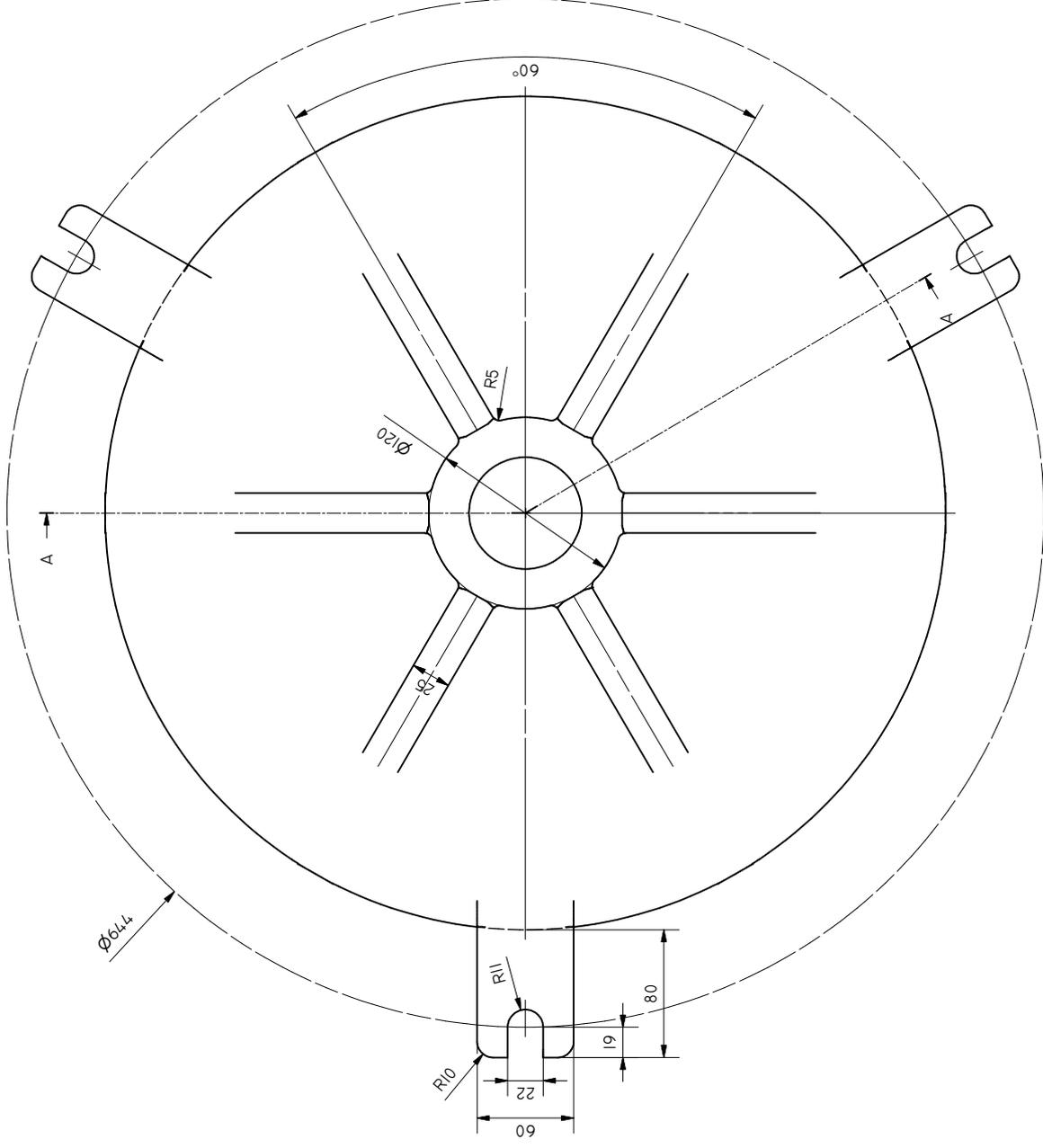
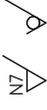


DETALLE X (1 : 2)

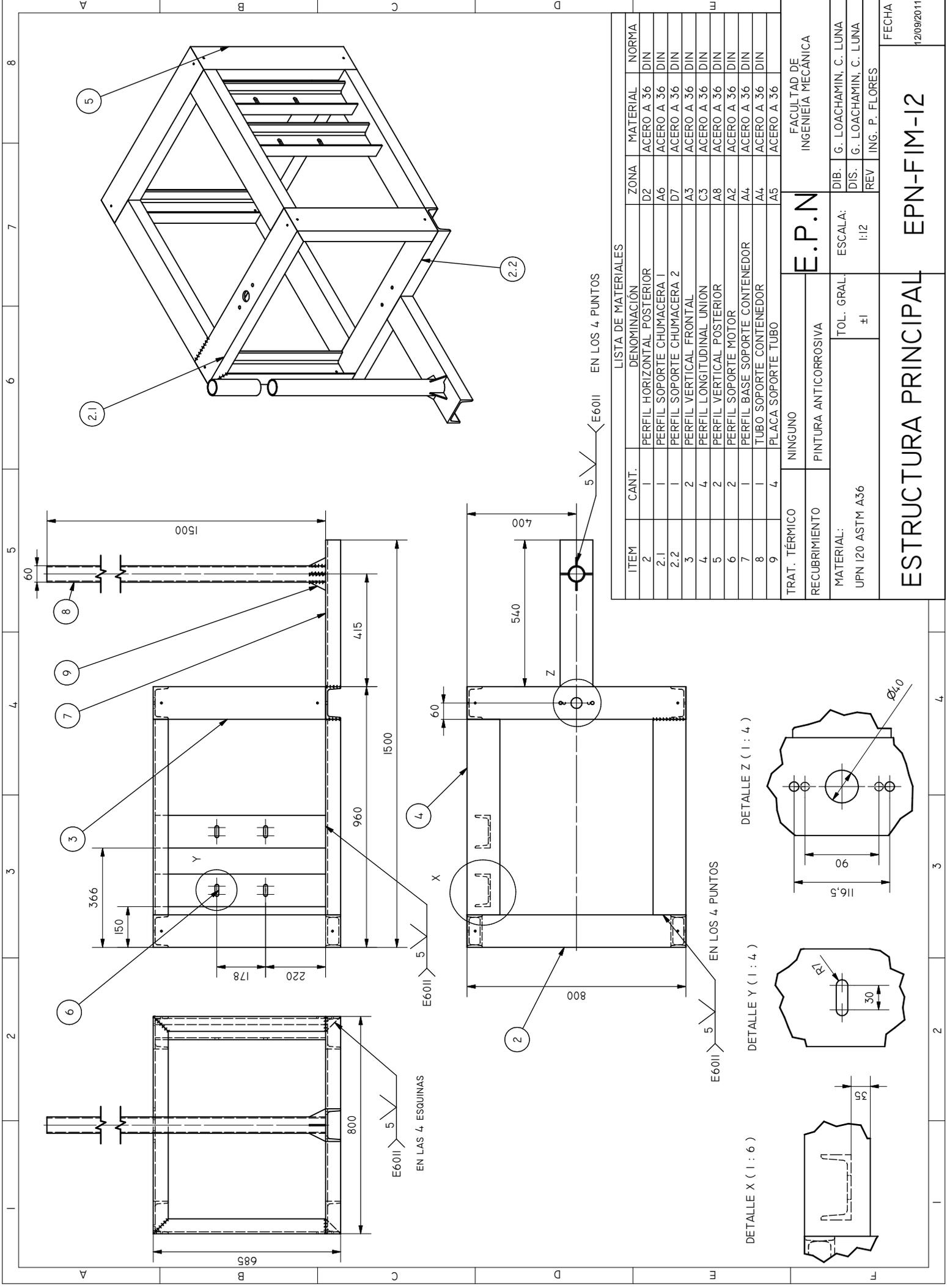


TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB.	G. LOACHAMIN, C. LUNA	
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS. G. LOACHAMIN, C. LUNA		
AISI 310	±0.5	1:4	REV	ING. P. FLORES	
BASE COQ. 12 PLG.		EPN-FIM-10		FECHA	
				12/09/2011	

CORTE A-A (1:3)



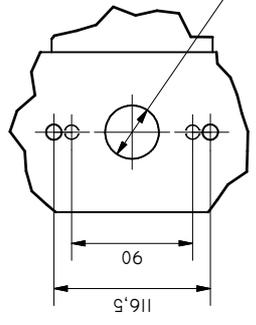
TRAT. TÉRMICO	RECOCIDO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		
MATERIAL:	TOL. GRAL:	DIB:	G. LOACHAMIN, C. LUNA
AISI 310	±0.5	DIS:	G. LOACHAMIN, C. LUNA
		REV:	ING. P. FLORES
TAPA COQ. I2 PLG		EPN-FIM-II	
		FECHA	
		12/09/2011	



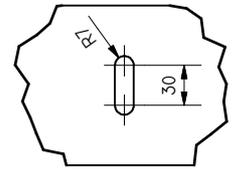
LISTA DE MATERIALES			
ITEM	CANT.	DENOMINACIÓN	NORMA
2	1	PERFIL HORIZONTAL POSTERIOR	ACERO A 36 DIN
2.1	1	PERFIL SOPORTE CHUMACERA 1	ACERO A 36 DIN
2.2	1	PERFIL SOPORTE CHUMACERA 2	ACERO A 36 DIN
3	2	PERFIL VERTICAL FRONTAL	ACERO A 36 DIN
4	4	PERFIL LONGITUDINAL UNION	ACERO A 36 DIN
5	2	PERFIL VERTICAL POSTERIOR	ACERO A 36 DIN
6	2	PERFIL SOPORTE MOTOR	ACERO A 36 DIN
7	1	PERFIL BASE SOPORTE CONTENEDOR	ACERO A 36 DIN
8	1	TUBO SOPORTE CONTENEDOR	ACERO A 36 DIN
9	4	PLACA SOPORTE TUBO	ACERO A 36 DIN

TRAT. TÉRMICO		NINGUNO	
RECURRIMIENTO		PINTURA ANTICORROSIVA	
MATERIAL:		TOL. GRAL. ±1	
UPN 120 ASTM A36		ESCALA: 1:12	
DIB. G. LOACHAMIN, C. LUNA		REV. ING. P. FLORES	
DIS. G. LOACHAMIN, C. LUNA		INGENIERIA MECANICA	
E.P.N		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
ESTRUCTURA PRINCIPAL		EPN-FIM-12	
FECHA		12/09/2011	

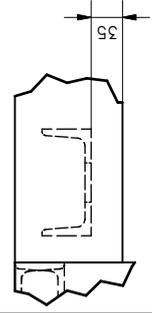
DETALLE Z (1:4)



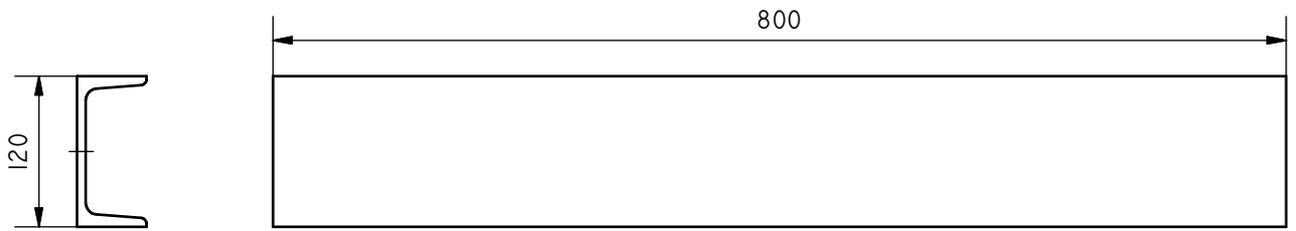
DETALLE Y (1:4)



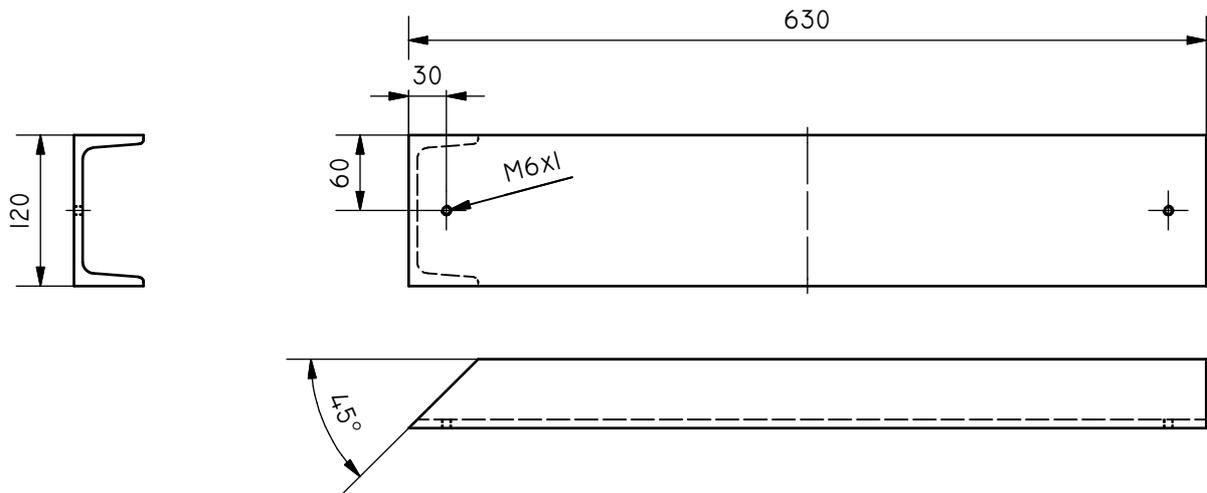
DETALLE X (1:6)



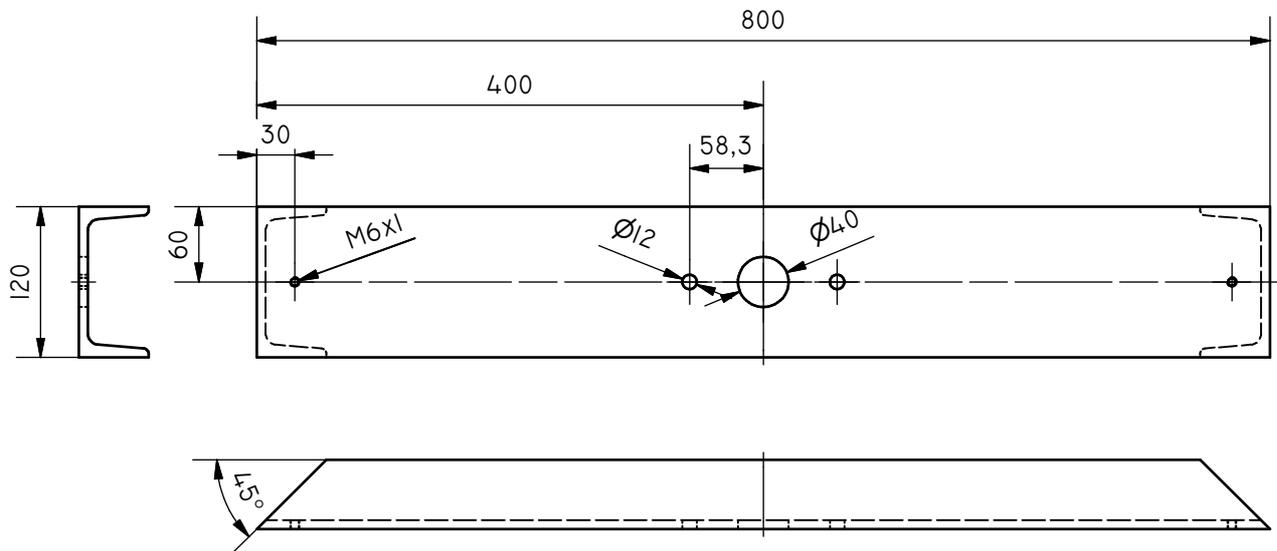
PERFIL HORIZONTAL POSTERIOR



PERFIL VERTICAL FRONTAL

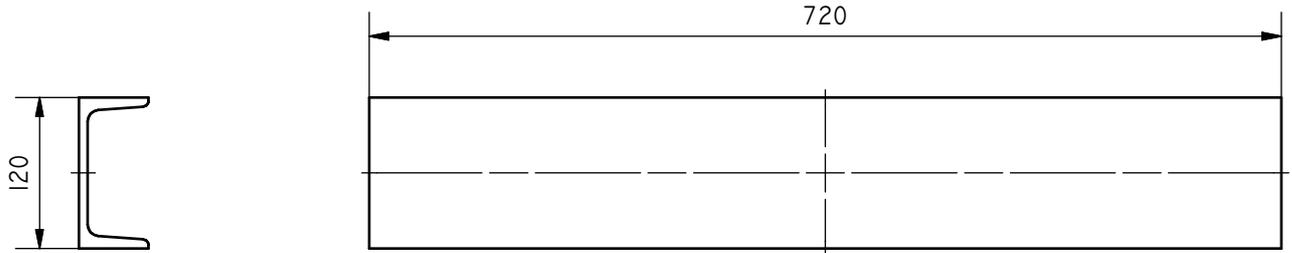


PERFIL SOPORTE CHUMACERA I

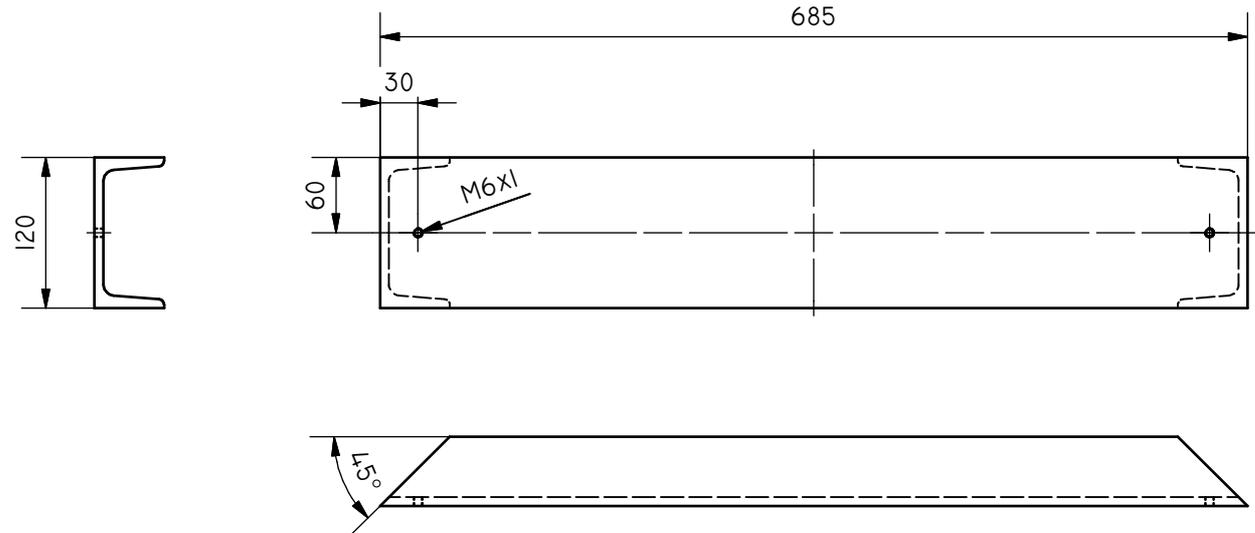


TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO	PINTURA		DIB.	G. LOACHAMIN; C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS.	G. LOACHAMIN; C. LUNA
PERFIL UPN ACERO A36	+/- IMM	1:6	REV	ING. P. FLORES
PER. ESTR. PRINCIPAL		EPN-FIM-12.1		FECHA 12/09/2011

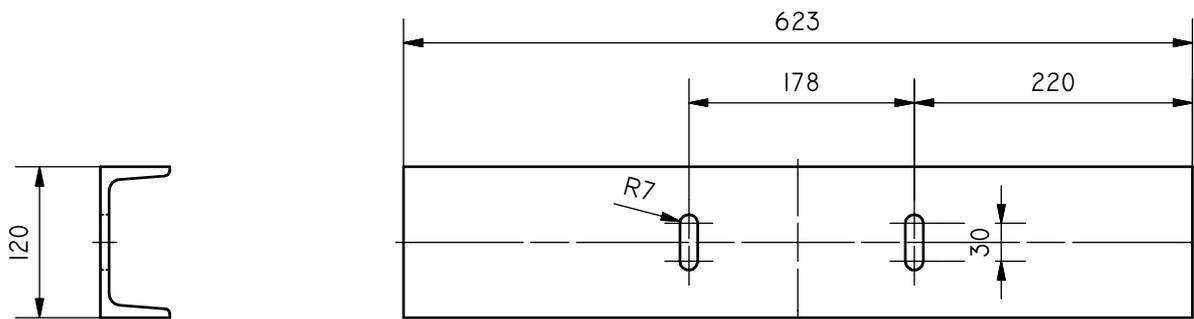
PERFIL LONGITUDINAL UNIÓN



PERFIL VERTICAL POSTERIOR

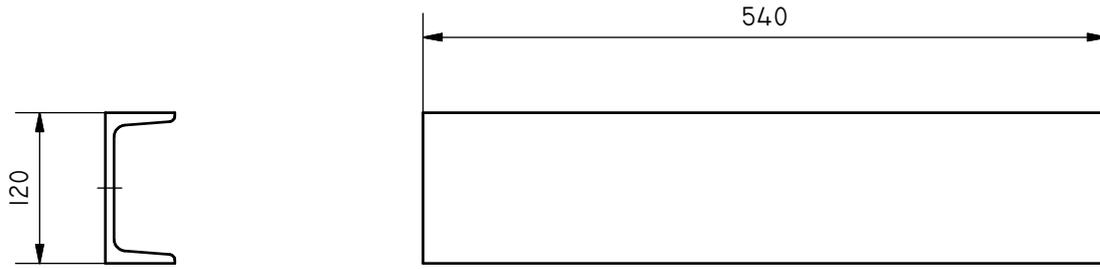


PERFIL SOPORTE MOTOR

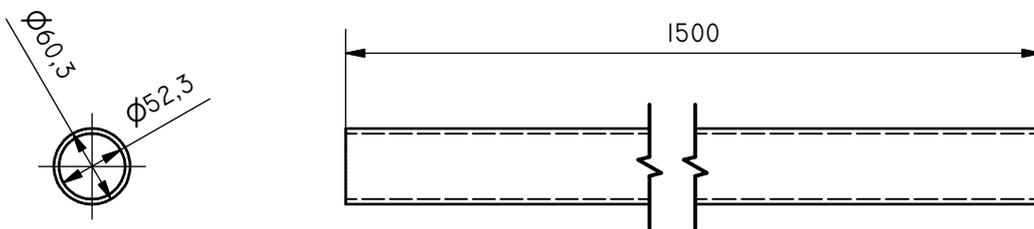


TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO	PINTURA		DIB.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
PERFIL UPN ACERO A 36	+/- IMM	1:6	REV	ING. P. FLORES
PER. EST. PRINCIPAL		EPN-FIM-12.2		FECHA 12/09/2011

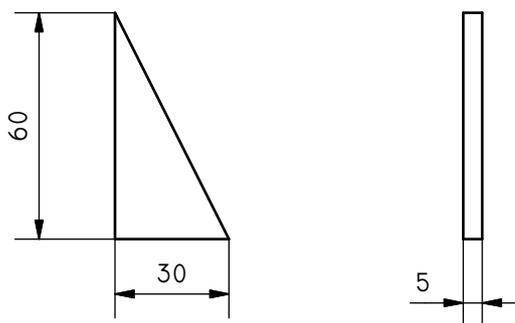
PERFIL BASE SOPORTE CONTENEDOR



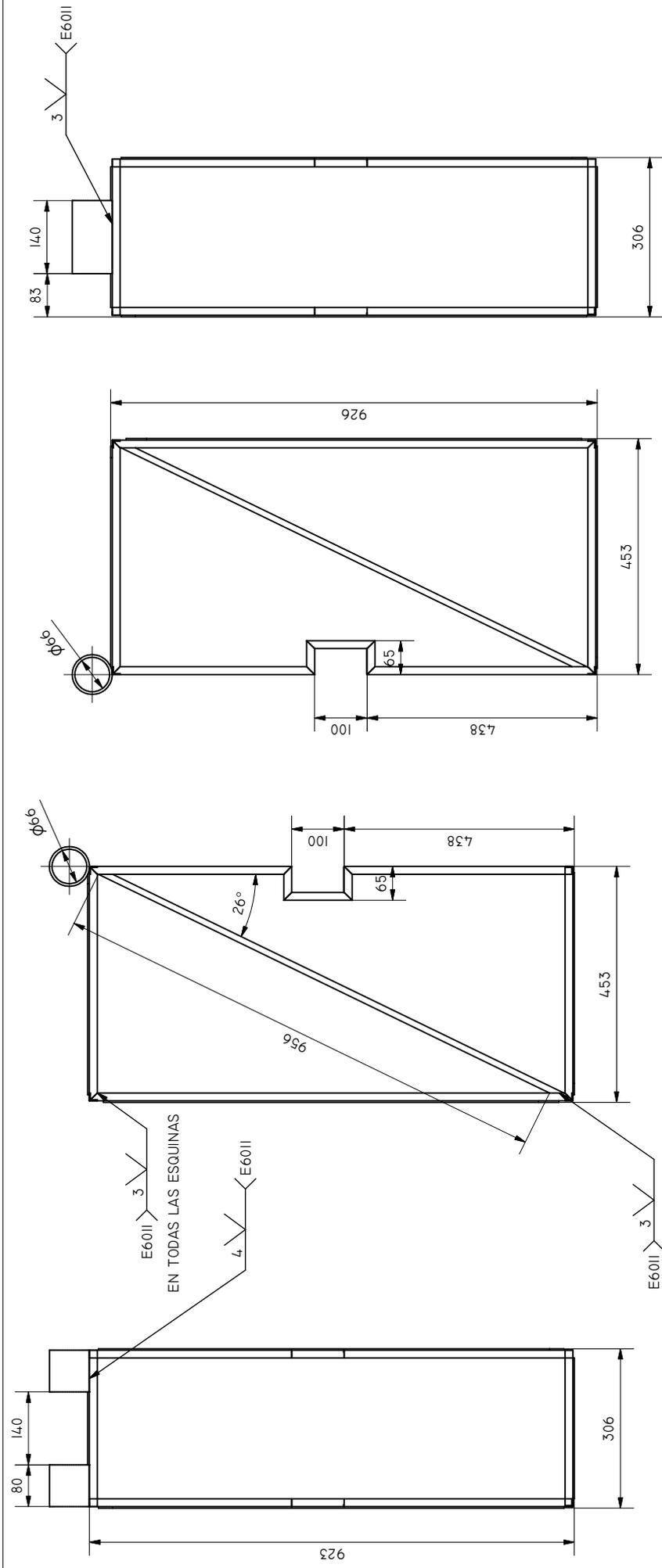
TUBO SOPORTE CONTENEDOR



PLACA SOPORTE TUBO

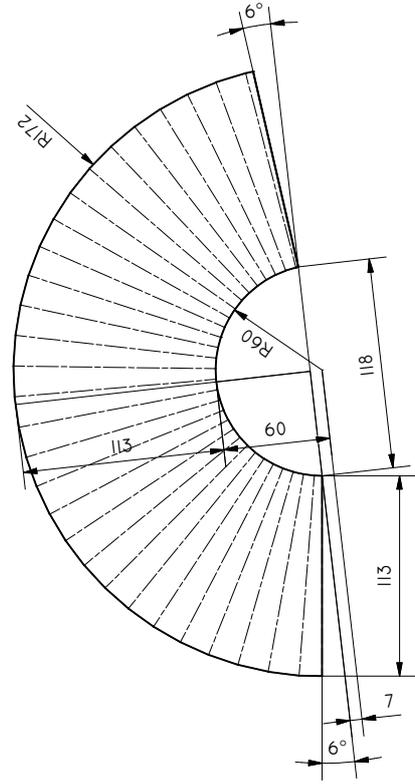
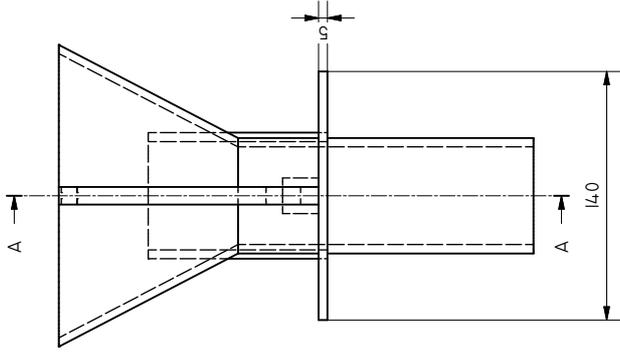
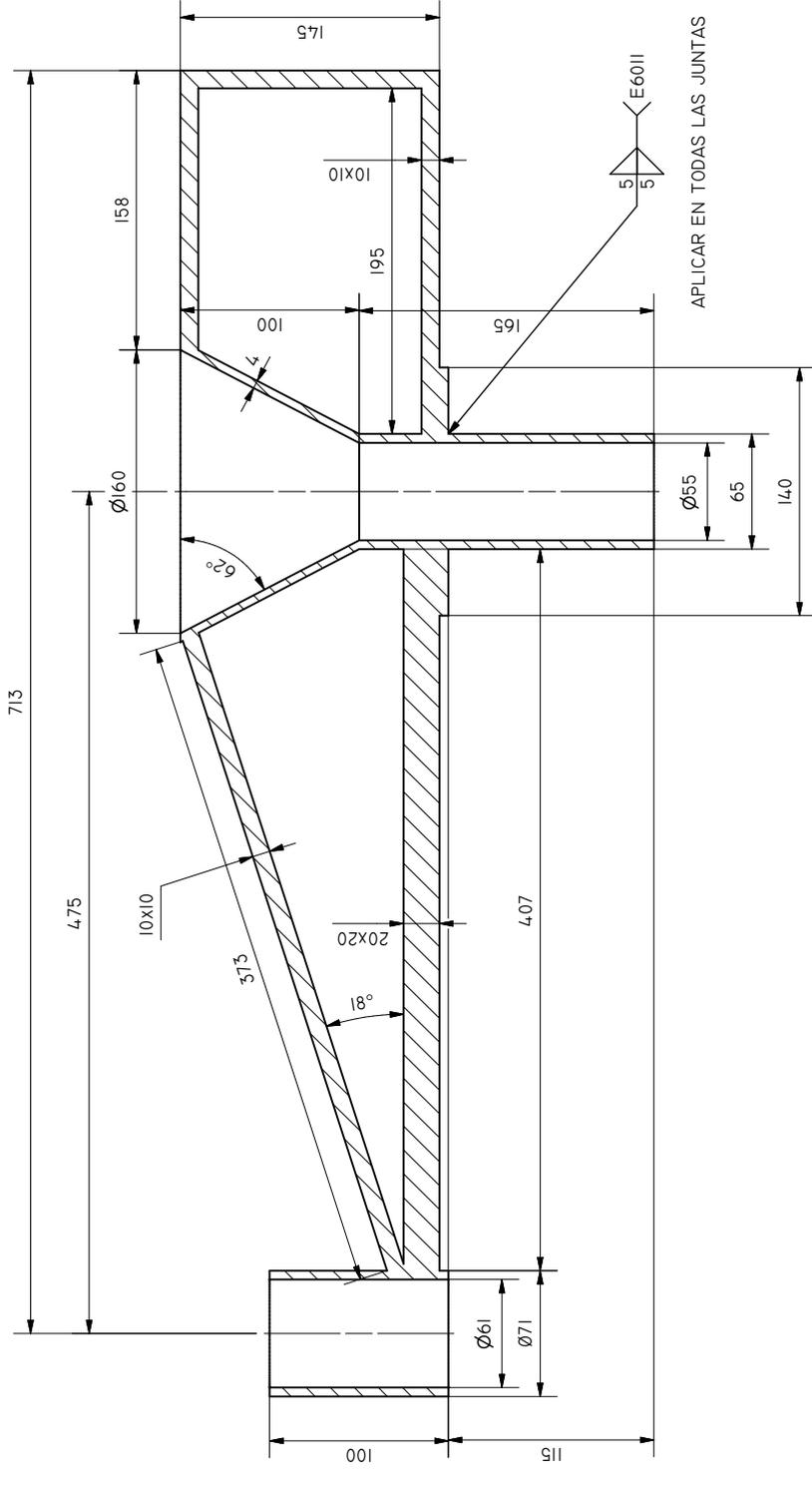


TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO	PINTURA		DIB.	G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS.	G. LOACHAMÍN, C. LUNA
PERFIL UPN ACERO A36	+/-IMM	1:6	REV	ING. P. FLORES
PER. EST. PRINCIPAL		EPN-FIM-12.3		FECHA 12/09/2011

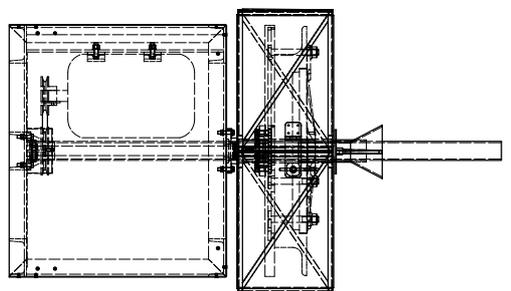
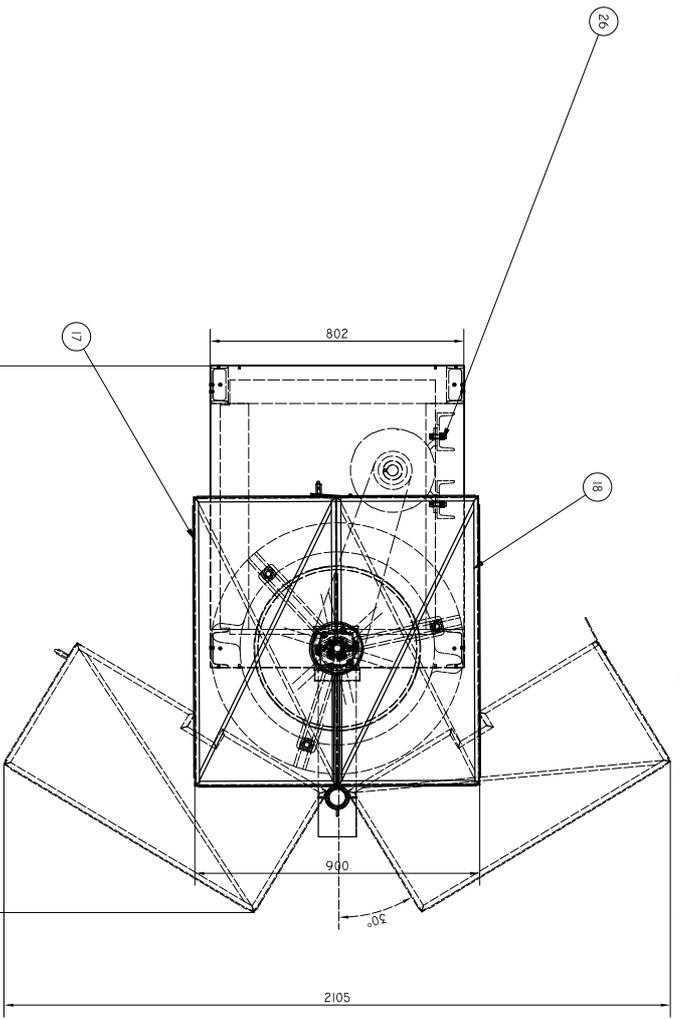
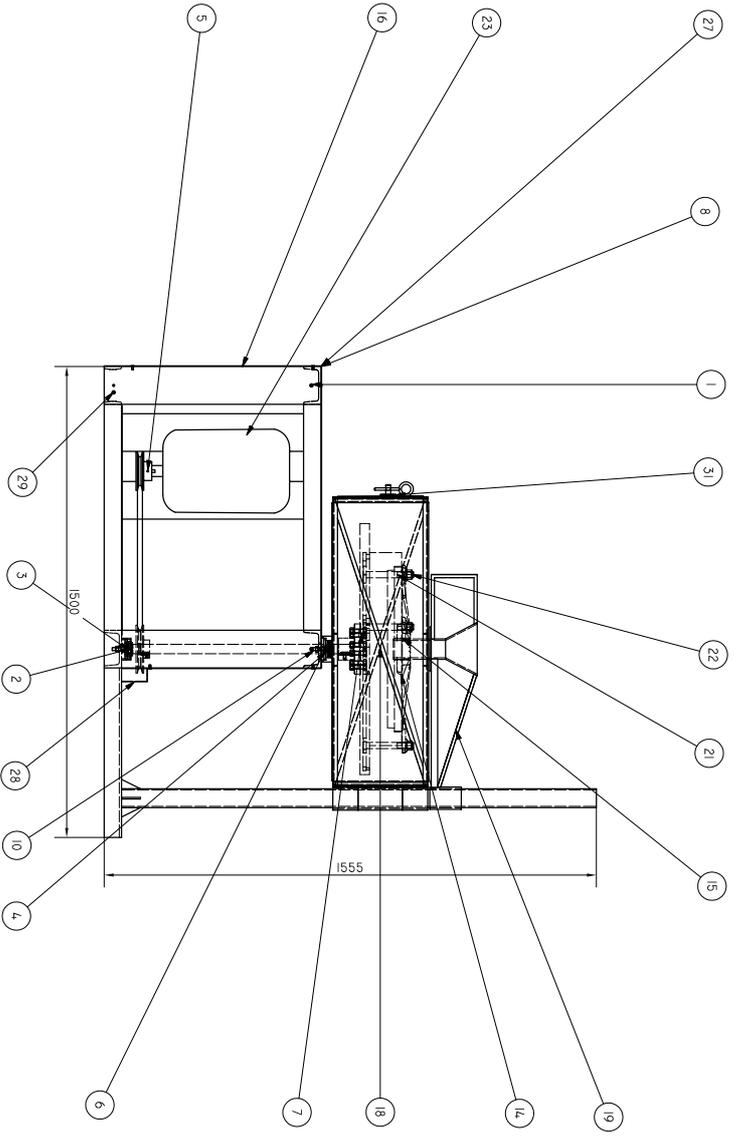


TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO	PINTURA ANTICORROSIVA		DIB: G. LOACHAMIN, C. LUNA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS: G. LOACHAMIN, C. LUNA
PERFIL L 15X15MM ASTM A 36	±1	1:8	REV: ING. P. FLORES
ESTR. CONTENEDOR		EPN-FIM-13	
		FECHA	
		12/09/2011	

CORTE A-A (1:3)



TRAT. TÉRMICO	NINGUNO	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
RECUBRIMIENTO	NINGUNO		DIB: G. LOACHAMIN, C. LUNA	INGENIERIA MECANICA
MATERIAL:	TOL. GRAL.	ESCALA:	DIS: G. LOACHAMIN, C. LUNA	REV
AISI 304	±0.5	1:3	ING. P. FLORES	ING. P. FLORES
EMBUDO		EPN-FIM-14		FECHA
				12/09/2011



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:
 DIMENSIONES GENERALES (L-A-A)=1500X902X1555 MM
 CAPACIDAD DE COLADO= 25 KG
 VELOCIDAD MÁX. CENTRIFUGA 950 RPM
 DISEÑO Y MANEJO DE BRIDAS: 12 P.L.G.
 VOLTAJE: 220 V
 AMPERAJE: 20 A
 POTENCIA: 5 HP

LISTA DE MATERIALES

ITEM	CANT.	DENOMINACION	ZONA	MATERIAL	NORMA
1	1	ESTRUCTURA PRINCIPAL	A2	ACERO	A36
2	1	CHUMACERA 2	D3	HIERRO GRIS	ASTM
3	1	RODAMIENTO ANSI/AEBMA J2FD02549	D3	ACERO	ANSI
4	1	CHUMACERAS	D5	HIERRO GRIS	ASTM
5	1	MOTOR Y FOLEA	CI	ACERO	ANSI
6	1	RODAMIENTO I80106 GOST 8882-75	C5	ACERO	ANSI 304
7	1	PLATO EJE Y BRIDA	B5	ACERO	ANSI 304
8	1	ISO 7089 - 10 - 1L0 HV	ACERO	ACERO INOX	ISO
9	2	ISO 8765 - M10 X 1,25 X 4,5	ACERO INOX	ACERO INOX	ISO
10	2	ISO 8673 - M10X1,25	ACERO INOX	ACERO INOX	ISO
11	2	ISO 4014 - M10 X 4,5	ACERO INOX	ACERO INOX	ISO
12	2	ISO 4033 - M10	ACERO INOX	ACERO INOX	ISO
13	2	GOOLLA BRIDA INTERCAMBIABLE	A4	ACERO INOX	ANSI 310
14	1	TAPA GOOLLA	BI	ACERO INOX	ANSI 310
15	2	TAPA LATERAL ESTRUCTURA	BI	ACERO INOX	ANSI 304
16	1	CONTENEDOR GOOLLA PARTE 1	BS	ACERO	ANSI
17	1	CONTENEDOR GOOLLA PARTE 2	BS	ACERO	ANSI
18	1	PANEL INTERIOR ESTRUCTURA	BS	ACERO INOX	ANSI 304
19	1	PANEL EXTERIOR ESTRUCTURA	BS	ACERO INOX	ANSI 304
20	1	TORNILLO DE SURECION TAPA BRIDA	BS	ACERO INOX	ANSI 304
21	3	DIN EN 1661 - M20	BS	ACERO	DIN
22	3	ANSI B18.2.3.4M - M12 X 1,75X40	BS	ACERO	DIN
23	4	AS 1237 - 12 MM	BI	ACERO	AS
24	4	AS 1968 - 1976 - 12	AS	ACERO	AS
25	4	AS 1112 - M12 TYPE 5	AS	ACERO	AS
26	1	TAPA FRONTAL ESTRUCTURA	A1	ACERO INOX	ANSI 304
27	1	TAPA POSTERIOR ESTRUCTURA	D3	ACERO INOX	ANSI 304
28	1	AS 1427 - M6 X 12	D3	ACERO	AS
29	20	VISAGRA	A3	ACERO	ANSI 304
30	1	NINGUNO			
31	1	PINTURA			

RECUBRIMIENTO: NINGUNO
 PINTURA: E.P.N
 FACILITAD DE INGENIERIA MECANICA

MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB.
ESPECIFICADOS	±1 MM	1:12	G. LOACHAMIN C. LUNAL
			REV. ING. P. FLORES

MAQ. COL. CENTRIFUGO EPN-FIM-15
 FECHA: 20/09/2011