



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR CON UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

AUTORES:

Flavio Eduardo Chiluiza Chicaiza

Stalin Wladimir Saquinga Chicaiza

TUTOR: Ing. Francisco Peña Mg.

AMBATO – ECUADOR

2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR CON UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, elaborado por los señores Flavio Eduardo Chiluza Chicaiza y Stalin Wladimir Saquina Chicaiza egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato,

CERTIFICO:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Está concluida en su totalidad.
- Reúne los requerimientos suficientes para que continúe con los trámites para la obtención del Título de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, septiembre de 2019


Ing. Francisco Peña Mg.

AUTORÍA DE TRABAJO

Exponemos que el contenido del actual proyecto técnico “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR CON UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” de las misma forma exponemos que la autenticidad de las ideas, procesos, opiniones, resultados y conclusiones son de nuestra responsabilidad en calidad de autores del proyecto a excepción de las citas, tablas y figuras bibliográficas.

Ambato, septiembre de 2019.



.....
Flavio Eduardo Chiluiza Chicaiza.

C.I.:1805532312

Autor del Proyecto Técnico.



.....
Stalin Wladimir Saquina Chicaiza.

C.I.:1804865309

Autor del Proyecto Técnico.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte del como un documento aprovechable para la lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución. Cedemos los derechos en línea patrimonial de nuestro Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además, aprobamos la reproducción de este Proyecto Técnico dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato, esperando que esta reproducción no contenga una ganancia en fines de lucro y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, septiembre de 2019



.....
Flavio Eduardo Chiluiza Chicaiza.

C.I.:1805532312

Autor del Proyecto Técnico.



.....
Stalin Wladimir Saquina Chicaiza.

C.I.:1804865309

Autor del Proyecto Técnico.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el estudiante Flavio Eduardo Chiluza Chicaiza de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR CON UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

Ambato, septiembre de 2019.

Para constancia firma

Ing. Gonzalo López Mg.

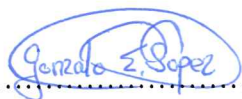
Ing. Oscar Analuiza Mg.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el estudiante Stalin Wladimir Saquina Chicaiza de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR CON UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

Ambato, septiembre de 2019.

Para constancia firma



Ing. Gonzalo López Mg.



Ing. Oscar Analuiza Mg.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico primero a Dios por haberme brindado la fortaleza necesaria y la salud para seguir adelante en mis propósitos, a mis padres Mario e Irma quienes han sido un pilar fundamental en mi camino para forjarme en el logro que estoy percibiendo, quienes con mucho esmero y sacrificio me han sacado a delante con los valores más importantes impartidos, como es el respeto, trabajo y la honestidad; a mi hermana Paulina y mis sobrinas Jeily y Ariana quienes hacen de mi vida una eterna alegría.

A mis abuelitos quienes siempre velaron por mí, aunque tres de ellos no estén conmigo sé que con una gran sonrisa siempre estarán a mi lado guiándome por el camino del bien.

Finalmente, a mis docentes quienes impartieron sus enseñanzas y conocimientos; a mis amigos que siempre con una risa o broma seguimos adelante para lograr el propósito tan anhelado como es el ser un profesional.

Chiluza Chicaiza Flavio Eduardo

DEDICATORIA

El presente Proyecto de titulación se lo dedico principalmente a Dios por muchas bendiciones recibidas y sobre todo por darme una gran familia, que me ha permitido superar obstáculos en mi vida.

A mis padres Raúl y Rosa por ser mis pilares fundamentales y ejemplos de superación, quienes, con su apoyo, amor, y sus sabios consejos me han permitido crecer como persona y poder alcanzar esta meta anhelada.

A mis hermanos Silvia, Vinicio, Klever, Diego por su apoyo incondicional en todo momento, sus consejos y por demostrarme que con el valor del sacrificio y esfuerzo se puede conseguir lo que uno se proponga.

También una dedicación especial a mi cuñado Hugo por sus consejos de vida, apoyo en todo momento y por ser parte fundamental para la realización de este proyecto.

A mis sobrinos Anthony, Ismael, Ailyn y Sofía que con sus locuras y travesuras me supieron alegrarme días muy complicados

Saquina Chicaiza Stalin Wladimir

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a Dios por permitir cumplir mi sueño y bendecirme dándome una familia maravillosa con quienes hemos vivido experiencias inolvidables para toda la vida.

A Tecni máquinas Lalaleo la cual nos ayudó con el proceso de fabricación de piezas y elementos para el desarrollo del presente proyecto de titulación.

Al señor Hugo Sambonino quien con sus habilidades y destrezas colaboro de forma inmediata con el funcionamiento del equipo.

A todas las personas que de una u otra manera se han preocupado por la formación de mi vida profesional quienes fueron fundamentales para la culminación del proyecto técnico de titulación.

Chiluiza Chicaiza Flavio Eduardo

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica de Ambato por abrirme las puertas y permitirme formar parte de esta prestigiosa Institución.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos y valiosos consejos.

Al Ingeniero Mg. Francisco Peña por su tiempo, Guía y Apoyo para el desarrollo de este proyecto.

A todas las personas que fueron parte importante en mi vida y me ayudaron a formarme como persona y como profesional.

Saquina Chicaiza Stalin Wladimir

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE TRABAJO	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xx
RESUMEN EJECUTIVO	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2 Objetivos:	2
1.2.3 Objetivo General:	2
1.2.4 Objetivos Específicos:	2
1.3 Fundamentación Teórica	3
1.3.1 Aleaciones mecánicas.....	3
1.3.2 Principales etapas de la aleación mecánica	3
1.3.2.1 Inicial.....	3
1.3.2.2 Predominio de soldadura	4
1.3.2.3 Formación de partículas equiaxiales	4
1.3.2.4 Soldadura con orientación marcadamente desordenada.....	4
1.3.2.5 Final o afino de la estructura	4
1.3.3 Materias primas	5
1.3.4 Pulvimetalurgia	6
1.3.5 Molienda.....	6
1.3.6 Proceso de molienda.....	7
1.3.7 Variables del proceso	8
1.3.7.1 Tipos de molinos	8
1.3.7.2 Velocidad de molienda.....	12
1.3.7.3 Velocidad critica.....	13
1.3.7.4 Tiempo de molienda.....	13

1.3.7.5	Relación de peso bola a polvo	14
1.3.7.6	Extensión de llenado del contenedor	14
1.3.7.7	Grado de llenado	14
1.3.7.8	Atmosfera de molienda	14
1.3.7.9	Agentes de control de procesos	15
1.3.7.10	Temperatura para molienda	15
1.3.7.11	Contaminación en la molienda	15
1.3.8	Efecto de la humedad	16
1.3.9	Estructura Funcional.....	17
1.3.9.1	Requerimientos funcionales y especificaciones de diseño.....	17
1.3.9.2	Partes de un Molino Attritor.....	17
1.3.9.3	Sistemas de un Molino Attritor	18
1.3.9.4	Funcionamiento del molino de bolas de tipo Attritor.....	19
1.3.9.5	Requerimientos Funcionales	20
1.3.9.6	Especificaciones de diseño	20
1.3.10	Diagrama de procesos para la obtención de polvos aleados.....	21
1.3.11	Procesos que utilizan los polvos aleados.....	21
1.3.12	Proceso de conformado	22
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA		24
2.1	Materiales.....	24
2.1.1	Determinación de partes y elementos del prototipo.....	24
2.1.2	Funcionamiento.....	27
2.2	Caracterización del acero inoxidable	28
2.3	Métodos.....	29
2.3.1	Método Científico	29
2.3.3	Método Cuantitativo	29
2.3.4	Método bibliográfico	30
2.3.5	Método experimental	30
2.4	Metodología del proceso de fabricación del molino de atrición.....	30
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN		33
3.1	Selección de Alternativas.....	33
3.1.1	Sistema de Transmisión de Potencia.....	33
3.1.1.1	Alternativa A: Acople flexible de arrastre	33
3.1.1.2	Alternativa B: Bandas	35

3.1.1.3	Alternativa C: Engranés	36
3.1.2	Sistema de Molienda.....	37
3.1.2.1	Alternativa A: Agitador de discos.....	37
3.1.2.2	Alternativa B: Agitador de brazos	38
3.1.2.3	Alternativa C: Agitador de hélice	40
3.1.3	Selección de Alternativas en el Sistema de Desplazamiento del Contenedor	41
3.1.3.1	Alternativa 1: Desplazamiento del Contenedor Vertical de dos Ejes guías.	41
3.1.3.2	Alternativa 2: Desplazamiento del Contenedor Manual y Sujeción Tipo prensa	42
3.1.3.3	Alternativa 3: Desplazamiento del Contenedor Horizontal de guías horizontales	44
3.1.4	Selección de Alternativas en el Sistema de Refrigeración.....	45
3.1.4.1	Alternativa 1: Refrigeración por recirculación Líquida.....	45
3.1.4.2	Alternativa 2: Refrigeración por convección forzada de aire	46
3.1.4.3	Alternativa 3: Refrigeración por intercambiadores de calor.....	47
3.2	Evaluación de las alternativas de solución.....	48
3.2.1	Sistema de transmisión de potencia	48
3.2.2	Sistema de molienda	51
3.2.3	Sistema de Desplazamiento del Contenedor.....	55
3.2.4	Sistema de refrigeración	57
3.2.5	Resumen.....	60
3.2.6	Ensamble de alternativas.....	61
3.3	Cálculos del equipo de molienda	62
3.3.1	Cálculo de masas y volúmenes en el interior del tanque de molienda.....	62
3.3.2	Dimensionamiento del tanque de molienda.....	66
3.3.3	Espesor del recipiente	66
3.3.4	Diámetro del agitador	70
3.3.5	Potencia requerida.....	72
3.3.6	Selección de motor eléctrico	73
3.3.7	Diseño de brazos agitadores.....	74
3.3.7.1	Análisis estático	74
3.3.7.2	Análisis dinámico.....	75
3.3.8	Diseño del eje agitador.....	79
3.3.8.1	Diseño estático	79

3.3.8.2	Diseño dinámico	80
3.3.9	Cálculo de número de pernos para la tapa	84
3.4	Selección de elementos adquiridos	86
3.4.1	Selección de bomba de recirculación.....	86
3.4.2	Selección de rodamientos	87
3.5	Construcción del molino de atrición	90
3.5.1	Requerimientos del taller mecánico.....	90
3.5.2	Construcción de elementos del sistema de desplazamiento y soporte del contenedor.....	95
3.5.2.1	Construcción de la mesa de soporte.....	95
3.5.2.2	Construcción de la base soporte del motor	96
3.5.2.3	Construcción de la porta cámara de refrigeración	97
3.5.3	Construcción de elementos del sistema de Molienda	98
3.5.3.1	Construcción del tanque de molienda.....	98
3.5.3.2	Construcción de la tapa del tanque de molienda.....	99
3.5.3.3	Construcción del eje agitador con sus respectivos brazos agitadores.....	100
3.5.4	Construcción de elementos del sistema de transmisión de potencia.....	101
3.5.4.1	Construcción del acople flexible de arrastre	101
3.5.5	Construcción del sistema de Refrigeración.....	103
3.5.5.1	Construcción de la cámara de refrigeración.....	103
3.5.5.2	Construcción del Tanque Refrigerante	104
3.5.6	Montaje del molino Attritor.....	105
3.5.6.1	Montaje del Sistema de Desplazamiento del Contenedor.....	106
3.5.6.2	Montaje del Sistema de Molienda.....	106
3.5.6.3	Montaje del sistema de Transmisión de Potencia	107
3.5.6.4	Montaje del Sistema de refrigeración	108
3.6	Análisis de costos de fabricación	108
3.6.1	Costos directos	108
3.6.1.1	Costos de materia prima.....	108
3.6.1.2	Costos de elementos adquiridos normalizados	110
3.6.1.3	Costos de procesos de mecanizado y pintura.....	111
3.6.2	Costos indirectos	112
3.6.2.1	Costos de ingeniería.....	112
3.6.2.2	Costos de materiales indirectos.....	112
3.6.3	Costo total de construcción del equipo	113

3.7	Puesta en marcha.....	114
3.8	Pruebas de funcionamiento	114
3.8.1	Pruebas de temperatura	114
3.8.2	Pruebas de reducción de tamaño de las partículas	116
3.8.2.1	Análisis de muestras	118
3.8.3	Prueba de obtención de aleación Cu, Zn ,Pb, Sn	120
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		122
4.1	Conclusiones	122
4.2	Recomendaciones	123
Referencias Bibliográficas		124
Anexos		127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Lista de materiales frágiles y dúctiles.....	6
Tabla 1. 2: Propiedades de las aleaciones.....	7
Tabla 1. 3: Ventajas y desventajas que presenta un molino vibratorio Spex.....	9
Tabla 1. 4: Ventajas y desventajas que presenta un molino de bolas planetario	10
Tabla 1. 5: Ventajas y desventajas que presenta un molino Attritor.....	11
Tabla 1. 6: Comparación para los molinos más usuales dentro del proceso de molienda.....	12
Tabla 1. 7: Comparación entre molienda seca y húmeda.....	16
Tabla 2. 1: Materiales requeridos para el prototipo del sistema de molienda.....	24
Tabla 2. 2: Datos de la composición química del acero inoxidable 304.....	29
Tabla 2. 3: Propiedades físicas que presenta el acero Inoxidable 304.....	29
Tabla 3. 1: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de transmisión de potencia.....	49
Tabla 3. 2: Evaluación de criterios de montaje del sistema.....	50
Tabla 3. 3: Evaluación de criterios de estabilidad del sistema.....	50
Tabla 3. 4: Evaluación de criterios de costo del sistema.....	50
Tabla 3. 5: Evaluación de criterios de fiabilidad del sistema.....	50
Tabla 3. 6: Evaluación de criterios de mantenimiento del sistema.....	50
Tabla 3. 7: Evaluación de criterios de calidad del sistema	51
Tabla 3. 8: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución.....	51
Tabla 3. 9: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de molienda.....	52
Tabla 3. 10: Evaluación de criterios de mantenimiento del sistema.....	53
Tabla 3. 11: Evaluación de criterios de construcción del sistema.....	53
Tabla 3. 12: Evaluación de criterios de costo del sistema.....	53

Tabla 3. 13: Evaluación de criterios de fiabilidad del sistema.....	54
Tabla 3. 14: Evaluación de criterios de calidad del sistema	54
Tabla 3. 15: Evaluación de criterios de aplicabilidad del sistema	54
Tabla 3. 16: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución.	54
Tabla 3. 17: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de desplazamiento del contenedor	55
Tabla 3. 18: Evaluación de criterios de estabilidad del sistema.....	56
Tabla 3. 19: Evaluación de criterios de ergonomía del sistema.....	56
Tabla 3. 20: Evaluación de criterios de construcción del sistema	56
Tabla 3. 21: Evaluación de criterios de costo del sistema.....	56
Tabla 3. 22: Evaluación de criterios de Montaje del sistema.....	57
Tabla 3. 23: Evaluación de criterios de Fiabilidad del sistema.....	57
Tabla 3. 24: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución	57
Tabla 3. 25: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de refrigeración	58
Tabla 3. 26: Evaluación de criterios de Eficiencia del sistema.....	59
Tabla 3. 27: Evaluación de criterios de Mantenibilidad del sistema.....	59
Tabla 3. 28: Evaluación de criterios de Costo del sistema.....	59
Tabla 3. 29: Evaluación de criterios de Construcción del sistema.....	59
Tabla 3. 30: Evaluación de criterios de Montaje del sistema.....	60
Tabla 3. 31: Evaluación de criterios de Fiabilidad del sistema.....	60
Tabla 3. 32: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución	60
Tabla 3. 33: Resumen de la selección de alternativas por sistemas	61
Tabla 3. 34: Cálculo de masas y volúmenes reales ocupados en el tanque de molienda	63

Tabla 3. 35: Comparación de aleaciones en función del volumen real total.....	65
Tabla 3. 36: Cálculo de volumen calculado vs volumen requerido	66
Tabla 3. 37: Cálculo de espesor de tanque de molienda	66
Tabla 3. 38: Cálculo de verificación del espesor en pared.....	67
Tabla 3. 39: Calculo de factor de seguridad con el espesor de 8mm.	68
Tabla 3. 40: Factor de seguridad del tanque de molienda	70
Tabla 3. 41: Cálculo de diámetro de brazo agitador	71
Tabla 3. 42: Cálculo de potencia requerido para el sistema de molienda	72
Tabla 3. 43: Características de motores WEG	73
Tabla 3. 44: Cálculo de dimensionamiento del eje agitador mediante análisis estático	74
Tabla 3. 45: Cálculo de dimensionamiento de eje agitador mediante análisis dinámico.....	76
Tabla 3. 46: Calculo de factor de seguridad actuante en el brazo agitador.....	78
Tabla 3. 47: Diseño estático del eje basados en los ensayos de SMITH	79
Tabla 3. 48: Cálculo de esfuerzos y factores de seguridad para las secciones del eje	80
Tabla 3. 49: Cálculo dinámico del eje diseñado a torsión.....	81
Tabla 3. 50: Cálculo de esfuerzos cortantes máximos y factores de seguridad en el eje	82
Tabla 3. 51: Calculo del factor de seguridad del eje agitador	84
Tabla 3. 52: Cálculo de número de pernos necesarios para la tapa.....	84
Tabla 3. 53::Especificaciones de la bomba	86
Tabla 3. 54: Cargas soportadas por los rodamientos.....	89
Tabla 3. 55: Cálculo de vida y factor de seguridad del rodamiento	89
Tabla 3. 56: Lista de máquinas herramientas.....	91
Tabla 3. 57: Elementos de la máquina a construir divididos por sistemas	92

Tabla 3. 58: Construcción de la mesa de soporte.....	95
Tabla 3. 59: Construcción de la base soporte del motor	96
Tabla 3. 60: Construcción del porta cámara de refrigeración	98
Tabla 3. 61: Construcción del tanque de molienda	99
Tabla 3. 62: Construcción de la tapa del tanque de molienda.....	100
Tabla 3. 63: Construcción de eje y brazos agitadores	101
Tabla 3. 64: Construcción del acople flexible de arrastre	102
Tabla 3. 65: Construcción de la cámara de refrigeración.....	103
Tabla 3. 66: Construcción del tanque refrigerante y guías.....	105
Tabla 3. 67: Costos de materia prima manufacturados	109
Tabla 3. 68: Costos de elementos adquiridos normalizados	110
Tabla 3. 69: Costos de mecanizado y pintura	112
Tabla 3. 70: Costos de materiales indirectos.....	112
Tabla 3. 71: Subtotal de costos directos.....	113
Tabla 3. 72: Subtotal de los costos indirectos	113
Tabla 3. 73: Costo total de la construcción del molino attritor.....	114
Tabla 3. 74: Porcentajes de materiales involucrados en la aleación	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Etapas de aleación mecánica en un material dúctil - dúctil.....	5
Figura 1. 2: Molino vibratorio SPEX serie 8000 y vial	9
Figura 1. 3: Molino de bolas planetario	10
Figura 1. 4: Molino Attritor y disposición de los brazos de rotación sobre un eje de molino	11
Figura 1. 5: Carga de un molino de varillas o bolas (a) Velocidad de rotación lenta. (b) Velocidad de rotación rápida.....	13
Figura 1. 6: Partes y elementos de un molino tipo attritor	19
Figura 1. 7: Diagrama de procesos para la obtención de polvos aleados.....	21
Figura 1. 8: Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en el equipo durante el proceso de molienda.....	23
Figura 2. 1: Elementos principales del prototipo	25
Figura 2. 2: Tanque de molienda.....	25
Figura 2. 3: Tapa de molienda	26
Figura 2. 4: a) Polea encargada de transmitir la fuerza. b) Ejes agitadores	26
Figura 2. 5: Sistemas de transmisión de la fuerza.....	27
Figura 2. 6: Prototipo de sistema de molienda.....	27
Figura 2. 7: Flujograma del sistema de molienda partiendo desde la necesidad del diseño de un equipo	32
Figura 3. 1: Alternativa A; Acople flexible de arrastre.....	34
Figura 3. 2: Alternativa B; Sistema de transmisión de potencia por bandas.....	35
Figura 3. 3: Alternativa C; Sistema de transmisión de potencia por Engranés.....	36
Figura 3. 4: Alternativa A; Agitador de discos	38
Figura 3. 5: Alternativa B; Agitador de brazos	39
Figura 3. 6: Alternativa C; Agitador de hélice.....	40
Figura 3. 7: Sistema de desplazamiento vertical de dos guías	41
Figura 3. 8: Sistema de desplazamiento tipo prensa	43

Figura 3. 9: Sistema de desplazamiento horizontal.....	44
Figura 3. 10: Refrigeración por recirculación líquida.....	45
Figura 3. 11: Sistema de refrigeración por aire forzado.....	46
Figura 3. 12: Sistema de refrigeración por intercambiador de calor.....	47
Figura 3. 13: Ensamble de selección de las alternativas por sistemas	62
Figura 3. 14: Análisis por elementos finitos ANSYS APDL del tanque de molienda	70
Figura 3. 15: Dimensionamiento de ejes agitadores	71
Figura 3. 16: Datos de placa de motor eléctrico WEG modelo TE1BFOXO	74
Figura 3. 17: Carga puntualizada a 1/3 de la carga máxima	76
Figura 3. 18: Análisis por elementos finitos ANSYS APDL del brazo agitador.....	78
Figura 3. 19: Cambio de sección por parte del eje agitador.....	79
Figura 3. 20: Longitud de impacto con carga triangular	81
Figura 3. 21: Análisis por elementos finitos ANSYS APDL de eje agitador.	83
Figura 3. 22: Curva de rendimiento de la bomba.....	87
Figura 3. 23: Rodamiento de bolas NTN	88
Figura 3. 24: Montaje del sistema de desplazamiento del tanque de refrigeración .	106
Figura 3. 25: Montaje del sistema de molienda	107
Figura 3. 26: Montaje del sistema de transmisión de potencia	107
Figura 3. 27: Montaje del sistema de refrigeración	108
Figura 3. 28: Pruebas de presión y temperatura.....	115
Figura 3. 29: Mediciones de temperatura pared interna y externa.....	115
Figura 3. 30: Mediciones de temperatura a la entrada y salida del radiador.....	116
Figura 3. 31: Virutas descartadas para la molienda	117
Figura 3. 32: a) Matiz de malla de 45 μ .m. b) Tamizado de material molido	117
Figura 3. 33: Medición de granulometría sin tamizar, analizada con el microscopio electrónico	118

Figura 3. 34: Medición de granulometría tamizada a 75 μm analizada con el microscopio electrónico	119
Figura 3. 35: Medición de granulometría tamizada a 45 μm analizada con el microscopio electrónico	119
Figura 3. 36: Muestra de aleación a 100X observada en el microscopio electrónico de la FICM.....	121

RESUMEN EJECUTIVO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR CON UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

AUTORES:

Flavio Eduardo Chiluiza Chicaiza;

Stalin Wladimir Saquina Chicaiza

TUTOR: Ing. Francisco Peña Mg.

El presente Proyecto Técnico de titulación se enfoca en el diseño, construcción y pruebas de funcionamiento de un molino de bolas tipo attritor para la obtención de polvos y aleaciones a partir de virutas metálicas, adquiriendo información acerca del proceso de pulvimetalurgia, datos y características de los materiales y empleando, ponderaciones de selección de alternativas, criterios como de diseño y el cálculo correspondiente a las partes más relevantes de la molienda.

Como fundamento se parte del análisis de los parámetros de molienda con la que deberá constar el molino attritor, como la velocidad de giro, contaminación de los polvos debido al material, control de temperatura y tiempo de molienda. Continuando con la selección y ponderación de los sistemas actuantes en la máquina siendo estos valorados dependiendo a criterios de ponderación como la confiabilidad, mantenibilidad, montaje y precio de cada una de las alternativas para posteriormente ser calculadas y valoradas con su factor de confiabilidad.

Finalmente, se procede a la construcción y ensamble de piezas y elementos de la máquina siendo estos contruidos y otros adquirido. Uno de los más relevante es el variador de frecuencia debido a que este regula la velocidad de giro y evita que el motor sufra daños en caso de atascamientos para después pasar por las pruebas de funcionamiento, obteniendo los resultados esperados en la molienda mecánica.

Palabras claves: Diseño, Molino attritor, obtención, parámetros, análisis, resultados.

ABSTRACT

“DESIGN AND CONSTRUCTION OF AND ATTRITOR TYPE BALL MILL WITH A COOLING SYSTEM FOR PULVIMETALURGY APPLICATIONS FOR THE LABORATORIES OF THE MECHANICAL ENGINEERING RACE OF THE CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING OF FACULTY OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO”.

AUTHORS:

Flavio Eduardo Chiluiza Chicaiza;

Stalin Wladimir Saquina Chicaiza

ADVISOR: Ing. Francisco Peña Mg.

This Technical Titling Project focuses on the design, construction and operation testing of an attritor-type ball mill for obtaining powders and alloys from metal chips, acquiring information about the process of powder metallurgy, data and characteristics of the material and using, selection weights of alternatives, criteria such as design and calculation corresponding to the most relevant parts of the milling.

As a basis is the analysis of the grinding parameters with the attritor mill should be recorded, such as the turning speed, contamination of the powders due to the material, temperature control and grinding time. Continuing with the selection and weighting of the operating systems in the machine being valued according to weighting criteria such as reliability, maintainability, assembly and price of each of the alternatives to subsequently be calculated valued with its reliability factor.

Finally, we proceed to the construction and assemble of parts and elements of the machine being these built and others acquired. One of the most relevant the frequency inverter because it regulates the turning speed and prevents the engine from suffering damage in case of jams and then goes through the operating tests, obtaining the expected results in the mechanical grinding.

Keywords: Design, Attritor Mill, obtaining, parameters, analysis, results.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

El avance tecnológico acelerado de las industrias ha creado la necesidad de desarrollar nuevos materiales, los cuales representan considerablemente una parte muy importante de la revolución científica – tecnológica, que tiene gran impacto en el ámbito productivo, industrial y económico de un país.

Debido a la gran importancia que representa, ha despertado gran interés en realizar estas investigaciones utilizando nuevas técnicas o procedimientos, que permitan obtener nuevos materiales con mejores propiedades mecánicas, como la que se consigue utilizando la técnica de aleación mecánica, que se realiza por medio de un molino de tipo Attritor que utiliza bolas metálicas para su molienda, las mismas que producen impacto y cuya energía producida es utilizada para producir la aleación de tipo sólida. Entre las investigaciones que se han realizado están las siguientes:

En el artículo publicado por ZUO Ke-sheng, XI Sheng-qi, ZHOU Jing-en (2009) con el tema “Efecto de Temperatura en la Aleación Mecánica del sistema Cu-Zn y Cu-Cr” trata sobre el estudio de la transformación y evolución del polvo aleado, [1] para llevar a cabo esta investigación se utilizaron polvos de Cu-Zn y Cu-Cr previamente molidos en un molino de bolas tipo Attritor, [1] que posteriormente fueron sometidos a variaciones de temperatura, teniendo como resultado que al reducir la temperatura se puede retrasar el proceso de Aleación Mecánica del sistema Cu-Zn con una entalpia de mezcla negativa. [1] también se obtuvo que al someter a una temperatura de 1000⁰C la solución solida Cu-Zn es estable, mientras que la solución solida Cu-Cr se descompone. [1] además se obtuvieron resultados de la morfología y estructura de la composición de los polvos tanto para el Cu-Zn como para el Cu-Cr, molidos por encima de los -10⁰C se puede encontrar estructuras laminares y a medida que se tiene una temperatura por debajo de -20⁰C se puede encontrar menos partículas lamelares [1].

En el artículo publicado por Priya R. Santhanam, Edward L. Dreizin con el tema “Condiciones de Predicción para la Fabricación Ampliada de Materiales Preparados por Molienda de Bolas”, (2012), utiliza un modelo de elementos discretos que permite conocer la transferencia de energía entre las bolas de impacto y la aleación, para tres molinos específicamente como son el Attritor, Agitador y Planetario, [2] en donde se comparó la disipación de calor mediante cálculos, con la disipación de energía experimental, [2] en la cual para el primer caso se predice una disipación de energía constante y para el segundo caso se preparó compuestos de óxido de metal en la que para el operador la disipación de energía está acompañada de fuerzas anormales altas y debido a esto la disipación de energía deforme plásticamente las herramientas de molienda o refine de gran manera el material. [2] .

En el artículo publicado por Al-Azzawi Ali, Peter Baumli, Gábor Mucsi (2015) con el tema “Aleación Mecánica y Molienda”, trata sobre los procesos de la molienda Mecánica, así como también las propiedades que debe tener en cada proceso descrito, además describe tres tipos de Equipos para Aleaciones Mecánicas, cada una con sus respectivas características y parámetros a controlar que finalmente las comparan según sus características principales. [3] .

1.2 Objetivos:

1.2.3 Objetivo General:

- Diseñar y construir un molino de bolas tipo Attritor con un sistema de refrigeración para aplicaciones de Pulvimetalurgia.

1.2.4 Objetivos Específicos:

- Analizar los parámetros de funcionamiento de los diferentes tipos de molinos de bolas.
- Determinar las especificaciones de diseño que permitan el correcto funcionamiento del equipo.
- Calcular y diseñar un molino de bolas tipo Attritor de acuerdo a los parámetros especificados.
- Construir el molino de bolas tipo Attritor con capacidad de 2000 ml.
- Poner en marcha el funcionamiento del molino de bolas tipo Attritor.

1.3 Fundamentación Teórica

1.3.1 Aleaciones mecánicas

Las aleaciones mecánicas nacen como una necesidad en el año de 1966 para aplicaciones en la industria aeroespacial produciendo una aleación de níquel-cromo-aluminio-titanio en un pequeño molino agitador de alta velocidad para más luego pasarlo a gran escala en un molino de bolas dando inicio a la molienda mecánica como un método para la producción de aleaciones a nivel industrial [4].

Las aleaciones mecánicas producen materiales nanoestructurados a través de la descomposición de la estructura gruesa mediante un método en el cual las partículas de polvo se deforman frecuentemente en un molino de bolas de alta energía [5]. Así mismo se ha demostrado que la formulación de soluciones solidas se lleva a cabo en escala nanométrica y por lo tanto estas aleaciones almacenan una alta energía como resultado al tamaño de grano y de la alta densidad de defectos cristalinos originados por la deformación plástica durante la molienda [5]. Después de alear dichos polvos mejoran sus propiedades mecánicas para posteriormente ser utilizados en diferentes elementos involucrados en la mecánica como son: rodamientos, ejes, bielas y entre otros [5].

1.3.2 Principales etapas de la aleación mecánica

Los fenómenos que intervienen al obtener la aleación mecánica en el proceso de molienda son números a través de las cuales el polvo va evolucionando hasta la obtención de excelentes propiedades mecánicas como la dureza y la resistencia [6]. La descripción de las etapas de aleación es muy compleja debido a que estas dependen de las condiciones de diversos factores como la condición inicial del polvo, en función del tiempo en forma determinante a su evolución [6].

1.3.2.1 Inicial

Se caracteriza por la deformación cuando las partículas de polvo quedan atrapadas por los medios moledores y empiezan a tomar una morfología achatada o aplastada en forma de lámina [6]. En este caso puede diferir debido a que las partículas dúctiles tienden a deformarse más fácilmente ante la fuerza de compresión ejercida por los medios moledores, mientras que las partículas más duras son más resistentes a la deformación y en algunos casos estas tienden a fracturarse [6].

1.3.2.2 Predominio de soldadura

La formación de partículas tipo sándwich es una de las características que predominan en esta etapa, cuando las láminas van soldándose entre sí paralelamente por acción de los medios moledores, incrementado de esta forma el tamaño de las partículas [6]. La morfología de las partículas es muy singular debido a que el volumen de ellas es significativamente mayor al que realmente poseen debido a la acción de la fuerza proporcionada por la rotación del molino [6].

1.3.2.3 Formación de partículas equiaxiales

El proceso continuo con la formación de partículas de polvo equiaxiales, debido a la baja ductilidad que posee el material a través de las diversas etapas en la molienda mecánica, estas presentan una mayor tendencia a la fragmentación [6].

1.3.2.4 Soldadura con orientación marcadamente desordenada

Se produce un fuerte aumento en la fracción de las partículas que al soldarse sin ningún tipo de preferencia en lo que a su orientación refiere, esta adquiere una morfología equiaxiales [6]. La evolución de las partículas está asociada directamente con un progresivo incremento de las propiedades del polvo, las que son manifestadas esencialmente a través de la dureza [6].

1.3.2.5 Final o afino de la estructura

El proceso continuo finalmente con el incremento de homogeneidad del polvo y el afino de la microestructura, no obstante, la aparición de las estructuras en forma de capas es nula debido a que ésta es tan fina con un valor menor a $0,5 \mu\text{m}$ [6]. El proceso permanece en total equilibrio evolucionando en el afino de la micro estructura y el crecimiento de la micro dureza del polvo por lo que la ductilidad desaparece debido a la disminución progresiva del tamaño de grano [6]. En la Figura 1.1 se muestra las etapas de alecciones de un material ductil- ductil.

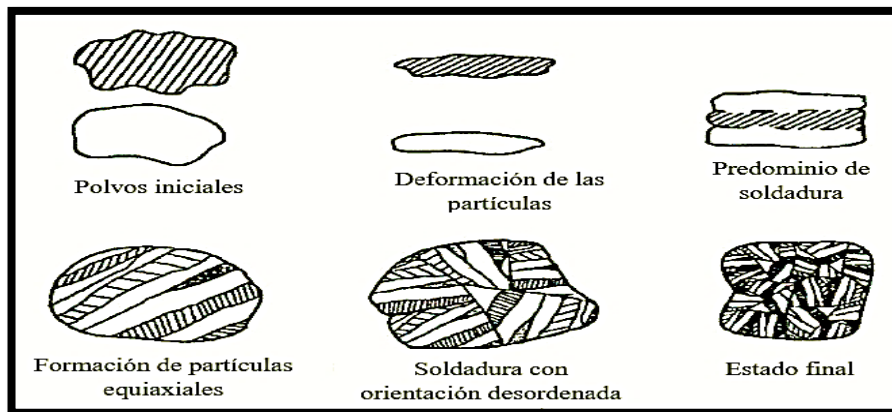


Figura 1. 1: Etapas de aleación mecánica en un material dúctil - dúctil [6].

1.3.3 Materias primas

Es totalmente evidente que las características que posean los polvos al inicio del proceso de molienda son los que determinen la transformación de las propiedades que se obtenga al final del proceso. Comúnmente los materiales están en forma de polvos elementales o compuestos aleados, carburos u óxidos. Sin embargo, para llegar a un estado donde las partículas absorban la energía suministrada por las bolas de molienda y de lugar a la fractura en el proceso, depende de la ductilidad que presenten las mezclas al inicio del proceso de molienda y se puede clasificar de la siguiente forma.

- a) Dúctil - dúctil. Existe predominio de la soldadura en comparación a la fractura del material. Una estructura laminar se va formando en las partículas y las láminas van desapareciendo conforme el tiempo de molienda por lo que se llega a obtener una mezcla muy homogénea.
- b) Dúctil - frágil. Caracterizado por una rápida dispersión, donde las partículas frágiles se van fracturando e introduciéndose en el material dúctil. Al final se puede obtener una homogenización del material parcial o total claro está que esto dependerá de cómo se dé la dispersión del material dentro del proceso.
- c) Frágil - frágil. Predomina la fractura durante el proceso de molienda, debido a la ausencia de ductilidad en el material a moler, es así que se evita la soldadura de las partículas por lo tanto no llegan a alearse. Estos componentes frágiles tienden a fragmentarse y reducir su tamaño continuamente hasta llegar a obtener un tamaño muy fino a partir del cual ya no sea posible reducir a un más el tamaño de partícula.

Los materiales dúctiles y frágiles hacen una excelente combinación debido a que al ser alearlos estos tienen a aumentar su dureza sin ser frágiles o débiles en todo caso. En la Tabla 1.1 se muestra algunos materiales dentro de estas dos categorías [7].

Tabla 1. 1: Lista de materiales frágiles y dúctiles [7].

Materiales	
Frágiles	Dúctiles
Diamante	Hierro
Vidrio	La madera
Cerámica	El acero
Algunos Polímeros	El zinc
Cristal	El plomo
Porcelana	El latón
Yeso	La plastilina
Grafito	El cobre
Bronces ricos en estaño	El platino
Metales alcalinos	El aluminio

1.3.4 Pulvimetalurgia

La Pulvimetalurgia es un proceso en el cual se mezclan dosis de polvos metálicos para la obtención de polvos mucho más finos y objetos de metal producidos por compactación u otras técnicas, formados con base de polvos metálicos individuales o a su vez pueden ser aleados o mezclados [8]. Esta técnica viene desarrollándose de años lejanos con un solo propósito el cual es economizar de total forma la materia y prima y obtener materiales de alta calidad a costos módicos [8]. Para esto se aplica el proceso de la pulverización la que consiste en la reducción de las partículas sólidas de mayor diámetro por medio de diferentes mecanismos, en los que producen por medio del impacto, molienda por compresión y cizalla o corte [9].

1.3.5 Molienda

La molienda es la operación de reducción de las piezas pequeñas después de un proceso previo de triturado a polvos [10]. La molienda se la realiza por medio de abrasión o impacto del mineral triturado por el movimiento de un medio de molienda

duro como pueden ser bolas, piedras o barras de molienda para la obtención de polvos mucho más finos con mejores características mecánicas [10].

1.3.6 Proceso de molienda

El efecto específico que tiene el proceso de molienda en un polvo depende de las propiedades físico-químicas que presenta cada uno de estos polvos metálicos, es decir que los polvos generalmente se clasifican como; dúctil-dúctil, dúctil-frágil, quebradizo-frágiles [10].

La molienda de polvos de un material agrega los siguientes objetivos:

- Reducción de tamaño de las partículas.
- Cambio de forma
- Aglomeración
- Alecciones de estado sólido
- Cambiar, alterar o modificar las propiedades de un material.
- Combinación mezclas de dos o más materiales.

En la Tabla 1.2 se muestra las propiedades mecánicas de las aleaciones más comunes dentro del proceso de molienda.

Tabla 1. 2: Propiedades de las aleaciones [11].

Metal	Módulo de elasticidad		Módulo de rigidez		Coeficiente de poisson	w	Densidad	Coeficiente térmico de expansión		Conductividad térmica	
	<i>Mpsi</i>	<i>Gpa</i>	<i>Mpsi</i>	<i>Gpa</i>		<i>lb/in³</i>	<i>Mg/in³</i>	$10^{-6}/^{\circ}F$	$10^{-6}/^{\circ}F$	<i>Btu/hft²F</i>	<i>W/m²C</i>
Aleación aluminio	10,4	72	3,9	27	0,32	0,1	2,8	12	22	100	173
Aleación magnesio	6,5	45	2,4	17	0,35	0,065	1,8	14,5	26	55	95
Aleación níquel	30	207	11,5	79	0,3	0,3	8,3	7	13	12	21
Aleación hierro	30	207	11,5	79	0,3	0,28	7,7	8	14	12	21
Aleación titanio	16,5	114	6,2	43	0,33	0,16	4,4	4,9	9	7	12
Aleación Zinc	12	83	4,5	31	0,33	0,24	6,6		15 27	64	111

1.3.7 Variables del proceso

Durante el proceso de molienda la estructura, tamaño, composición y características morfológicas de las fases del material pueden ser alteradas para lograr la microestructura del producto deseado [12]. En el cual diferentes variables son involucradas en la molienda mecánica, y estas pueden ser independientes [12]. Como ejemplo, tamaño del medio de molienda, tiempo de molienda, la temperatura generada en la molienda, diámetro de los medios moledores y entre otros aspectos a relacionarse en el proceso de molienda como los que se mencionaran a continuación [12].

1.3.7.1 Tipos de molinos

Existen diferentes tipos de molinos para esta aplicación de molienda mecánica, así es que estos difieren en velocidad de funcionamiento, capacidad de contenedor, variación de temperatura, y la minimización de la contaminación con óxidos los polvos molidos. Dependiendo de la necesidad de cantidad de polvo a moler, los molinos pueden ser seleccionados de una gran variedad los cuales cumplen la misma función la reducción de tamaño de los polvos metálicos en los cuales se mencionará a continuación; molino vibratorio SPEX, molino planetario, molino de bolas tipo attritor entre los más destacados. [13].

Molino vibratorio SPEX.

Este tipo de molino son los más utilizados en los EE.UU., los polvos y las bolas se colocan en un vial que se agita en ciclos complejos en tres dimensiones a una frecuencia alta y con una velocidad de impacto promedio de 4,2 m/s [13]. La característica principal de este molino es la frecuencia de impacto debido a que es mucho mayor en comparación a otros molinos como es el caso del molino planetario la mayor parte de usuarios para este tipo de molino son los investigadores debido a que son muy útiles para laboratorios donde los polvos a utilizar tienen un peso no mayor a 10-20 gr [13]. En la Figura 1.2 se muestra un modelo de molino vibratorio SPEX.



Figura 1. 2: Molino vibratorio SPEX serie 8000 y vial [13].

En la Tabla 1.3 se hace referencia a los ventajas y desventajas que presenta el molino vibratorio Spex [14].

Tabla 1. 3: Ventajas y desventajas que presenta un molino vibratorio Spex [14].

Ventajas	Desventajas
Tiempos reducidos en la molienda.	Elevados costos en el procesamiento.
Obtención de aleaciones nanométricas en la molienda.	Contaminación del material al momento de la aleación y desgaste de los medios molidores.

Molino planetario.

Se compone a través de un disco y dos o cuatro copas o tambores como se muestra en la Figura 1.3 [13]. Las copas giran en una dirección mientras que el disco gira en dirección opuesta [13]. Este tipo de molino toma este nombre debido al movimiento de planetas de sus viales, similar al de la rotación de los planetas alrededor del sol [13]. Su funcionamiento es básicamente la dirección de giro de los discos y las copas debido a las fuerzas centrífugas que actúan alternativamente en los mismos y en dirección opuesta, esto hace que las bolas de molienda provoquen una alta fricción en la paredes de la cámara interior proporcionando un fuerte impacto mecánico sobre el material a moler esto hace que se pueda moler varios gramos de material a la misma vez acelerando el proceso de molienda, este tipo de molino es uno de los más eficientes

por su alto impacto [13]. Sin embargo, las altas temperaturas que se pueden producir por la alta fricción pueden conllevar a la aglomeración del material [13].

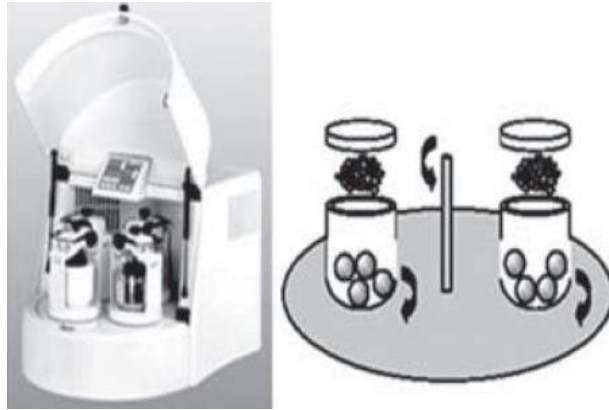


Figura 1. 3: Molino de bolas planetario [13].

En la Tabla 1.4, se hace referencia a los ventajas y desventajas que presenta el molino de bolas planetario [14].

Tabla 1. 4: Ventajas y desventajas que presenta un molino de bolas planetario [14].

Ventajas	Desventajas
Trituración rápida del material	Velocidades altas las que producen un excesivo desgaste en las paredes del contenedor del molino
Molienda húmeda o seca	Giro en una sola pista la que desgata una determinada superficie en el contenedor
Altas velocidades de impacto	Desgaste de bolas de molienda debido a su alta velocidad de impacto
Fácil carga y descarga de material	Costos elevados de mantenibilidad

Attritor

Los molinos Attritor son de alta velocidad usados para la reducción rápida de las partículas, además estos se han diseñado de forma que el proceso pueda ser para aplicaciones húmedas o secas [13]. Este tipo de molinos utilizan un recipiente estacionario cargado de medios moledoras como bolas las cuales son agitadas por medio de un brazo conectado a un eje que gira a alta velocidad, esto hace que las bolas de molienda ejerzan fuerzas de cizallamiento y de impacto contra el material como se

puede observar en la figura 1.4 [13]. La calidad de los polvos dependerá de los complementos del molino Attritor, como es el control de la temperatura, la cual es regulada por un sistema de refrigeración al entorno del contenedor, el control de atmosfera para evitar la contaminación de óxidos en los polvos durante el proceso la cual es controlada por un gas inerte como puede ser el argón [13].

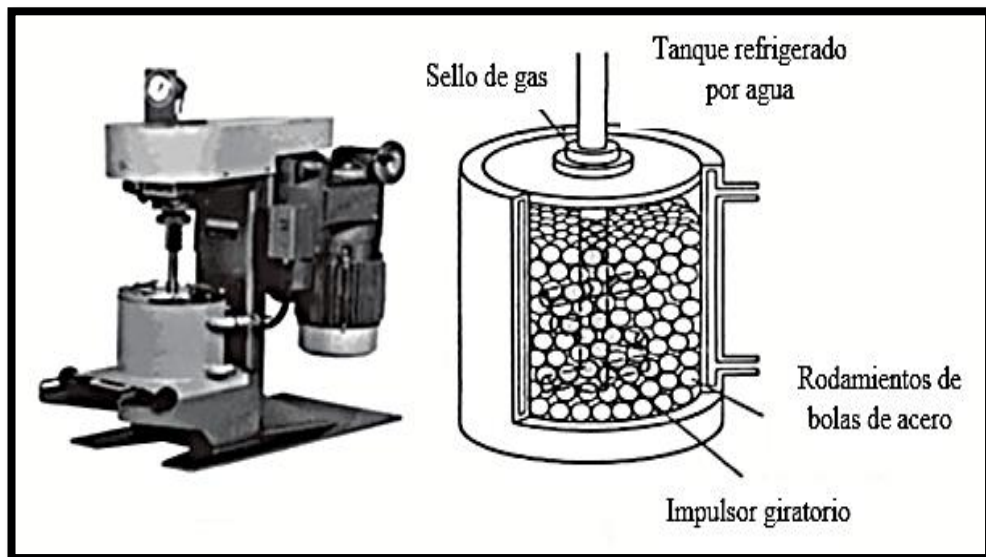


Figura 1. 4: Molino Attritor y disposición de los brazos de rotación sobre un eje de molino [13].

En la Tabla 1.5, se hace referencia a los ventajas y desventajas que presenta el molino de bolas planetario [14].

Tabla 1. 5: Ventajas y desventajas que presenta un molino Attritor [14].

Ventajas	Desventajas
Gran velocidad de impacto entre el brazo impulsor y los medios de molienda	Elevado costo para generar el vacío
Fácil construcción	Altas velocidades de generación
Fácil mantenibilidad de la maquinaria	Desgaste de bolas de molienda debido a su alta velocidad de impacto
Obtención de partículas muy finas	Contaminación del material debido al desgaste de los medios molidores.

En la Tabla 1.6 se hace una comparación entre velocidad de las bolas, energía cinética, frecuencia de choque, energía de choque con los molinos comerciales más utilizados dentro del proceso de molienda para la obtención de aleaciones mecánicas [14].

Tabla 1. 6: Comparación para los molinos más usuales dentro del proceso de molienda [14].

Parámetros	Molino vibratorio	Molino planetario	Molino attritor
	SPEX 8000	Pulverisette G7	
Velocidad de las bolas (m/s)	< 3,9	0,24 - 6,58	0 - 0,08
Energía cinética (10J/hit)	< 120	0,4 - 303,2	< 10
Frecuencia de choque (Hz)	200	5 - 92,4	> 1000
Energía de choque (W/g/bola)	< 0,24	0 - 0,56	< 0,001

1.3.7.2 Velocidad de molienda

En el proceso de molienda la velocidad es uno de los puntos más relevantes debido a que este factor depende la calidad de los polvos es por esto que se relacionan a la intensidad de molienda y la energía [13]. Cuanto más rápido sea la rotación del molino mayor es la energía que se transmite al material procesado [13]. Si bien es cierto que a mayor velocidad del molino la eficiencia de molienda es mucho mayor, no se deberá sobre pasar el valor crítico de molienda debido a que si se ejerce una velocidad muy alta las bolas de molienda se adhieren a las paredes del contenedor los cual provocara que estas no actúen o ejerzan fuerzas de impacto contra el material a moler [13]. La desventaja más evidente a las velocidades altas es que la temperatura del contenedor y de las herramientas de molienda aumentan lo cual es propenso al desgaste excesivo de las herramientas y la contaminación de los polvos con óxidos en el proceso [13]. La velocidad de molienda permanece constante en algunos molinos como es el caso del molino SPEX, mientras que el Attritor y planetario pueden presentar diferentes velocidades de molienda debido a que su brazo impulsor puede diferir variando de este modo la velocidad a la que se muele el polvo [15]. En la Figura 1.5 se muestra el fenómeno descrito acusa del incremento de la velocidad.

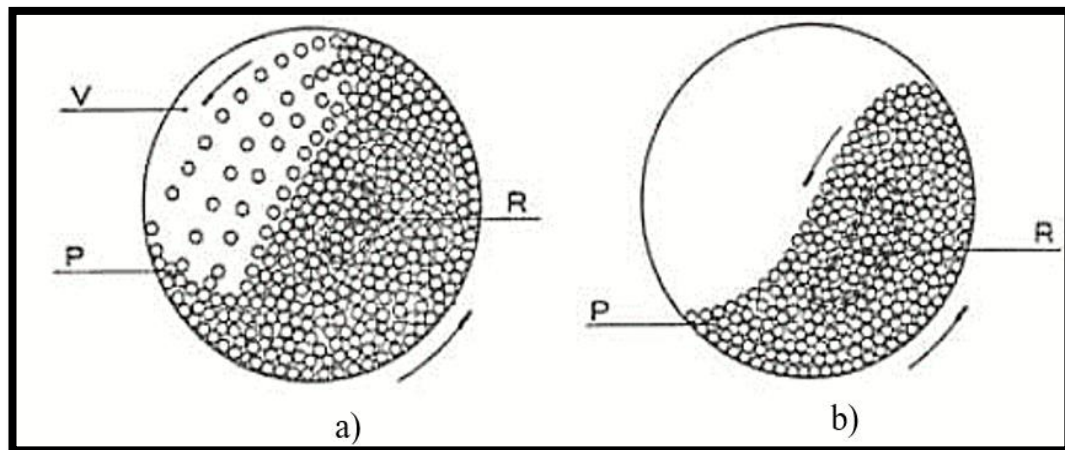


Figura 1. 5: Carga de un molino de varillas o bolas (a) Velocidad de rotación lenta. (b) Velocidad de rotación rápida. [15].

1.3.7.3 Velocidad crítica

La velocidad de trabajo de un molino es un porcentaje de la velocidad crítica teórica o velocidad crítica del molino se dice que es la velocidad de rotación de un molino para lo cual la primera fila de bolas de molienda entra en contacto con las paredes del contenedor y por efecto centrífugo [15]. Este efecto hace que las bolas se peguen a las paredes produciendo el efecto de molienda [15]. La velocidad crítica representa la menor velocidad que produce el efecto anteriormente mencionada debido a que cualquier velocidad que supere a la crítica producirá un efecto contrario a la molienda [15], [14].

1.3.7.4 Tiempo de molienda

El tiempo de molienda es un parámetro también importante debido a que este permite conseguir un estado estacionario en la fracturación y la soldadura en frío de las partículas de polvo para facilitar la aleación [13]. La variación del tiempo de molienda en los diferentes molinos difiere debido a que los parámetros de funcionamiento no son los mismos para todos los casos dentro del proceso [13]. Los tiempos son cortos para molinos de alta energía y más largo para los de baja y media energía. Además, la dependencia va de la mano de acuerdo al requerimiento en las velocidades de giro y la temperatura alcanzada en el proceso para lograr los requerimientos deseados [13].

1.3.7.5 Relación de peso bola a polvo

La relación de cargas puede influir en la velocidad a la que se produce la reacción en la molienda con bolas debido a la relación de peso bola a polvo [13]. Una relación de carga más alta conduce a un tiempo de reacción más corto. A una alta relación la frecuencia disminuye y la deformación plástica es directamente proporcional al número de colisiones por unidad de tiempo [13]. La menor relación de peso bola a polvo da como resultado tiempos de procesamiento más prolongados para lograr propiedades específicas; sin embargo, aumenta la cantidad de material procesado y su tamaño cristalino [13]. Esta relación ha variado desde valores tan bajos como 1:1 hasta tan altos como 220:1, la relación más común utilizado con los molinos planetarios y SPEX es de 10:1, mientras que los molinos de alta capacidad, como los molinos Attritor, emplean una relación más alta, como 50: 1 o 100:1, [6], [13].

El diámetro de los elementos molidores es importante ya que estos deben poseer un mayor volumen que los polvos a moler, es por esto que se estima un valor de 50:1 para una adecuada obtención de polvos metálicos [14].

1.3.7.6 Extensión de llenado del contenedor

Un dato importante a tomar en cuenta en el llenado del contenedor, este no deberá llenarse más del 50% de su capacidad, si se llena por debajo de esta cantidad la tasa de molienda será muy baja mientras que si se llena al 100% la tasa de molienda será mínima porque las bolas no se moverán en el contenedor y por lo tanto no podrán impactar al material de tal forma que este no llegue a pulverizarse [13].

1.3.7.7 Grado de llenado

Este grado de llenado generalmente está en un rango de 40-55% de la capacidad del contenedor de molienda siendo utilizado por los medios molidores en el caso de bolas o barras y el propio material a ser molido [15].

1.3.7.8 Atmosfera de molienda

El ambiente influye en la cinética de comportamiento de aleación durante la transformación y la formación de nuevos compuestos [16]. La presencia de aire en el contenedor produce óxidos y nitruros en los polvos molidos, es por esto que la molienda se la debe realizar en una atmosfera al vacío o para un mejor resultado en

gases inertes como el argón o nitrógeno [16]. La existencia de fugas o presencia de aire es una de las problemáticas en el proceso de molienda debido a que existen materiales sensibles a la oxidación como es el caso de los metales puros [16], [13].

1.3.7.9 Agentes de control de procesos

Los agentes de control se añaden a la mezcla de polvo durante el proceso de moliendo para disminuir el efecto de soldadura en frío en exceso [6]. Estos pueden ser líquidos sólidos o gaseosos en su mayoría estos son compuestos orgánicos los cuales actúan en la superficie como agente activo [6]. Ellos se absorben en la superficie de los polvos a moler y actúan de forma que evitan la soldadura y la aglomeración del polvo en el contenedor, reduciendo la tensión superficial del material sólido [6]. Generalmente se utiliza la cantidad de 1-4% del peso de la cantidad de los polvos [6]. Los agentes de control de proceso más comunes son: ácido esteárico, hexano, ácido oxálico, metanol, etanol, heptano, acetona, entre otros [6]. Para seleccionar uno de estos agentes de control de proceso primero se deberá conocer la naturaleza del polvo a ser molido como por ejemplo si es un material ya aleado o puro [6].

1.3.7.10 Temperatura para molienda

La temperatura en la molienda es otro de los parámetros importantes debido a que los molinos de alta energía conllevan a aumentar la temperatura en el proceso de molienda [13]. Es por esta razón que las investigaciones han llegado a concluir que este proceso se debe ejecutar a una temperatura ambiente, por tal motivo el sistema de refrigeración entra en acción al contorno del contenedor como la recirculación de nitrógeno líquido, refrigerante o agua, de esta forma se logra el control de la temperatura [13].

1.3.7.11 Contaminación en la molienda

Una de las preocupaciones en las investigaciones, es la contaminación en el procesamiento de las aleaciones en las cuales se han encontrado una serie de contaminantes en los cuales se encuentran factores de relevancia como los que se muestran a continuación.

- La impureza en los polvos de partida.
- Contenedor y medios de molienda.
- Atmosfera de molienda.

- Agentes de control de proceso.

En general, para minimizar la contaminación en el recipiente y medio de molienda, es importante que estos dos medios materiales sean más duros y más fuerte que el polvo a moler. No obstante, es difícil prevenir la contaminación por completo en la molienda mecánica [13], [17].

1.3.8 Efecto de la humedad

Para la máxima obtención de eficiencia de un molino se lo hace con materiales secos; sin embargo, no todos los materiales son secos, por lo menos estos contienen una humedad del 1% que por lo general esto ayuda a la rotura del material. Si el material a moler se encuentra muy húmedo este tiende a convertirse en una forma pastosa o gelatinosa la cual se pega en las bolas de molienda impidiendo que se siga el proceso [15].

Po las facilidades que presenta la molienda en húmedo es más recomendable que la molienda en seco ya sea por la disminución de ruidos, polvos, facilidad de transporte o manejo, esta es una opción a tomar en cuenta no obstante durante el proceso, este factor puede llevar a complicaciones, como la creación de los óxidos o la contaminación de los polvos es por esto que se presenta la Tabla 1.7 en la que se hace una comparación entre la molienda húmeda y seca en la que se puede ver las siguientes diferencias [15].

Tabla 1. 7: Comparación entre molienda seca y húmeda [15].

Molienda húmeda	Molienda seca
Menor potencia por kilogramo de material a moler	Mayor potencia en cada kilogramo de material a moler
Disminución de ruido y fácil transporte	Aumento de ruido
Consumo de revestimiento	Menor consumo de revestimientos

1.3.9 Estructura Funcional

Para el diseño del molino de bolas tipo Attritor se considerará uno de los parámetros importantes, que es su capacidad en relación con su utilidad, el mismo que será diseñado y construido con fines de estudios investigativos, de acuerdo a los requerimientos y especificaciones de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, posteriormente su fabricación puede llevarse a cabo con materiales y tecnologías de la región sin problema alguno. Adicional a esto, los demás requerimientos funcionales del molino de bolas tipo Attritor, se tomarán en cuenta las características similares de otras máquinas disponibles comercialmente en el mercado y de los construidos con fines de titulación.

1.3.9.1 Requerimientos funcionales y especificaciones de diseño

Para determinar los requerimientos funcionales y especificaciones de diseño primero se debe conocer de forma general los parámetros más importantes que intervienen en el diseño y construcción de un molino de bolas de tipo Attritor, los cuales se detallan a continuación:

- Capacidad de molienda
- Sistema de refrigeración para molienda mecánica.
- Eje agitador que genera la molienda en el interior del contenedor.
- Materiales adecuados para la fabricación de la estructura base y que estén en contacto directo con la molienda.
- Potencia del motor.

1.3.9.2 Partes de un Molino Attritor

A continuación, se detallan las partes importantes de un molino de bolas tipo Attritor mostrada en la Figura 1.6 y la función que desempeñan.

1. **Motor:** transmitir potencia al eje agitador por medio de acoples, los cuales son los encargados de generar la molienda en el interior del tanque.
2. **Estructura:** es la parte principal de la máquina, se encarga de soportar el tanque de molienda, el motor, el variador de velocidades y demás elementos.

3. **Elementos de conducción de refrigerante:** encargados de recircular agua o refrigerante que permitan mantener una temperatura adecuada en el exterior del tanque de molienda.
4. **Tanque de molienda:** recipiente donde se alojan los medios moledores y material a alear.
5. **Eje agitador:** encargado de transmitir el movimiento hacia el interior del tanque de molienda.
6. **Variador de velocidad:** permite regular las velocidades rotación del motor.
7. **Elementos moledores:** Encargados de producir fractura y soldadura de los diferentes materiales y convertirlos en polvo.
8. **Agitadores:** reciben el movimiento del eje principal conectado en el motor, situado en el interior del tanque de molienda y se encarga de mover los elementos moledores.

1.3.9.3 Sistemas de un Molino Attritor

Con el fin de agrupar las partes principales del molino de atrición y reconocer fácilmente la función que desempeñan se ha dividido en sistemas mostrado a continuación:

- **Sistema de Transmisión de Potencia** conformado por: motor, variador de velocidades.
- **Sistema de Molienda** conformado por: tanque de Molienda, Bastidor, Agitador, Elementos Moledores.
- **Sistema de Desplazamiento del Contenedor** conformado por: estructura y soporte del tanque de Molienda.
- **Sistema de Refrigeración** conformado por: Elementos de conducción de refrigerante.

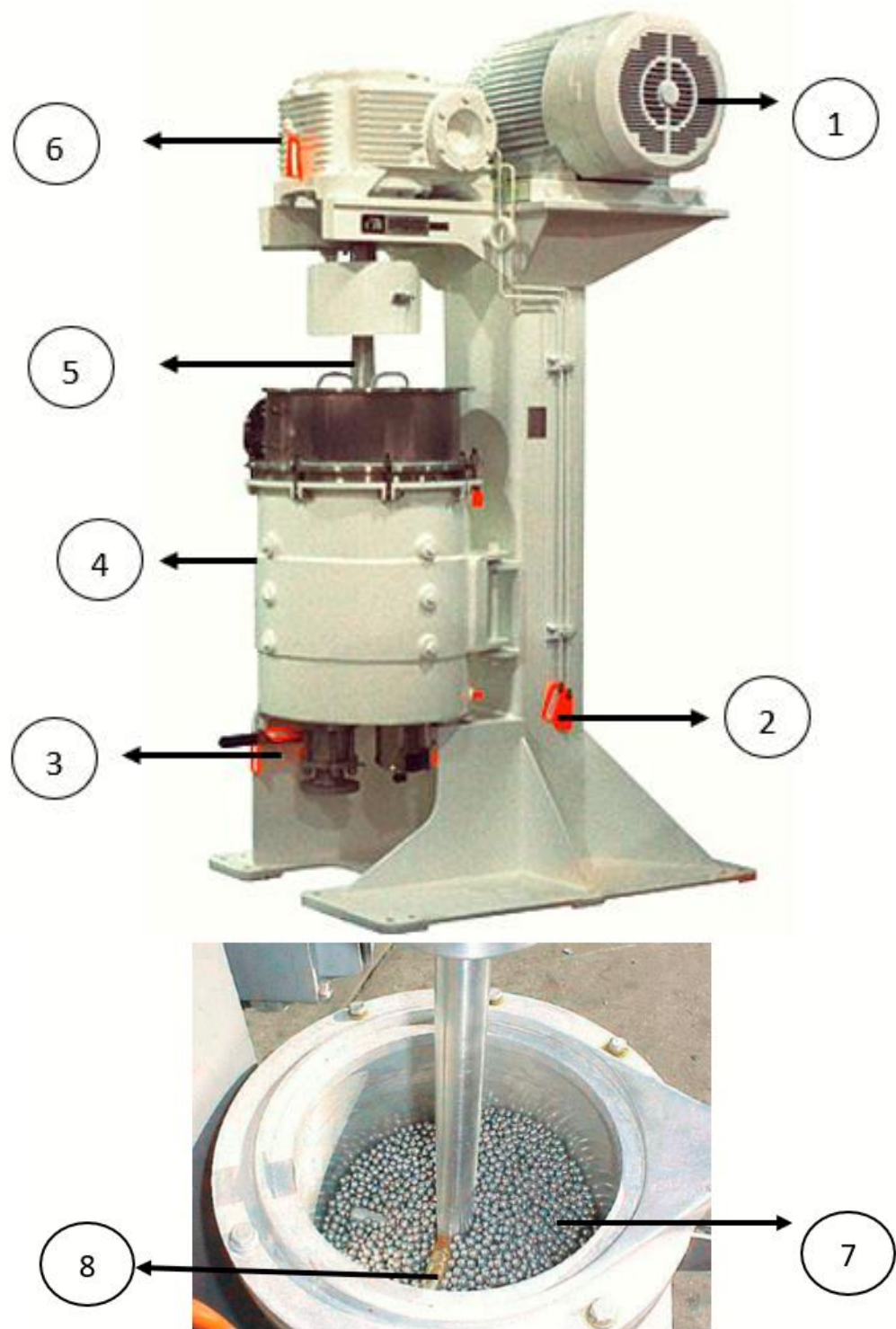


Figura 1. 6: Partes y elementos de un molino tipo attritor [31].

1.3.9.4 Funcionamiento del molino de bolas de tipo Attritor

El eje agitador genera energía rotacional que se transmite desde un motor, la misma que es transferida a los elementos moledores que están en contacto con los polvos de

los materiales, en forma de energía de impacto, calor y fricción, ocasionando deformación, fracturas y soldaduras entre las partículas.

Posteriormente la gran cantidad de calor acumulado que se ha generado en el interior del tanque de molienda necesita ser refrigerada, para lo cual se activa un sistema de refrigeración que consiste en hacer recircular un refrigerante por toda la pared del recipiente manteniendo una temperatura ambiente.

1.3.9.5 Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales están de acuerdo a las especificaciones y requerimientos de seguridad como de mantenibilidad, que permitan un fácil montaje y desmontaje de la máquina, los mismos que fueron prioridad necesaria por parte de los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica. A continuación, detallamos los principales parámetros que permitirán que la máquina funcione correctamente:

- a) Facilidad de montaje y desmontaje de los diferentes componentes del molino Attritor.
- b) Facilidad para realizar un correcto mantenimiento de todos sus componentes.
- c) El molino Attritor debe ser de fácil operación y manejable por cualquier persona interesada.
- d) El tanque de molienda debe ser hermético con el fin de que no exista fugas durante el proceso, una excelente molienda dependerá de este parámetro considerado uno de los más importantes.
- e) Los materiales a utilizar deben ser los correctos con el fin de que no exista deterioro a corto plazo además de prevenir las vibraciones durante el funcionamiento de la máquina.
- f) Las velocidades de operación deben ser programables, con el objetivo de utilizar para moliendas de diferentes materiales.

1.3.9.6 Especificaciones de diseño

- Las siguientes especificaciones de diseño del molino Attritor a diseñar son las siguientes:
- Capacidad máxima: 2000 ml
- Materiales a moler: polvos metálicos finos.

- Velocidad angular: 320 – 1700 rpm
- Sistema de transmisión: eléctrica
- Control de temperatura: sistema de refrigeración por refrigerante.
- Potencia: 2 hp

1.3.10 Diagrama de procesos para la obtención de polvos aleados

En la Figura 1.7 se muestra el proceso de obtención de los polvos aleados mecánicamente desde la obtención de la viruta a moler hasta la obtención del polvo y su posterior procesamiento después de la molienda.

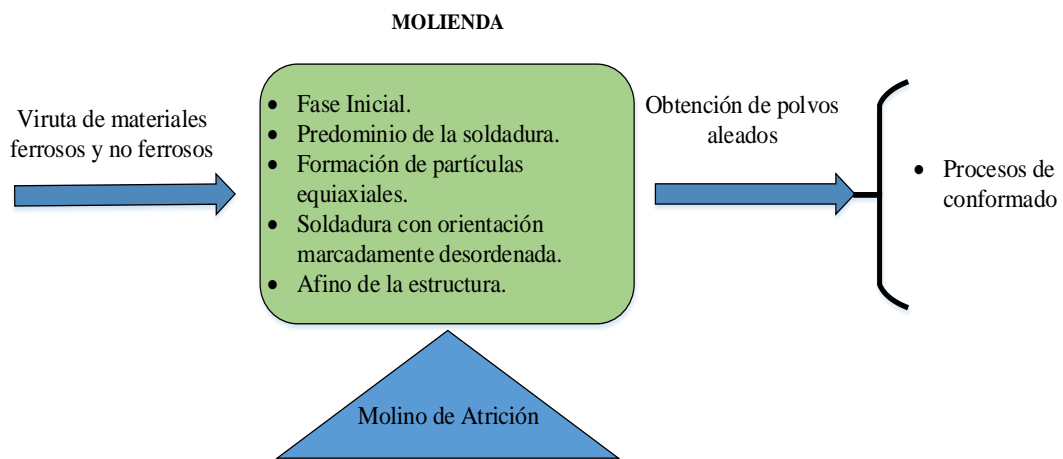


Figura 1. 7: Diagrama de procesos para la obtención de polvos aleados [Autores].

En la Figura 1.8 se indica en un diagrama de flujo las actividades a desarrollarse en durante el proceso de molienda hasta la obtención de las partículas finas de polvos aleados.

1.3.11 Procesos que utilizan los polvos aleados

Los polvos aleados son una realidad industrial que ha venido tomando fuerza con el paso del tiempo para el desarrollo de materiales avanzados, obtención de herramientas de excelente calidad, piezas difíciles de manufacturar y la obtención de excelentes tolerancias [18]. Con la obtención de los polvos metálicos su siguiente etapa es el proceso de conformado la cual seguirá con la cadena de producción de polvos aleados mecánicamente [18].

1.3.12 Proceso de conformado

Este tipo de procesos se puede resumir en tres pasos como es la combinación y mezclado de polvos en la que se necesita de una mezcla homogenizada por completo antes del proceso, compactación donde que los polvos metálicos toman la forma deseada a obtener y finalmente el sinterizado en el cual se calienta la mezcla por debajo del punto de fusión del material y obliga a la unión de las partículas así también a fortalecerlo [10] [18],.

Alternativas de compactación y técnicas de sinterizado.

- Prensado isostático. Este tipo de prensado logra que la presión se aplique en todas las direcciones contra el polvo en un molde flexible [18].
- Moldeo por inyección de polvos. El moldeo por inyección es el moldeo más general que comienza con mezclar con aglutinantes a la mezcla, forma palets granulares con la mezcla, los pallets se calientan y se inyecta en la cavidad de un molde, procesamiento de la pieza para evitar aglomeraciones, la pieza de sinteriza y finalmente se ejecutan operaciones secundarias al proceso [18].
- Laminado de polvos. Los polvos metálicos se compactan entre dos rodillos para formar tiras las que serán directamente alimentadas a un horno de sinterizado [18].
- Extrucción de polvos. El método más común, los polvos se colocan al vacío en una lámina hermética, se calienta y se extruye junto con el recipiente [18].
- Forjado de polvos. Se parte de una pieza de metalurgia de polvos preformada mediante un proceso de compactación y sinterizado al tamaño apropiado a los requerimientos [18].
- Sinterizado en fase líquida. Este tipo de proceso involucra dos tipos de polvos con una diferencia de temperatura de fusión, luego se calienta a una temperatura lo suficiente para fundir uno de los dos materiales así el material de la fase líquida se adhiere con facilidad a las partículas sólidas del segundo material, creando una estructura densa y fuerte al solidificarse [18].

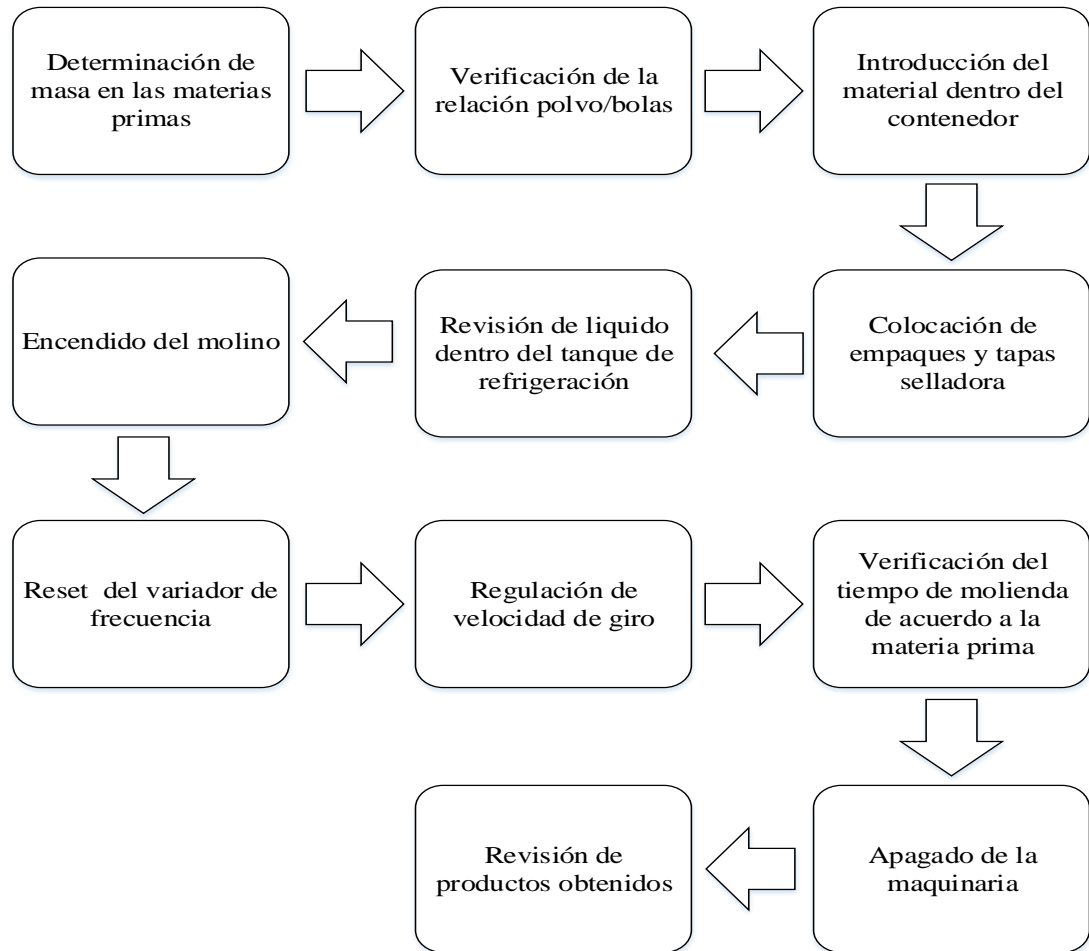


Figura 1. 8: Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en el equipo durante el proceso de molienda [Autores].

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

Este capítulo tratará sobre una de las consideraciones importantes para el diseño dinámico del eje bastidor y agitadores del siguiente capítulo, para lo cual es necesario la fabricación de un prototipo con los materiales respectivos para su construcción, además se describirán los métodos de investigación adecuados para el presente proyecto técnico de titulación.

Como se dijo anteriormente la construcción de un prototipo es importante debido a que se necesita determinar parámetros como es el caso de la fuerza necesaria que se aplica en los agitadores, siendo estos parámetros necesarios para el correcto diseño de los elementos de la máquina, por ello es que las dimensiones de cada parte se basan en la realidad del sistema de molienda del molino Attritor los cuales están conformados por el tanque de molienda con su respectiva tapa y eje agitador.

2.1 Materiales

Los materiales empleados para la construcción del prototipo que permitirá estimar valores o datos necesarios para el correcto calculo y diseño del molino se detallan en el Tabla 2.1.

Tabla 2. 1: Materiales requeridos para el prototipo del sistema de molienda [Autores].

MATERIALES	
SISTEMA DE MOLIENDA	
Plancha acero A36 6 mm	Eje acero A36 3/4"
Platina acero A36 2mm	Eje acero A36 3/8"
Poleas 3/4"	Prisioneros de 1/4"
Tubo cuadrado 20mm	Chumaceras cuadradas 3/4"
Rodamientos skf 3/4"	Elementos Moledores acero al carbono

2.1.1 Determinación de partes y elementos del prototipo

El prototipo se construye sobre una base rectangular de acero A36 de largo= 45mm, ancho= 25mm y espesor= 6mm, con el fin de darle estabilidad a todo el sistema como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2. 1: Elementos principales del prototipo [Autores].

Sobre la base se fija el cilindro de acero A36 Figura 2.2, cuyas dimensiones son diámetro= 125mm, altura=175 mm y espesor= 2mm que simula al tanque de molienda.



Figura 2. 2: Tanque de molienda [Autores].

La tapa está construida con acero A36 de diámetro= 125mm, espesor= 2mm y en su alrededor se fija una platina de acero A36 de ancho= 10mm y espesor= 2mm, además en la mitad de la tapa se construye una caja que aloja y sujeta un rodamiento de $\frac{3}{4}$ de pulgada para su correcta fijación en el tanque de molienda la que se observa en la Figura 2.3.



Figura 2. 3: Tapa de molienda [Autores].

El eje agitador será el encargado de transmitir la fuerza, fabricado con un eje de acero A36, diámetro= 3/4 de pulgada y longitud= 400mm. En su parte superior este se ha fijado mediante un prisionero a una polea y en su parte inferior se ha soldado dos ejes pequeños de 3/8 de pulgada y longitud= 90mm que simulan a los agitadores, como muestra la Figura 2.4.

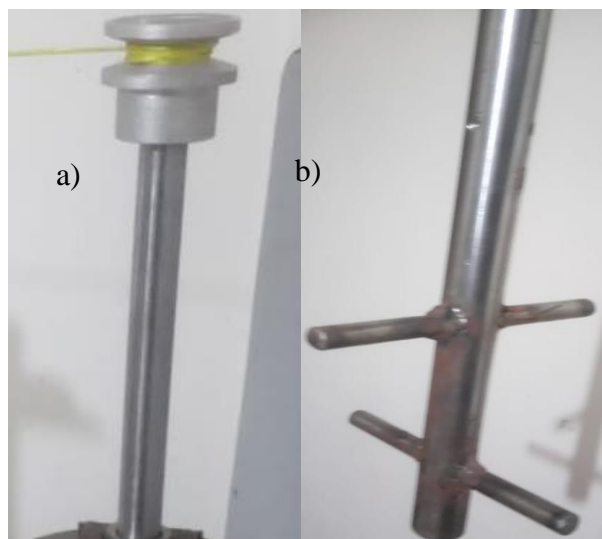


Figura 2. 4: a) Polea encargada de transmitir la fuerza. b) Ejes agitadores [Autores].

En la figura 2.5 se muestra la base principal fijada a un mecanismo de transmisión de la fuerza que consta de dos tubos cuadrados de acero A36 de dimensiones iguales, ancho= 20mm y longitud= 305mm; separados a una distancia de 120.5mm. Además, en la parte superior de los dos tubos cuadrados se acoplan bases de chumacera, las que alojarán rodamientos de 3/4 de pulgada con su respectivo eje.



Figura 2. 5: Sistemas de transmisión de la fuerza [Autores].

2.1.2 Funcionamiento

Para la determinación de la fuerza dentro de la cámara de molienda se sigue una serie de procedimientos detallados a continuación.

En el interior del cilindro se coloca la masa real ocupada por los elementos moledores fabricados en acero al carbono, luego se cubre con la tapa y el eje agitador atravesado por el rodamiento, con el fin de provocar la resistencia ocasionada por las bolas de molienda en el interior del cilindro, para posteriormente cargarlas con pesas en el sistema de transmisión de fuerzas entre poleas mediante un cable tensor que no afecta al movimiento como se observa en la Figura 2.6, para que de esta manera poder estimar la fuerza una vez que el eje agitador rompa la inercia dentro de la cámara de molienda. Los valores determinados en el prototipo serán de importancia a la hora del diseño en el próximo capítulo.

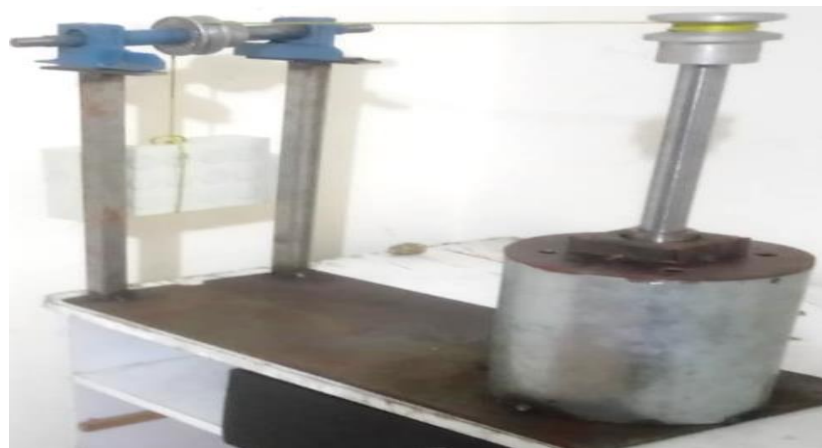


Figura 2. 6: Prototipo de sistema de molienda [Autores].

2.2 Caracterización del acero inoxidable

Las formas de contaminación que tienen lugar dentro del tanque de la molienda no solo se producen por efectos atmosféricos o presencia de oxígeno, sino que también se producen por presencia de partículas originadas por el desgaste de los elementos que intervienen directamente en la molienda como el contenedor, eje agitador y los elementos moledores, es por todo esto que es recomendable utilizar materiales de mejor calidad disponible comercialmente [19].

Los elementos a tomar en cuenta deberán ser fabricados con materiales de mejores propiedades mecánicas que permitan evitar este efecto, por lo cual se ha considerado inicialmente utilizar acero H13, pero debido a su alto costo, su compleja maquinabilidad y a que no se puede conseguir comercialmente, se ha optado por utilizar acero inoxidable 304 de buenas propiedades mecánicas que se describirán a continuación [19]:

- Son aleaciones de hierro (Fe) y un mínimo de 10,5% de cromo (Cr)
- Debido al porcentaje de cromo presente le da al acero gran resistencia a la corrosión.
- Gran resistencia al desgaste.
- Tiene gran resistencia mecánica a las altas temperaturas y buenas resistencias y ductilidad a bajas temperaturas.
- Gran resistencia, ductilidad y tenacidad en grandes rangos de temperatura como desde la criogénica hasta temperaturas mayores a 1000 °C.
- Facilidad para el trabajo en diferentes condiciones y para diferentes procesos.
- Facilidad para la limpieza.
- Bajo costo en el mercado con relación a los otros aceros especiales.

En la Tabla 2.2 y Tabla 2.3 se hace referencia a la composición química y física del acero inoxidable 304 el cual será la materia prima de algunos de los elementos de maquina a maquinar.

Tabla 2. 2: Datos de la composición química del acero inoxidable 304 [19].

Composición química del Acero Inoxidable 304							
%C	% Si	%Mn	%PMax	%S	%Cr	% Ni	% Mo
≤ 0, 08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤0.045	≤0.015	18.0–20.0	8.0 – 15.0	---

Tabla 2. 3: Propiedades físicas que presenta el acero Inoxidable 304 [19].

Propiedades Físicas	
Resistencia a la Tracción (kg/ mm ²)	54
Resistencia a la Cedencia min (kg/ mm ²)	21
Elongación %	58 min
Dureza HB Max	190

2.3 Métodos

Para el Presente Proyecto Técnico se utilizó los siguientes métodos:

2.3.1 Método Científico

Este tipo de investigación realizada es de carácter científico ya que, el objetivo principal de la fabricación del molino tipo Attritor es generar aleaciones mecánicas de diferentes compuestos, analizarlos y estudiarlos para aplicarlos en procesos de Pulvimetalurgia.

2.3.2 Método Comparativo

Se utiliza este método debido a que se realizan comparaciones con otros modelos de molinos tipo Attritor propuestos por diferentes autores, con el fin de encontrar ventajas y desventajas, que nos permitan implementar un mejor diseño de nuestro modelo a construir.

2.3.3 Método Cuantitativo

El método Cuantitativo empleado es muy importante debido a la gran cantidad de valores numéricos utilizados para el diseño del molino tipo Attritor, los cuales influirán en la selección de los materiales adecuados.

2.3.4 Método bibliográfico

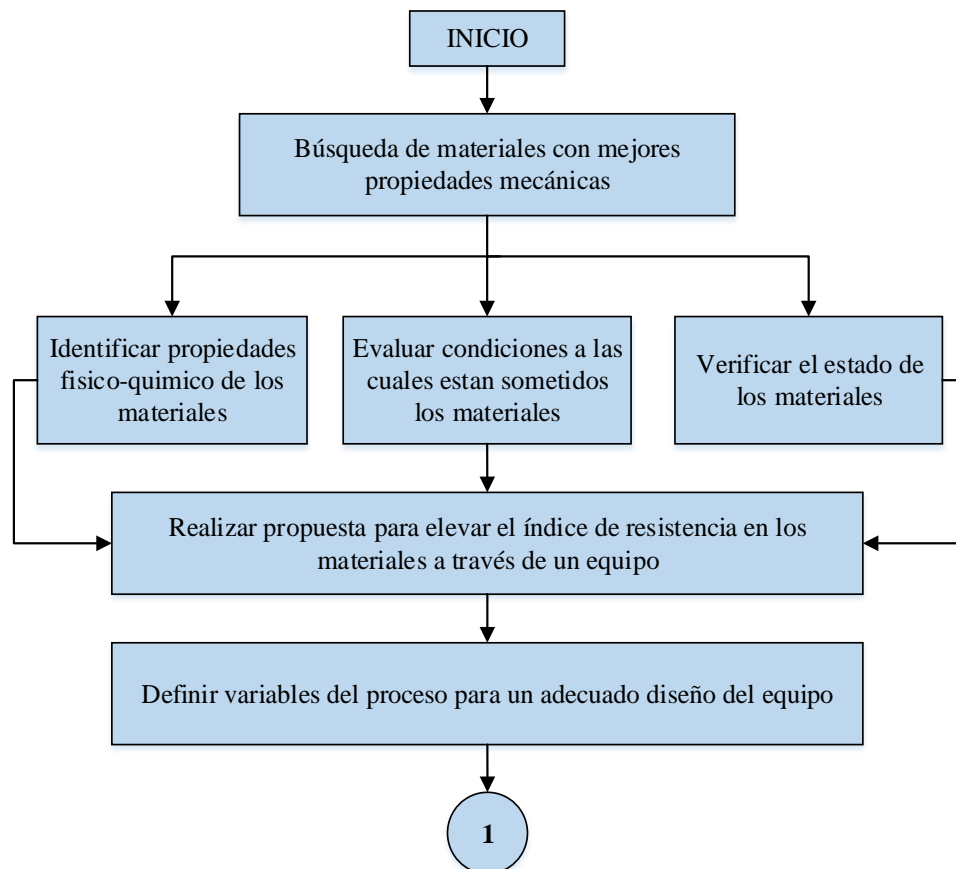
La investigación realizada para este Proyecto Técnico se basa principalmente de la recolección de información proveniente de libros, artículos técnicos, normas, trabajos de titulación, etc. De donde se obtendrá valiosa información que complementará nuestra investigación.

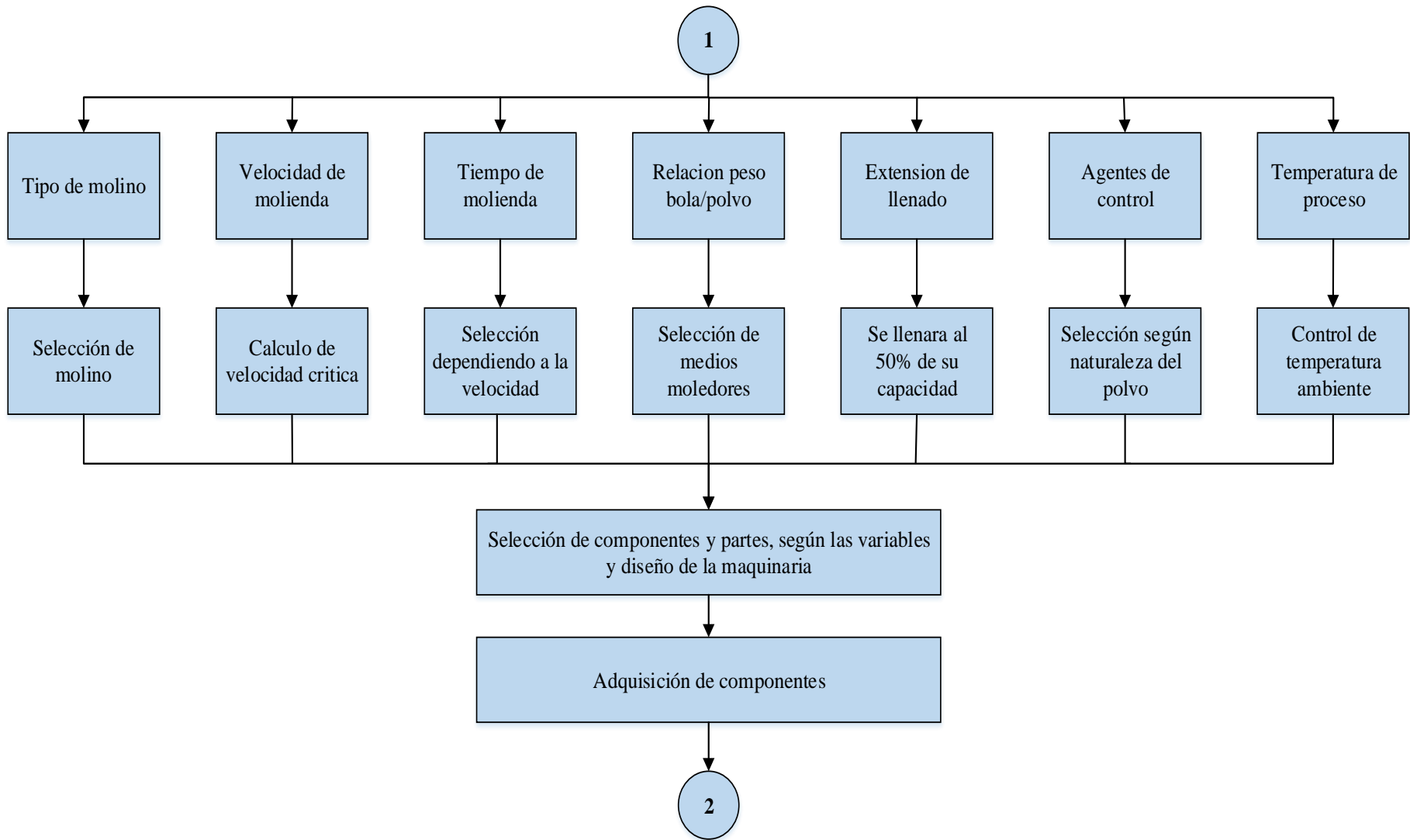
2.3.5 Método experimental

La investigación realizada también es de tipo experimental debido a que se construye un prototipo para la determinación parámetros requeridos en el diseño basados principalmente en la estimación de fuerzas desconocidas para lo cual se experimentó con la variación de masas.

2.4 Metodología del proceso de fabricación del molino de atrición

En la Figura 2.7, se ha realiza un flujograma el cual parte de una necesidad de la búsqueda de nuevos materiales altamente resistentes al desgaste entre elementos hasta la obtención del producto que es la construcción del molino de atrición.





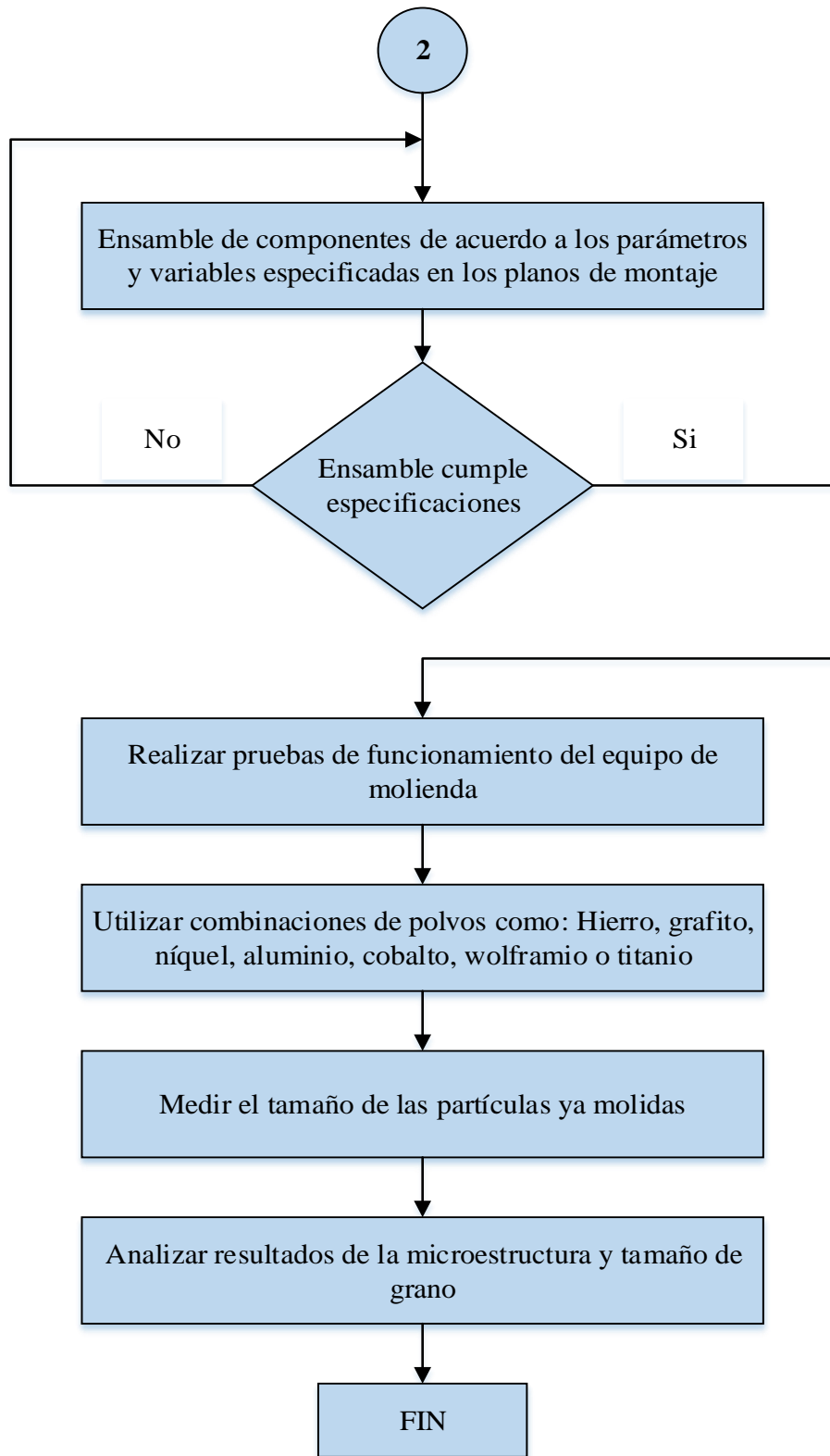


Figura 2. 7: Flujograma del sistema de molienda partiendo desde la necesidad del diseño de un equipo [Autores].

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Selección de Alternativas

Para el Diseño final y Construcción del Molino Attritor del presente Capítulo, se ha tomado en cuenta varios parámetros que se ha considerado importantes, que influyen directamente en el objetivo y funcionalidad de la máquina, además nos permitirán seleccionar las alternativas de solución más adecuadas, para cada sistema en que se ha dividido la máquina. Para ello se ha realizado un estudio de alternativas en el que se plantean evaluar detenidamente las ventajas y desventajas de estos parámetros para una adecuada solución constructiva.

Con el fin de agrupar las partes principales del molino de atrición y reconocer fácilmente la función que desempeñan se ha dividido en los siguientes sistemas:

3.1.1 Sistema de Transmisión de Potencia

Desde el punto de vista de diseño, el sistema de transmisión de potencia está dado por un mecanismo o motor del cual necesita tener un impulso de salida. Este sistema es un medio asignado a la maquinaria en el que se transmite la potencia ejercida desde el motor a través del movimiento rotatorio de un eje sujeto por cojinetes a los que se puede agregar mecanismos de reducción para modificar su velocidad de salida.

3.1.1.1 Alternativa A: Acope flexible de arrastre

Los acoples se caracterizan principalmente por estar comprendidos por dos partes siendo estos: superior encajada al motor por medios de elementos sujetadores y posterior encajada al eje agitador encargado de la rotación del mecanismo de molienda, como se muestra en la Figura 3.1. Este tipo de acoples son usualmente confiables para transmitir potencia de motores eléctricos. Encargado de absorber las vibraciones y desviaciones ocasionales en el montaje del equipo. Esta geometría es útil para permitir el deslizamiento angular y transmitir con mucha mayor suavidad la torsión producida. Sus aplicaciones se

utilizan comúnmente en compresores ventiladores, reductores de velocidad, transportadores, etc.

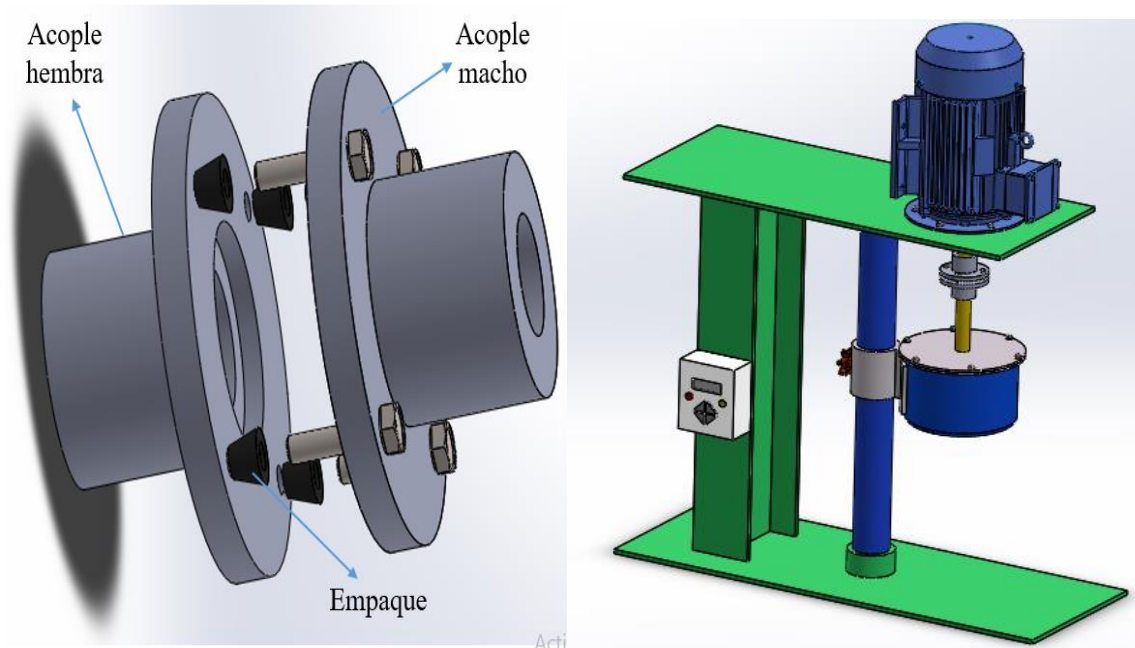


Figura 3. 1: Alternativa A; Acople flexible de arrastre [Autores].

Ventajas:

- Facilidad de montaje y conexión.
- Buena capacidad de absorción de vibraciones producida por el motor.
- No requiere de lubricación.
- Resistencia hacia cualquier medio propicio.
- Buena capacidad de absorción de desviaciones.

Desventajas:

- Eventualmente se desaprovecha la energía al utilizar núcleos elastómeros, debido a que estos absorben el rendimiento motriz al transmitir potencia.
- Cuando los acoples giran a altas velocidades, cortan el aire generando una generación de calor significativo.
- Desgaste prematuro de empaques absorbedores de ruido y vibraciones.

3.1.1.2 Alternativa B: Bandas

La transmisión de potencia por bandas se basa en un elemento flexible que transmite la potencia mecánica ejercida por el motor entre dos ejes o más que se encuentran separados por una cierta distancia mínima, como se observa en la Figura 3.2, en el cual los elementos portadores deben ser uno conductor y otro conducido que depende del tipo y tamaño de banda. A su vez estos pueden variar la velocidad de giro del motor dependiendo el diámetro de requerimiento.

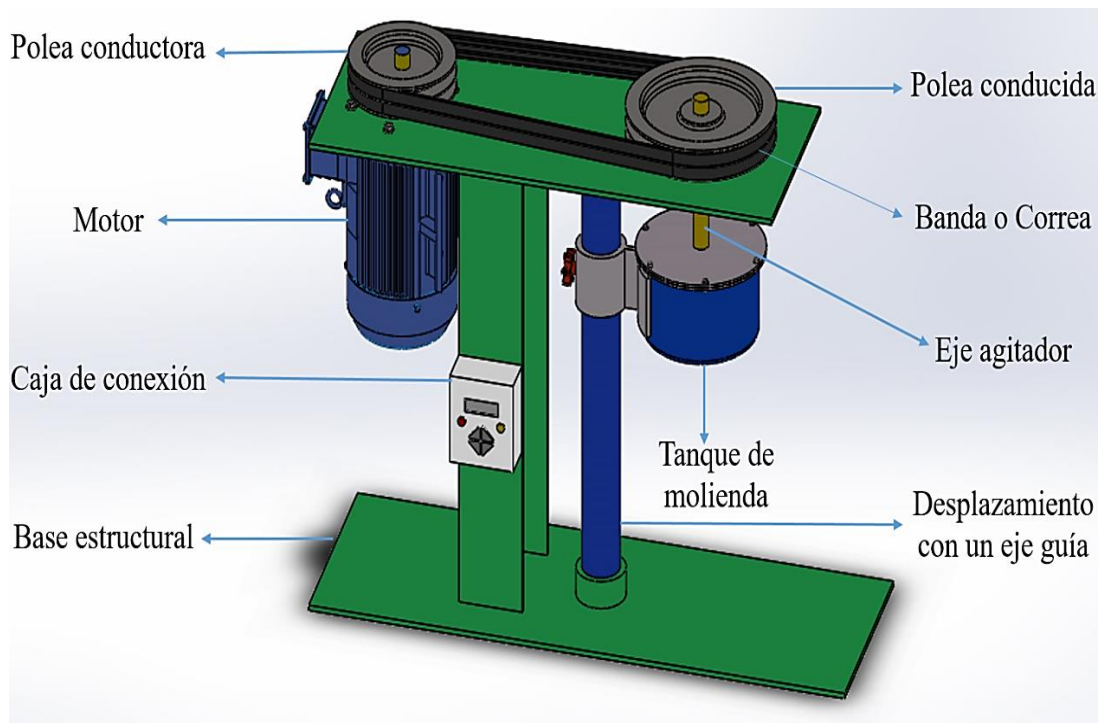


Figura 3. 2: Alternativa B; Sistema de transmisión de potencia por bandas [Autores].

Ventajas:

- Se puede emplear en grandes distancias entre centros.
- Funcionamiento relativamente suave y silenciosos.
- Costo de adquisición relativamente bajo.
- Fácil mantenibilidad.
- Diseño sencillo.

Desventajas:

- Grandes dimensiones en el exterior.
- Inconsistencia en su velocidad de salida debido a deslizamientos entre los elementos del sistema.
- Corta vida útil de trabajo de la banda.
- Grandes cargas entre apoyos y por consiguiente considerables pérdidas de potencia debido a la fricción entre piezas.

3.1.1.3 Alternativa C: Engranés

La transmisión por engranes es uno de los sistemas más utilizados para transmitir potencia desde el motor, debido a su exactitud en la relación de transmisión, es por esto que este tipo de sistemas se lo utiliza en máquinas alta precisión. Por otro lado, los materiales con los cuales se fabrican son de gran dureza y rigidez. Para la transmisión de altos pares de torsión a velocidades elevadas manteniendo la relación de transmisión. A la vez este sistema permite modificar la velocidad de giro del eje conductor hacia al conducido. En la Figura 3.3 se visualiza el montaje de este elemento de maquina hacia el eje agitador encargado de la molienda.

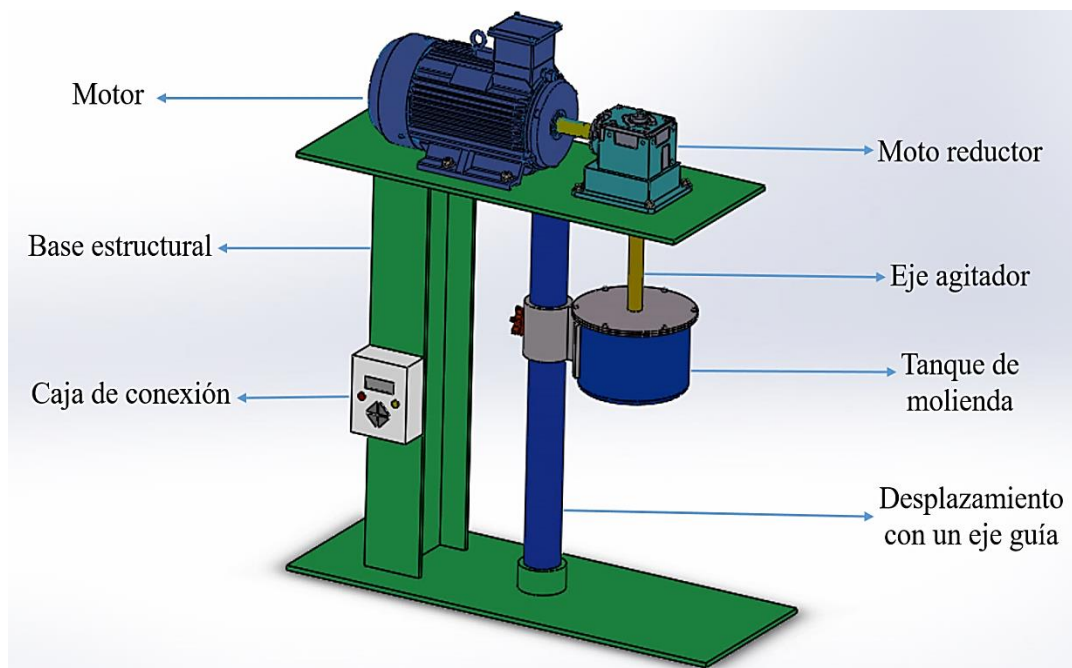


Figura 3. 3: Alternativa C; Sistema de transmisión de potencia por Engranés [Autores].

Ventajas:

- Gran exactitud en la relación de transmisión.
- Dimensiones exteriores relativamente pequeñas.
- Fiabilidad de funcionamiento.
- Ausencia de patinaje en el sistema
- Fácil mantenibilidad dependiendo la accesibilidad del montaje.

Desventajas:

- Crean fuerzas y momentos que afectan al eje y sus cojinetes.
- Gran área superficial de contacto, lo que hace un excesivo desgaste en el material.
- Rotura de dientes debido a las fisuras de maquinado.
- Aplicación crítica de lubricante debido a las fuerzas elevadas de contacto.

3.1.2 Sistema de Molienda

El sistema de molienda es básicamente la reducción de grano de los polvos a alearse y se caracteriza por la reducción de tamaño de grano de los productos a moler, que pueden estar mm o μm . Dependiendo del tamaño de grano exigido por los métodos posteriores a este proceso como es el caso de sinterizado. Para esto se utilizan diversas partes y mecanismos que facilitaran la ejecución del proceso de molienda, como es el caso de los distintos agitadores que suministran la energía producida por el motor hacia los medios molidores.

3.1.2.1 Alternativa A: Agitador de discos

Este tipo de agitador está compuesto básicamente por dos discos los cuales pueden estar centrados o de forma excéntrica con el fin de acelerar drásticamente las bolas de molienda dentro del contenedor como se observa en la Figura 3.4. La zona activa de los discos es donde se presenta la mayor parte de la interacción entre el producto bolas y agitador causando un movimiento axial a las bolas. Una vez que se accione el equipo los medios molidores llegan al contenedor donde estas serán obligadas a invertir su dirección hacia el agitador debido a la geometría del disco. Además, estos pueden optar por diferentes

formas con el fin de incrementar la energía suministrada hacia los medios molidores dentro del contenedor.

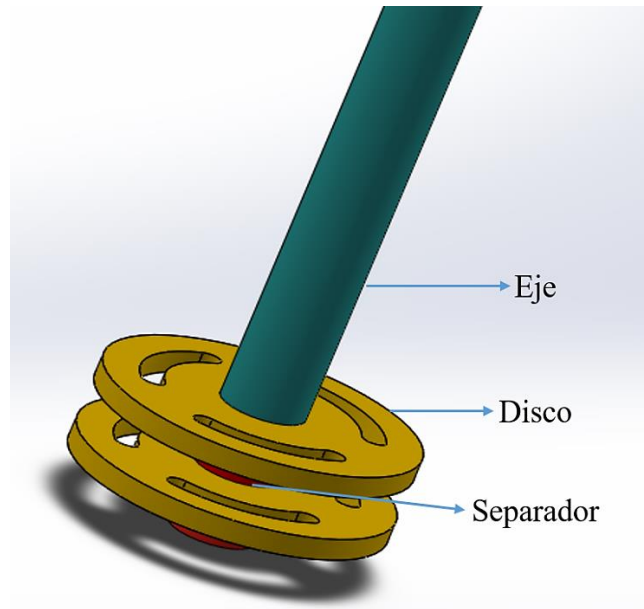


Figura 3. 4: Alternativa A; Agitador de discos [Autores].

Ventajas:

- Alto aporte de energía suministrado hacia las bolas de molienda.
- Facilidades en el montaje.
- Mayor interacción contra el producto y medios molidores.
- Fácil mantenibilidad.
- Se utiliza en materiales húmedos o secos.

Desventajas:

- Dificultad en la fabricación de los discos debido a su geometría.
- Probabilidad de desgaste debido a la gran superficie de contacto.
- Mayor contaminación en la molienda.

3.1.2.2 Alternativa B: Agitador de brazos

Este tipo de agitadores están compuestos básicamente de un eje sobre el cual se acoplan en forma perpendicular brazos, los mismo que cumplirán la función de agitar a las bolas

de molienda y por tanto los materiales o combinaciones de polvo. El cumplimiento de su función es básico ya que la potencia transmitida por el eje, hace que los brazos suministren energía de impacto y fracción hacia los medios moledores. De esta forma el material es deformado hasta el punto de deformarlo y cumplir el proceso de molienda. Por lo tanto, este tipo de agitador es uno de los más sencillos, pero realmente eficientes a la hora de la molienda. En la Figura 3.5 se muestra la composición del elemento de molienda.

Un dato importante a tomar en cuenta es que este tipo de agitador tiene 3 o 4 filas de brazos agitadores en excepción a los utilizados en los molinos attritor los cuales poseen más filas dependiendo del volumen del contenedor. Sin embargo, un mayor número de brazos significa más potencia en el motor es así que esto difiere de los parámetros de selección dentro del diseño del equipo.

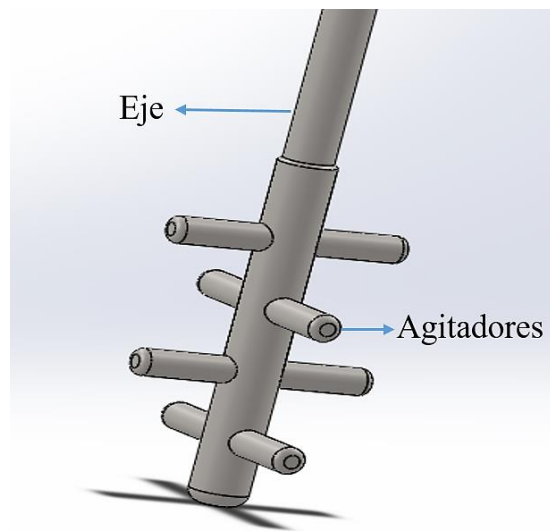


Figura 3. 5: Alternativa B; Agitador de brazos [Autores].

Ventajas:

- Gran suministro de energía hacia los medios moledores.
- Grandes esfuerzos de impacto, creando esfuerzo de corte en el material.
- Fácil mantenibilidad.
- Fácil limpieza.
- Fácil fabricación.

Desventajas:

- Desgaste de los brazos agitadores debido al tiempo de molienda.
- Desprendimiento de material entre los brazos agitadores y los medios molidores debido al alto índice de impacto.

3.1.2.3 Alternativa C: Agitador de hélice

Este tipo de agitador se basa una hélice sujeta al eje transmisor de potencia, siendo empleados cuando se requiere de intensas corrientes verticales. Su funcionamiento básicamente es impulsar el contenido hacia el fondo del tanque, donde la corriente se desplaza a través de las paredes y retorna a la hélice. Generalmente este tipo de agitador son utilizados para fluidos viscosos y de altas densidades. En la Figura 3.6 se muestra la geometría que conforma al sistema de agitación.

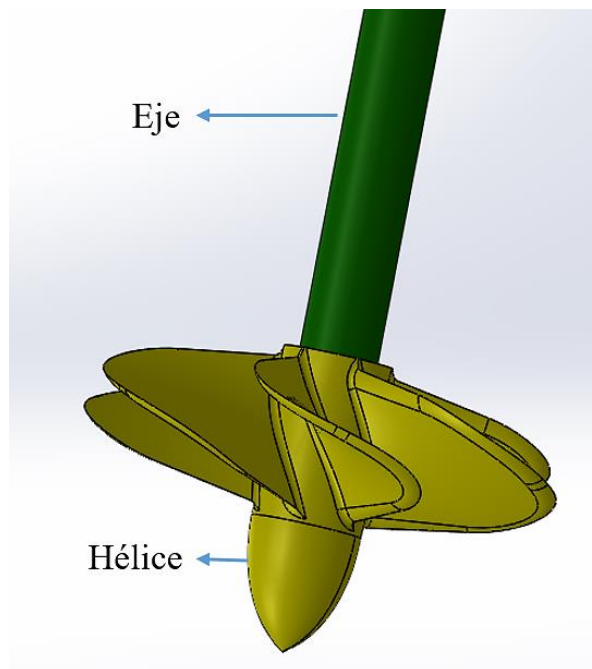


Figura 3. 6: Alternativa C; Agitador de hélice [Autores].

Ventajas:

- Alto esfuerzo de corte e impacto debido al flujo vertical.
- Fácil limpieza.

Desventajas:

- Elevado costo de fabricación debido a su geometría.
- Tendencia a la ruptura de las hélices.
- Dificultades en el mantenimiento.

3.1.3 Selección de Alternativas en el Sistema de Desplazamiento del Contenedor

Este sistema permite desplazar el tanque de molienda con facilidad y sin ningún tipo de inconveniente tanto para la colocación de la materia prima como para la extracción de la molienda final.

3.1.3.1 Alternativa 1: Desplazamiento del Contenedor Vertical de dos Ejes guías

Consiste en colocar dos ejes verticales que sirvan de guías, para el fácil desplazamiento del tanque de molienda, y para una buena sujeción se lo realiza mediante pernos sujetadores que se encuentran en los ejes guías deslizantes como se aprecia en la Figura 3.7. Así se garantiza que el tanque de molienda permanezca firme y el brazo agitador realice su operación.

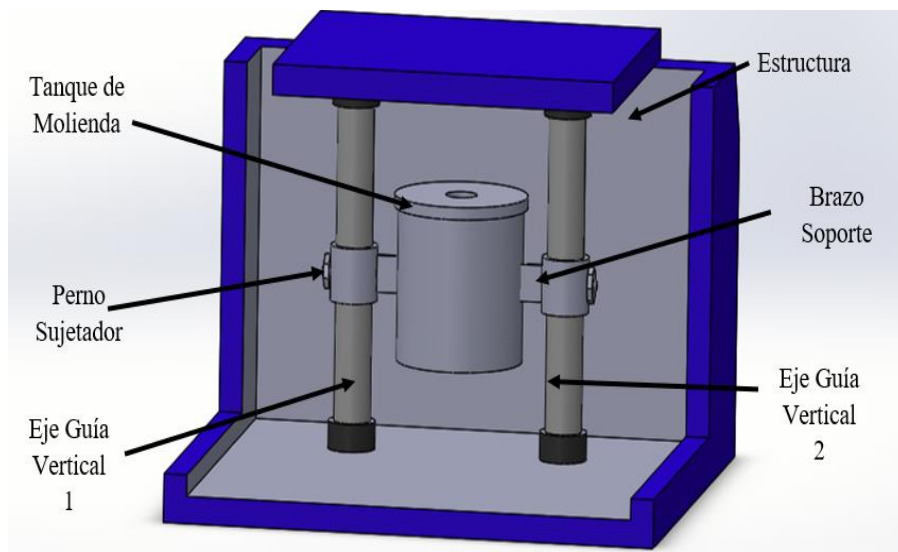


Figura 3. 7: Sistema de desplazamiento vertical de dos guías [Autores].

Ventajas:

- Fácil construcción y montaje del sistema de desplazamiento del contenedor.
- Los dos ejes guías deslizantes permiten gran estabilidad del contenedor al momento en que se realiza la operación de molienda.
- La fijación del tanque de molienda mediante los pernos sujetadores es muy fácil de realizar.
- Los materiales que se requieren para la construcción de este sistema son fáciles de conseguir comercialmente en nuestro medio.

Desventajas:

- El desplazamiento del contenedor puede verse dificultada si no se controla el apriete de los pernos sujetadores.
- La utilización de los dos ejes guías para el desplazamiento del contenedor se ve afectada en el espacio, ya que este se ve reducido, lo que provoca que se dificulte operaciones como de carga y obtención de la molienda final.

3.1.3.2 Alternativa 2: Desplazamiento del Contenedor Manual y Sujeción Tipo prensa

El sistema de desplazamiento en esta alternativa consiste principalmente en colocar el tanque de molienda de forma manual a una distancia óptima para que el brazo agitador realice su operación una vez en funcionamiento y para asegurar su sujeción se realiza mediante un mecanismo tipo prensa, que consta de dos tornillos de apriete fijos en cada extremo de la base de la máquina, que al ajustar permiten que las mordazas sujeten el contenedor como se puede observar en la Figura 3.8.

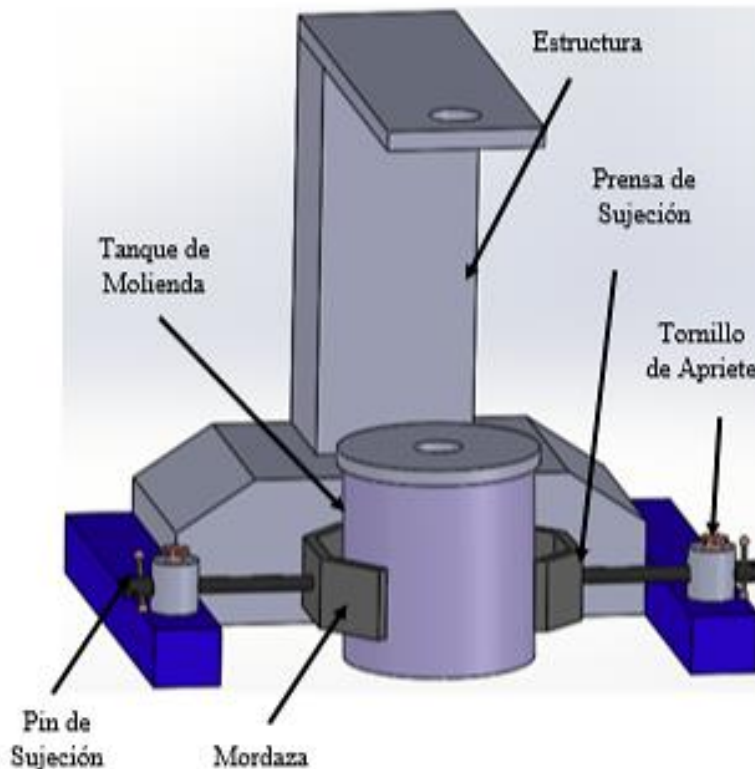


Figura 3. 8: Sistema de desplazamiento tipo prensa [Autores].

Ventajas:

- Fácil construcción y montaje del sistema de sujeción del contenedor.
- Fácil sujeción del contenedor mediante la utilización de los tornillos de apriete.
- Se puede controlar de mejor manera el ajuste adecuado.
- Los materiales se pueden encontrar con facilidad comercialmente.

Desventajas:

- No se puede tener un correcto alineamiento entre el contenedor y el brazo agitador, lo que ocasionaría que se genere vibraciones.
- Si no se realiza un ajuste adecuado el contenedor se caería ya que no tendría en que sujetarse, lo que generaría un gran problema y más aún si está en funcionamiento.
- Para mayor seguridad al momento de la extracción del tanque de molienda se lo debe realizar con cuidado y con la intervención de dos personas, una que se encargue de sujetar el contenedor y la otra persona que afloje los tornillos de apriete.

3.1.3.3 Alternativa 3: Desplazamiento del Contenedor Horizontal de guías horizontales

Esta alternativa consiste en utilizar guías horizontales para el desplazamiento del contenedor permitiendo realizar óptimas operaciones de carga y extracción del material de molienda, su sujeción consta de pernos manija que permiten ajustar un portacontenedor fabricado para sujetar el tanque de molienda, y garantizar su estabilidad sobre la estructura base como se muestra en la Figura 3.9.

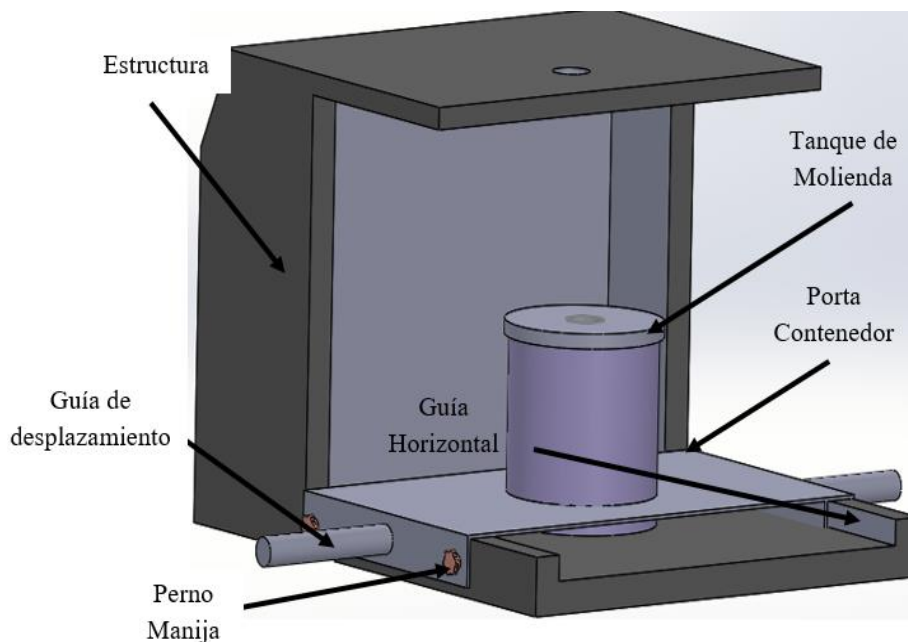


Figura 3. 9: Sistema de desplazamiento horizontal [Autores].

Ventajas:

- Las guías horizontales permiten un fácil desplazamiento del contenedor.
- La ubicación del contenedor sobre una base y por medio de un portacontenedor hace que tenga una gran sujeción y estabilidad.
- Facilidad para realizar el mantenimiento.
- Debido a su desplazamiento horizontal permite tener gran espacio para manipular el tanque de molienda.

Desventajas:

- El desplazamiento horizontal del contenedor puede verse afectado si no se controla el ajuste del perno manija.

3.1.4 Selección de Alternativas en el Sistema de Refrigeración

El calor generado en el interior del tanque de molienda es uno de los parámetros importantes a controlar en el proceso, lo cual es provocado por la energía de impacto que se genera por el choque de los elementos molidores con el material, por lo que se necesita refrigerar la parte externa del contenedor para evitar la aglomeración de partículas en las paredes y deformaciones que ocasionen fallas.

3.1.4.1 Alternativa 1: Refrigeración por recirculación Líquida

Para enfriar el tanque de molienda, esta alternativa consiste en hacer recircular un líquido refrigerante por medio de una bomba, por los alrededores del contenedor que están protegidos por una camisa o cámara de refrigeración. En donde el líquido refrigerante sale en uno de los extremos superior de la cámara para que de esta forma se garantice el llenado de la misma como se observa en la Figura 3.10.

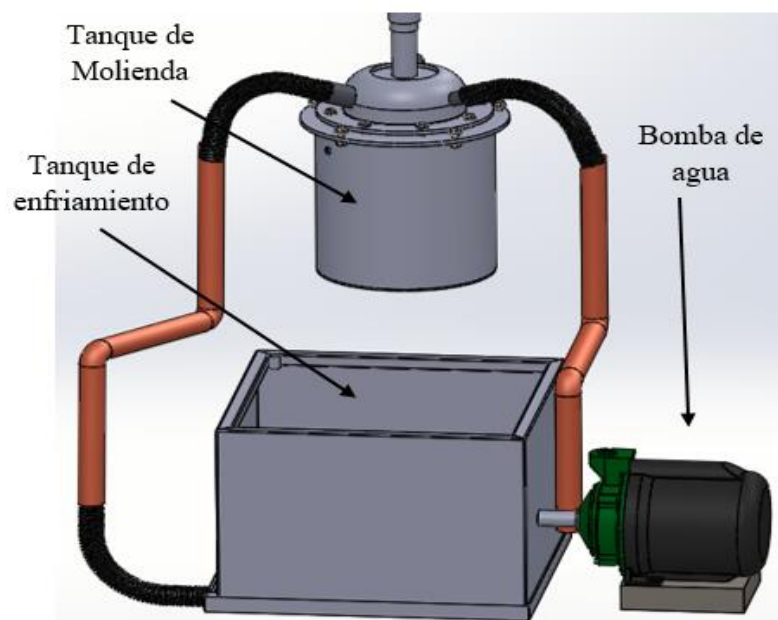


Figura 3. 10: Refrigeración por recirculación líquida [Autores].

Ventajas:

- La recirculación de un líquido es uno de los métodos más eficientes de transferir calor, debido a que posee un calor específico alto y es uno de los mejores conductores térmicos.
- Es fácil de implementar y tiene un costo medio.
- No se utilizará mucho fluido, debido a que estará en constante recirculación.
- El sistema de molienda no se verá afectado por la instalación del sistema de refrigeración por recirculación líquida, ya que se realizará externamente.

Desventajas:

- Debido a la constante recirculación y uso de la máquina se verán afectadas a largo plazo las zonas de uniones y sellados, los mismos que están sujetos a cambios.

3.1.4.2 Alternativa 2: Refrigeración por convección forzada de aire

Este sistema de refrigeración consiste en enfriar el tanque de molienda haciendo uso del aire. Para lo cual se usa un dispositivo (generalmente un ventilador) que acelera el ingreso del flujo de aire e ingresan por las aletas que presenta en su diseño el contenedor como se muestra en la Figura 3.11.

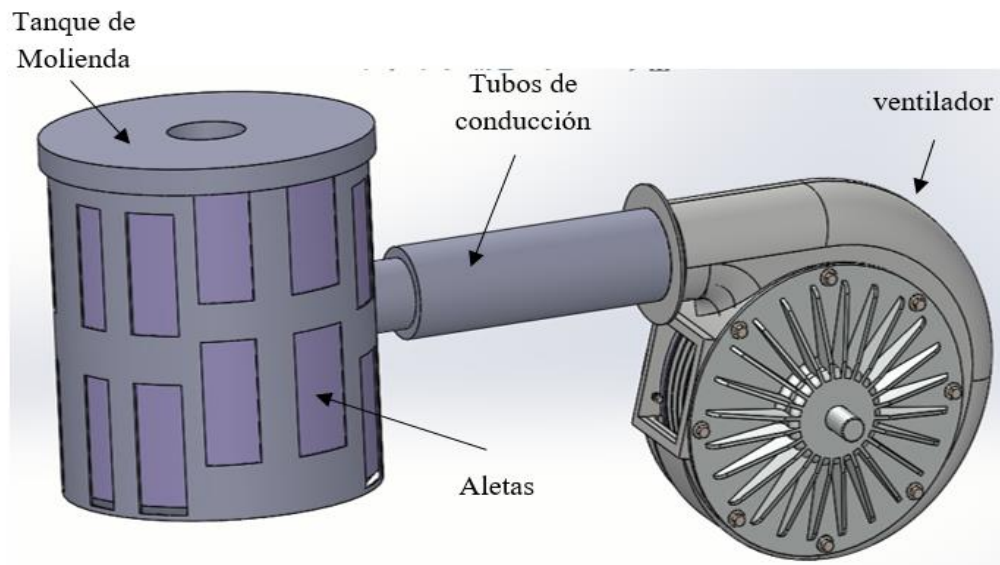


Figura 3. 11: Sistema de refrigeración por aire forzado [Autores].

Ventajas:

- La distribución del aire es uniforme gracias a las aletas, lo que permite disipar el calor por todo el contenedor.
- El flujo de aire actúa por la parte externa del contenedor por lo cual no hay riesgo de contaminación de la molienda.

Desventajas:

- El mantenimiento del sistema de refrigeración por aire es más complejo de realizar.
- Para una mayor eficiencia del aire generado por el ventilador, se debe colocar un dispositivo adicional que dirija el flujo de aire.

3.1.4.3 Alternativa 3: Refrigeración por intercambiadores de calor

Para este sistema de refrigeración se planea enfriar un fluido proveniente de la recirculación del tanque de molienda con otro fluido refrigerante del intercambiador por medio de la transferencia de calor. Cabe indicar que el intercambiador se instalará en la parte externa independiente al molino Attritor. En la Figura 3.12 se muestra el sistema de enfriamiento por intercambiador de calor.



Figura 3. 12: Sistema de refrigeración por intercambiador de calor [Autores].

Ventajas:

- Es muy eficiente para disminuir altos grados de temperatura.
- Son muy resistentes a sufrir daños como golpes e impactos.

Desventajas:

- La compra e instalación de un sistema de refrigeración por intercambiadores de calor representa un costo elevado
- La implementación de este tipo de sistema ocupa un espacio considerable.

3.2 Evaluación de las alternativas de solución

Para la evaluación de las alternativas de cada sistema propuesto se va a emplear el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados, en donde los valores que se tomarán en cuenta para los criterios serán los siguientes:

1= si el criterio de las filas es superior al 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 al de las columnas.

Para la ponderación final se suman los valores de cada criterio con relación a los criterios restantes al cual se añade la unidad para evitar que el criterio poco favorable sea nulo.

Así aplicando este método se encontrará la alternativa de solución para cada tipo de sistema que compone el molino tipo Attritor, respecto a cada criterio que se ha considerado. Finalmente se elaborará un cuadro de resúmenes con las soluciones más adecuadas para posteriormente ser construidas.

3.2.1 Sistema de transmisión de potencia

La selección se llevará a cabo tomando considerando las ventajas y desventajas que muestra cada una de las posibles alternativas, es por esto que se toma en cuenta algunos criterios los cuales ayudaran con la selección más idónea para el diseño.

Montaje. Se refiere a las actividades de ensamble del sistema entre los ejes suministradores de energía hacia el contenedor.

Estabilidad. Las acciones de movimiento rotatorio que genera el motor entre los ejes, no deberá mover o desplazar el sistema o a su vez de tal forma poner en vibración al equipo.

Costo. Contempla en todos los casos la relación al costo beneficio del equipo.

Fiabilidad. En este caso se hace referencia al mecanismo transmisor de potencia ya que este cumple la función de transmitir torque desde el motor hacia el eje agitador llevando a cabo grandes fuerzas y esfuerzos en sus elementos de transmisión de potencia.

Mantenimiento. Los elementos del cual está compuesto el sistema deberá ser comerciable, es decir que se puedan encontrar fácilmente en el stock del mercado.

Calidad. Este criterio hace referencia a la seguridad que presentan los elementos al momento de la ejecutar el trabajo sin poner en riesgo los demás sistemas del equipo.

En la Tabla 3.1, se presenta los criterios selección para el sistema de transmisión de potencia en base a los requerimientos de funcionamiento y diseño del equipo.

Tabla 3. 1: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de transmisión de potencia [Autores].

Montaje < Estabilidad > Costo < Fiabilidad > Mantenimiento < Calidad = Estabilidad								
Criterios de selección	Montaje	Estabilidad	Costo	Fiabilidad	Mantenimiento	Calidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Montaje		0	0.5	0	0.5	0	2	0.095
Estabilidad	1		1	0	0.5	0.5	4	0.190
Costo	0.5	0		0	0.5	0.5	2.5	0.119
Fiabilidad	1	1	1		0.5	0.5	5	0.238
Mantenimiento	0.5	0.5	0.5	0.5		1	4	0.190
Calidad	1	0.5	0.5	0.5	0		3.5	0.167
						Σ	21	1

Las siguientes tablas; Tabla 3.2 a la Tabla 3.7, nos indican la evaluación de cada una de las alternativas de forma individual a los criterios de selección del sistema de transmisión de potencia.

Tabla 3. 2: Evaluación de criterios de montaje del sistema [Autores].

Montaje	Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.500
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0.250
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.250
Suma				6	1

Tabla 3. 3: Evaluación de criterios de estabilidad del sistema [Autores].

Estabilidad	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.417
Alternativa 2	0		0	1	0.167
Alternativa 3	0.5	1		2.5	0.417
Suma				6	1

Tabla 3. 4: Evaluación de criterios de costo del sistema [Autores].

Costo	Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.500
Alternativa 2	0		1	2	0.333
Alternativa 3	0	0		1	0.167
Suma				6	1

Tabla 3. 5: Evaluación de criterios de fiabilidad del sistema [Autores].

Fiabilidad	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.417
Alternativa 2	0		0	1	0.167
Alternativa 3	0.5	1		2.5	0.417
Suma				6	1

Tabla 3. 6: Evaluación de criterios de mantenimiento del sistema [Autores].

Mantenimiento	Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.500
Alternativa 2	0		1	2	0.333
Alternativa 3	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Tabla 3. 7: Evaluación de criterios de calidad del sistema [Autores].

Calidad	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0.5	2	0.333
Alternativa 2	0.5		0	1.5	0.250
Alternativa 3	0.5	1		2.5	0.417
			Suma	6	1

Tabla 3. 8: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución [Autores].

Conclusión	Criterios de selección							Ponderación
	Montaje	Estabilidad	Costo	Fiabilidad	Mantenimiento	Calidad	Σ	
Alternativa 1	0.048	0.079	0.060	0.099	0.095	0.056	0.437	1
Alternativa 2	0.024	0.032	0.040	0.040	0.063	0.042	0.240	3
Alternativa 3	0.024	0.079	0.020	0.099	0.032	0.069	0.323	2

Los resultados de la Tabla 3.8, se elige a la alternativa 1 como la más adecuada para el sistema.

3.2.2 Sistema de molienda

Para este tipo de sistemas se toma en cuenta algunos de los criterios de valoración en base a los requerimientos necesarios de diseño, debido a que de este dependerá la selección de una de las alternativas más adecuadas.

Mantenimiento. Las acciones del criterio son claves debido a que de este depende la durabilidad de los elementos del equipo, por lo que el sistema se encuentra ubicado en un punto de constante desgaste de los elementos que conforman el sistema.

Facilidad de construcción. En este punto se considera la disponibilidad del proceso debido a la geometría que consta cada una de las alternativas de selección para facilitar de tal forma su fabricación.

Costo. Se hace relación principalmente al costo-beneficio que se obtendrá del sistema a largo plazo.

Fiabilidad. Los elementos que constan del sistema deberán cumplir los requisitos mínimos de seguridad para evitar fallas infantiles en las pruebas de funcionamiento.

Calidad. Este criterio es uno de los más relevantes provisto para el sistema ya que de este dependerá el grado de contaminación que presenta la aleación por desgaste del medio agitador.

Aplicabilidad. Referido a las materias primas debido a que estas se pueden presentar a la hora de la molienda de forma seca o húmeda.

En la Tabla 3.9, se presenta los criterios selección para el sistema de molienda en base a los requerimientos de funcionamiento y diseño del equipo.

Tabla 3. 9: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de molienda [Autores].

Mantenimiento < Construcción > Costo < Fiabilidad > Calidad < Aplicabilidad								
Criterios de selección	Mantenimiento	Construcción	Costo	Fiabilidad	Calidad	Aplicabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Mantenimiento	0	0	0.5	0	0.5	0	2	0.095
Construcción	1	0	1	0	0.5	0	3.5	0.167
Costo	0.5	0	0	0	0.5	0.5	2.5	0.119

Fiabilidad	1	1	1		0.5	0.5	5	0.238
Calidad	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	3.5	0.167
Aplicabilidad	1	1	0.5	0.5	0.5		4.5	0.214
							Σ	21
								1.000

Evaluación de cada criterio de selección VS alternativas de solución.

Las siguientes tablas; Tabla 3.10 a la Tabla 3.15 nos indican la evaluación de cada una de las alternativas de forma individual a los criterios de selección del sistema de molienda.

Tabla 3. 10: Evaluación de criterios de mantenimiento del sistema [Autores].

Mantenimiento	Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.417
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.417
Alternativa 3	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Tabla 3. 11: Evaluación de criterios de construcción del sistema [Autores].

Construcción	Alternativa 1 < Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	2	0.333
Alternativa 2	1		1	3	0.500
Alternativa 3	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Tabla 3. 12: Evaluación de criterios de costo del sistema [Autores].

Costo	Alternativa 1 < Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0.5	1.5	0.250
Alternativa 2	1		1	3	0.500
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.250
			Suma	6	1

Tabla 3. 13: Evaluación de criterios de fiabilidad del sistema [Autores].

Fiabilidad	Alternativa 1 < Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0.5	2	0.333
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.417
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.250
			Suma	6	1

Tabla 3. 14: Evaluación de criterios de calidad del sistema [Autores].

Calidad	Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.417
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.417
Alternativa 3	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Tabla 3. 15: Evaluación de criterios de aplicabilidad del sistema [Autores].

Aplicabilidad	Alternativa 1 < Alternativa 2 > Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0.5	2	0.333
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.417
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.250
			Suma	6	1

Tabla 3. 16: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución [Autores].

Conclusión	Criterios de selección							Ponderación
	Mantenimiento	Construcción	Costo	Fiabilidad	Calidad	Aplicabilidad	Σ	
Alternativa 1	0.040	0.056	0.030	0.079	0.056	0.071	0.331	2
Alternativa 2	0.040	0.083	0.060	0.099	0.069	0.089	0.440	1
Alternativa 3	0.016	0.028	0.030	0.060	0.042	0.054	0.228	3

Los resultados de la Tabla 3.16, se elige a la alternativa 2 como la más adecuada para el sistema.

3.2.3 Sistema de Desplazamiento del Contenedor

Los criterios más importantes a ponderar para las alternativas de solución en este sistema son:

- **Estabilidad:** El tanque de molienda debe estar lo suficiente rígido con el fin de que al iniciar la operación de molienda este no vibre.
- **Ergonomía:** Facilidad de desplazamiento y colocación del tanque de molienda, para que una persona recargue material y extraiga la molienda final.
- **Construcción:** los materiales se deben encontrar fácilmente en nuestro medio o cuyo diseño y fabricación no representen inconvenientes.
- **Costo:** El costo que representan los materiales debe justificarse de acuerdo a la función que desempeñan en la máquina y el beneficio que representa su construcción.
- **Montaje:** Representa la facilidad de sujeción de los componentes del sistema de desplazamiento con el tanque de molienda.
- **Fiabilidad:** Los componentes de este sistema deben estar adecuadamente alineados con el brazo agitador para garantizar una correcta molienda y no generar vibraciones.

La Tabla 3.17, se muestra las ponderaciones realizadas en función de los criterios, dándonos a conocer cuál de estos son más relevantes.

Tabla 3. 17: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de desplazamiento del contenedor [Autores].

Estabilidad > Ergonomía > Construcción > Costo < Montaje = Fiabilidad = Montaje								
Criterios	Estabilidad	Ergonomía	Construcción	Costo	Montaje	Fiabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Estabilidad	1	1	1	0,5	0,5	0,5	5	0,238
Ergonomía	0	1	1	0,5	0,5	0,5	4	0,190
Construcción	0	0	1	0	0	0	2	0,095
Costo	0	0	0	1	0	0	1	0,048

Montaje	0,5	0,5	1	1		0,5	4,5	0,214
Fiabilidad	0,5	0,5	1	1	0,5		4,5	0,214
						Σ	21	1,000

Las siguientes tablas; Tabla 3.18 a la Tabla 3.23 nos indican la ponderación realizada por cada alternativa en relación a cada criterio propuesto para el sistema.

Tabla 3. 18: Evaluación de criterios de estabilidad del sistema [Autores].

Estabilidad	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Σ+1	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,333
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 19: Evaluación de criterios de ergonomía del sistema [Autores].

Ergonomía	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Σ+1	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,333
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 20: Evaluación de criterios de construcción del sistema [Autores].

Construcción	Alternativa 1 = Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Σ+1	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,250
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 21: Evaluación de criterios de costo del sistema [Autores].

Costo	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Σ+1	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,333
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 22: Evaluación de criterios de Montaje del sistema [Autores].

Montaje	Alternativa 1 < Alternativa 2 > Alternativa 3 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		1	3	0,500
Alternativa 3	1	0		2	0,333
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 23: Evaluación de criterios de Fiabilidad del sistema [Autores].

Fiabilidad	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,417
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,417
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 24: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución [Autores].

Conclusión	Criterios de Selección							Prioridad
	Estabilidad	Ergonomía	Construcción	Costo	Montaje	Fiabilidad	Σ	
Alternativa 1	0,079	0,063	0,024	0,016	0,036	0,089	0,308	2
Alternativa 2	0,040	0,032	0,024	0,008	0,107	0,036	0,246	3
Alternativa 3	0,119	0,095	0,048	0,024	0,071	0,089	0,446	1

Los resultados de la Tabla 3.24, se elige a la alternativa 3 como la más adecuada para el sistema.

3.2.4 Sistema de refrigeración

Los criterios considerados a ponderar para las alternativas de solución del sistema de refrigeración son los siguientes:

- **Eficiencia:** la capacidad que tiene el sistema de enfriar o disipar el calor de las paredes del tanque de molienda.
- **Mantenibilidad:** facilidad con la que se puede prevenir fallos en la máquina y a su vez la facilidad con la que se puede reemplazar los componentes.
- **Costo:** representa el costo que se generara al adquirir estos sistemas de refrigeración en relación a su beneficio.
- **Construcción:** Los componentes que se fabrican para este sistema se deben conseguir con facilidad en nuestro medio y mediante procesos comunes.
- **Montaje:** se caracteriza por su sencillez y facilidad para unir los componentes de este sistema. De manera que permita realizar las operaciones de manera adecuada.
- **Fiabilidad:** todos sus componentes deben estar en buen estado con el propósito de que no ocurra fallas al momento del funcionamiento.

La Tabla 3.25, se muestra la ponderación obtenida en función de los criterios de selección, en donde podemos ver cuáles de estos son más relevantes.

Tabla 3. 25: Matriz de ponderación de los criterios de selección del sistema de refrigeración [Autores].

Eficiencia = Mantenibilidad > Costo < Construcción < Montaje = Fiabilidad = Montaje								
Criterios	Eficiencia	Mantenibilidad	Costo	Construcción	Montaje	Fiabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		0,5	1	0	0,5	0,5	3,5	0,17
Mantenibilidad	0,5		1	1	1	0	4,5	0,21
Costo	0	0		0	0	0	1	0,05
Construcción	1	0	1		0	0,5	3,5	0,17
Montaje	0,5	0	1	1		0,5	4	0,19
Fiabilidad	0,5	1	1	0,5	0,5		4,5	0,21
						Σ	21	1,00

Las siguientes tablas; Tabla 3.26 a la Tabla 3.31 nos indican la ponderación realizada por cada alternativa en relación a cada criterio propuesto para el sistema.

Tabla 3. 26: Evaluación de criterios de Eficiencia del sistema [Autores].

Eficiencia	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,333
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 27: Evaluación de criterios de Mantenibilidad del sistema [Autores].

Mantenibilidad	Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 28: Evaluación de criterios de Costo del sistema [Autores].

Costo	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,333
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 29: Evaluación de criterios de Construcción del sistema [Autores].

Construcción	Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 30: Evaluación de criterios de Montaje del sistema [Autores].

Montaje	Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 31: Evaluación de criterios de Fiabilidad del sistema [Autores].

Fiabilidad	Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3 = Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,417
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0	0,5		1,5	0,250
			Suma	6	1,000

Tabla 3. 32: Resultados de las evaluaciones de criterios con su respectiva prioridad de solución [Autores].

Conclusión	Criterios de Selección							
	Eficiencia	Mantenibilidad	Costo	Construcción	Montaje	Fiabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,056	0,107	0,016	0,083	0,095	0,089	0,446	1
Alternativa 2	0,028	0,071	0,008	0,056	0,063	0,071	0,298	2
Alternativa 3	0,083	0,036	0,024	0,028	0,032	0,054	0,256	3

Los resultados de la Tabla 3.32, se elige a la alternativa 1 como la más adecuada para el sistema.

3.2.5 Resumen

En la Tabla 3.33 se presenta las alternativas seleccionadas mediante el método de criterios ponderados para cada uno de los sistemas propuestos.

Tabla 3. 33: Resumen de la selección de alternativas por sistemas [Autores].

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sistema de transmisión de potencia	Acople flexible de arrastre	Bandas	Engranés
Sistema de molienda	Agitador de disco	Agitador de brazos	Agitador de hélice
Sistema de desplazamiento de contenedor	Desplazamiento del Contenedor Vertical de dos Ejes guías	Desplazamiento del Contenedor Manual y Sujeción Tipo prensa.	Desplazamiento del Contenedor Horizontal de guías horizontales.
Sistema de refrigeración	Refrigeración por recirculación Líquida	Refrigeración por convección forzada de aire.	Refrigeración por intercambiadores de calor.

De acuerdo a las ponderaciones evaluadas para cada criterio, se propone utilizar para el diseño, un acople flexible de arrastre para el sistema de transmisión de potencia, para el sistema de molienda la alternativa más valorada es el agitador de brazos, para el sistema de desplazamiento del contenedor la alternativa más significativa es el de guías horizontales y la refrigeración por recirculación líquida como alternativa más factible en el sistema de refrigeración.

3.2.6 Ensamble de alternativas

En la Figura 3.13 se representa el ensamble de alternativas más adecuadas para la elaboración y posterior fabricación del molino de atrición. Cabe recalcar que este es el boceto inicial con el que se parte el cálculo y diseño de los elementos más relevantes del equipo.

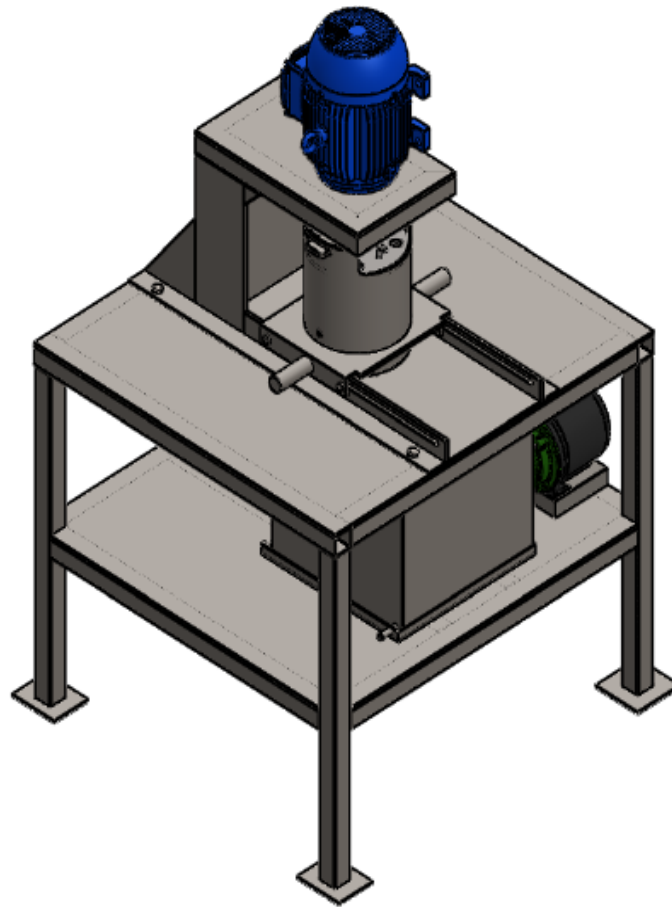


Figura 3. 13: Ensamble de selección de las alternativas por sistemas [Autores].

3.3 Cálculos del equipo de molienda

3.3.1 Cálculo de masas y volúmenes en el interior del tanque de molienda

La relación material – bolas de molienda más frecuentes en investigaciones realizadas son 1: 20 y 1:10, esto dependerá principalmente de la cantidad a moler para un volumen determinado [12]. En este caso se utilizará una relación 1: 10, de esta forma evitaremos el exceso de calor generado además del desgaste prematuro en el interior del tanque de molienda [12].

Para esto se utiliza los elementos molidores siendo de material de acero inoxidable con una densidad de 7930 kg/m^3 [20] y volumen de 2000 ml lo cual conforma todo el contenedor y de este valor no sobrepasar el 50% de la capacidad total para utilizarlo en

molienda debido a que si se sobrepasa este valor el índice de impacto disminuye considerablemente [13].

Además, se debe considerar un factor de empaquetamiento debido a la forma circular que presentan las bolas de molienda dejando un espacio entre cada elemento.

El empaquetamiento perfecto no existe es así que cuando se coloca un grupo de esferas iguales colocadas al azar toman un factor de empaquetamiento de 0.74 esta corresponde a un factor de empaquetamiento cubica centrada en las caras, debido a que las bolas se tocan entre sí a lo largo de las diagonales (FCC) de las caras [21].

Para esto se considera un volumen de molienda recomendable del 50% de la capacidad total correspondiente a los 800 ml a utilizar, multiplicamos el valor del factor de empaquetamiento (F.E=0.74) dándonos un valor de 592 ml, además de esto consideramos el valor de la densidad más crítica de las bolas con un valor de 7930 kg/m^3 debido a que las bolas no podrán utilizarse para materiales de densidades mayores a las establecidas.

Para determinar la densidad del material se realizó un estudio de las principales aleaciones permisibles con relación a la densidad de los elementos moledores, los cuales deben ser inferiores a la del acero inoxidable AISI 304. En la Tabla 3.34 se procede con el cálculo de masa y volúmenes en la molienda.

Tabla 3. 34: Cálculo de masas y volúmenes reales ocupados en el tanque de molienda [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Densidad critica	$\rho_{bolas} = 7930 \text{ kg/m}^3$ [20, p. 2]	Masa total	$m_{Total} = (\rho_{bolas}) * (V)$	$m_{Total} = 4,694 \text{ Kg}$
Volumen ideal	$V = 0.000592\text{m}^3$			
<p>Relación de masa bolas: $\frac{m_{material}}{m_{bolas}} = \frac{1}{10}$;</p> <p>$m_{bolas} = 10 * m_{material}$</p> <p>Relación de masas: $m_{Total} = m_{bolas} + m_{material}$;</p> <p>$m_{bolas} + m_{material} = 4,694 \text{ kg}$</p>				

Masa total	$m_{Total} = 4,694 \text{ Kg}$	Masa del material	$m_{material} = \frac{m_{Total}}{11}$	$m_{material} = 0,426 \text{ kg}$
Masa de material	$m_{material} = 0,426 \text{ kg}$	5 de bolas	$m_{bolas} = 10 * m_{material}$	$m_{bolas} = 4,267 \text{ Kg}$
Masa de bolas	$m_{bolas} = 4,267 \text{ Kg}$	Volumen de bolas	$v_{bolas} = \frac{m_{bolas}}{\rho_{bolas}}$	$v_{bolas} = 5,382 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ $\cong 538 \text{ ml}$
Densidad de bolas	$\rho_{bolas} = 7930 \text{ kg/m}^3$ [20, p. 2]			
Como referencia se utiliza las densidades de las alecciones de aluminio $\rho = 2820 \text{ kg/m}^3$ [11].				
Masa de material	$m_{material} = 0,426 \text{ kg}$	Volumen de material	$v_{material} = \frac{m_{material}}{\rho_{material}}$	$v_{material} = 1,510 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ $\cong 151 \text{ ml}$
Densidad de material	$\rho_{material} = 2820 \text{ kg/m}^3$ [11, p. 91]			
Número de bolas según el volumen calculado				
Radio de bola	$r_{bola} = 0,0025 \text{ m}$ [22]	Volumen de la bola	$v_{bola} = \frac{4}{3} \pi * r_{bolas}^3$	$v_{bola} = 6,545 \times 10^{-8} \text{ m}^3$
Volumen de bolas	$v_{bolas} = 5,382 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	Numero de bolas	$N_{bolas} = \frac{v_{bolas}}{v_{bola}}$	$N_{bolas} = 8223,071$ bolas $\cong 8223 \text{ bolas}$
Volumen de la bola	$v_{bola} = 6,545 \times 10^{-8} \text{ m}^3$			
Ahora podemos calcular el volumen real que ocupara las bolas dentro del tanque de molienda.				
Volumen de bolas	$v_{bolas} = 5,382 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	Volumen real ocupado por las bolas	$V_{real-bolas} = v_{bolas} + (v_{bolas} * 1 - F.E)$	$V_{real-bolas} = 6,781 \times 10^{-4}$ $\cong 678 \text{ ml}$
Factor de empaquetamiento	$F.E = 0,74$ [21, p. 95]			
Volumen de material	$v_{material} = 1,510 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	Volumen real ocupado por el material	$V_{real materiales} = v_{material} + (v_{material} * F.E)$	$V_{real materiales} = 1,902 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ $\cong 190 \text{ ml}$
Factor de empaquetamiento	$F.E = 0,74$ [21, p. 95]			

Volumen real ocupado por las bolas	$V_{real-bolas}$ $= 6,781 \times 10^{-4}m^3$	Volumen real total ocupado por los solidos	$V_{real total}$ $= V_{real bola}$ $+ V_{real material}$	$V_{real total}$ $= 8,683 \times 10^{-4}m^3$ $\cong 868 ml$
Volumen real ocupado por el material	$V_{real materiales}$ $= 1,902 \times 10^{-4}m^3$			

Así podemos decir que el resto del volumen es ocupado por el agitador y sus correspondientes aspas, también debemos tomar en cuenta que los porcentajes de los materiales no siempre van hacer de un material liviano como el aluminio, sino que también de materiales mucho más pesado, es así que se ha realizado la Tabla 3.35 comparativa con las aleaciones permisibles en relación al volumen total de molienda.

Tabla 3. 35: Comparación de aleaciones en función del volumen real total [Autores].

Aleaciones comunes	Densidad kg/m^3	Volumen real del material (ml)	Volumen real de bolas (ml)	Volumen total (ml)
Aleaciones de Aluminio	2630-2820	191	678	869
Aleaciones de Cobre	7470-8940	72	678	750
Aleaciones de Acero	6920-9130	78	678	756
Aleaciones de Magnesio	1770-1780	302	678	980
Aleaciones de Níquel	7750-8850	69	678	747
Aleaciones de Titanio	4430-4700	114	678	793
Aleaciones de Zinc	6640-7200	75	678	753

Como se puede observar ver en la Tabla 3.35 el volumen del material se incrementa mientras la densidad del material disminuye y disminuye mientras mayor sea su densidad respectivamente.

3.3.2 Dimensionamiento del tanque de molienda

Con el volumen definido podemos dimensionar el tanque de molienda del tal forma que este no sobrepase los 2000 ml- $0.002m^3$, como se observa en la Tabla 3.36 se compara el volumen calculado frente al volumen requerido para el sistema de molienda.

Tabla 3. 36: Cálculo de volumen calculado vs volumen requerido [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Diámetro interno	$D_{interna} = 0.125m$	Volumen interno del cilindro	$V_{cilindro} = \frac{\pi * D_{interna}^2 H_{interna}}{4}$	$V_{cilindro} = 2,025 \times 10^{-3} m^3$
Altura interna	$H_{interna} = 0.165m$			
$V_{calculado} \geq V_{requerido}$ $2\,025,854\ ml > 2\,000\ ml$				

Como el volumen calculado es muy semejante al requerido se da por valido dicho volumen y por ende las medidas del alto y diámetro establecidos.

3.3.3 Espesor del recipiente

En la Tabla 3.37 se muestra el diseño del tanque de molienda como pared gruesa, inicialmente se determina la presión máxima que puede generar dentro del mismo y la presión que ejercerá el líquido refrigerante estimado es de 30 Psi [23].

Tabla 3. 37: Cálculo de espesor de tanque de molienda [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Masa total	$m_{Total} = 4,694\ Kg$	Presión	$P = \frac{m_{Total} * g}{\frac{\pi * D^2}{4}}$	$P = 0,00375\ Mpa$
Gravedad	$g = 9,81\ m/s^2$			
Diámetro interno	$D_{interna} = 0,125m$			
El esfuerzo permisible es determinado por la propiedades del acero AISI 304 con el que se fabrica el tanque.				
Límite de fluencia	$S_y = 220\ Mpa$ [19, p. 43]	Esfuerzo permisible		$\sigma_{permisible} = 44\ Mpa$

Factor de seguridad	N = 5 [24, p. 649]		$\sigma_{\text{permissible}} = \frac{S_y}{N}$ [24, p. 649]	
$\sigma = \frac{P \cdot D_m}{2 t} \quad [24, p. 646]$ $D_m = D_i + t \quad [24, p. 641]$				
Presión	$P_{\text{Bolas}} = 0,00375 \text{ Mpa}$	Espesor de pared	$t = \frac{(P + P_{\text{refr}}) \cdot (D_i + t)}{2 \cdot \sigma}$	$t = 0,299 \text{ mm}$
Presión por líquido	$P_{\text{refr}} = 0,2068 \text{ Mpa}$			
Diámetro interno	$D_{\text{interno}} = 0,125 \text{ m}$			
Esfuerzo permisible	$\sigma_{\text{permissible}} = 44 \text{ Mpa}$			

Según los datos se tiene que el espesor mínimo es de 0,299 mm, por lo que se procede a seleccionar el material, según el Mercado Local y Nacional, garantizando que el tanque de molienda no sufra deformaciones al momento de retirar los polvos, se selecciona un espesor de: 8 mm. En la Tabla 3.38 y 3.39, se procede a verificar el espesor seleccionado para el cumplimiento de especificación de diseño.

Tabla 3. 38: Cálculo de verificación del espesor en pared [Autores].

Datos	Ecuación	Resultados
Se procede a verificar las especificaciones de pared del cilindro.		
$\frac{R_m}{t} \geq 10 ; \frac{D_m}{2 t} \geq 10 ; [24, p. 641]$		
Diámetro interno	$D_{\text{interno}} = 0.125 \text{ m}$	Diámetro medio $D_m = D_i + t$ [24, p. 641]
Espesor	$t = 0,008 \text{ m}$	
Diámetro medio	$D_m = 0.133 \text{ m}$	Relación radio medio por espesor $\frac{D_m}{2 t} \geq 10$
La expresión de relación no corresponde a la de cilindro de pared delgada así que se considera de pared gruesa		

Se procede a calcular nuevamente con los criterios de diseño de cilindros de pared gruesa, considerando dos casos mostrados a continuación; Caso 1: Se toma como presión la presión ejercida por el refrigerante de 30 Psi y la fuerza de rodadura que producen los medios moledores en el área de contacto dentro de la cámara de molienda [23] [25]; Caso 2: Como es de conocimiento el equipo de laboratorio está sometido a mejoras o cambios para investigaciones futuras, por ejemplo un control atmosférico en la cámara de molienda para un mejor desempeño del equipo en la molienda mecánica es así que se considera una presión interna ejercida por el gas inerte de 250 Psi o 1.72Mpa [26].

Tabla 3. 39: Calculo de factor de seguridad con el espesor de 8mm.

Datos		Ecuación		Resultado
Caso 1		Presión de refrigerante y presión ejercida por las bolas de molienda.		
Numero de bolas estimado	$N = 3054 \text{ Bolas}$	Fuerza de rotación	$F_N = N * F_{Ejercida}$	$F_N = 305,4 \text{ N}$
Fuerza ejercida en cada bola	$F_{Ejercida} = 0,1 \text{ N}$ [25, p. 8]			
Área de contacto	$A_c = 0,0769 \text{ m}^2$	Presión ejercida por las bolas	$P_{bolas} = \frac{F}{A}$	$P_{bolas} = 0.003971 \text{ Mpa}$
Fuerza de rotación	$F_N = 305,4 \text{ N}$			
Presión ejercida por las bolas	$P_{bolas} = 0.003971 \text{ Mpa}$	Presión Total ejercida al tanque de molienda	$P_{Total} = P_{Bolas} + P_{refr}$	$P_{Total} = 0,2109 \text{ Mpa}$
Presión por liquido	$P_{refr} = 0,207 \text{ Mpa}$			
Presión Total	$P_{Total} = 0,2109 \text{ Mpa}$	Esfuerzo máximo anular	$\sigma_1 = \frac{P_{Total}(b^2 + a^2)}{b^2 - a^2}$ [24, p. 648]	$\sigma_1 = 1,8 \text{ Mpa}$
Diámetro externo	$b = 0,141 \text{ m}$			
Diámetro interno	$a = 0,125 \text{ m}$			
Presión Total	$P_{Total} = 0,2109 \text{ Mpa}$	Esfuerzo máximo Longitudinal	$\sigma_2 = \frac{P_{Total}(a^2)}{b^2 - a^2}$ [24, p. 648]	$\sigma_2 = 0,77 \text{ Mpa}$
Diámetro externo	$b = 0,141 \text{ m}$			
Diámetro interno	$a = 0,125 \text{ m}$			
Presión Total	$P_{Total} = 0,2109 \text{ Mpa}$		$\sigma_3 = -P_{Total}$	$\sigma_3 = -0,2109 \text{ Mpa}$

Diámetro externo	$b = 0,141m$	Esfuerzo máximo Radial	[24, p. 648]	
Diámetro interno	$a = 0,125m$			
El esfuerzo máximo es el anular con un valor de $\sigma_1 = 3,4821$ Mpa.				
Esfuerzo máximo anular	$\sigma_1 = 1,8$ Mpa	Factor de seguridad	$n = \frac{Sy}{\sigma_1}$	$n = 122$
Límite de fluencia	Sy = 220 Mpa [19, p. 43]			
Caso 2		Presión en la cámara de molinda, ejercidas por las bolas y líquido refrigerante		
Presión de la cámara presurizada	$P_{camara} = 1,72$ Mpa	Presión Total ejercida al tanque de molinda	$P_{Total} = P_{camara} + P_{Bolas} - P_{refr}$	$P_{Total} = 1,52$ Mpa
Presión por liquido	$P_{refr} = 0,207$ Mpa			
Presión ejercida por las bolas	$P_{bolas} = 0,003971$ Mpa			
Presión Total	$P_{Total} = 1,52$ Mpa	Esfuerzo máximo anular	$\sigma_1 = \frac{P_{Total}(b^2 + a^2)}{b^2 - a^2}$ [24, p. 648]	$\sigma_1 = 12,7$ Mpa
Diámetro externo	$b = 0,141m$			
Diámetro interno	$a = 0,125m$			
Presión Total	$P_{Total} = 1,52$ Mpa	Esfuerzo máximo Longitudinal	$\sigma_2 = \frac{P_{Total}(a^2)}{b^2 - a^2}$ [24, p. 648]	$\sigma_2 = 5,6$ Mpa
Diámetro externo	$b = 0,141m$			
Diámetro interno	$a = 0,125m$			
Presión Total	$P_{Total} = 1,52$ Mpa	Esfuerzo máximo Radial	$\sigma_3 = -P_{Total}$ [24, p. 648]	$\sigma_3 = -1,52$ Mpa
Diámetro externo	$b = 0,141m$			
Diámetro interno	$a = 0,125m$			
El esfuerzo máximo es el anular con un valor de $\sigma_1 = 16$ Mpa.				
Esfuerzo máximo anular	$\sigma_1 = 12,7$ Mpa	Factor de seguridad	$n = \frac{Sy}{\sigma_1}$	$n = 17,3$ Mpa
<Límite de fluencia	Sy = 220 Mpa [19, p. 43]			

En la Figura 3.14 se procede a verificar el factor de seguridad mediante el software por elementos finitos ANSYS en el cual se procede a calcular el esfuerzo equivalente por las presiones actuantes en las paredes internas y externas del tanque de molinda. Mostradas en la Tabla 3.40.

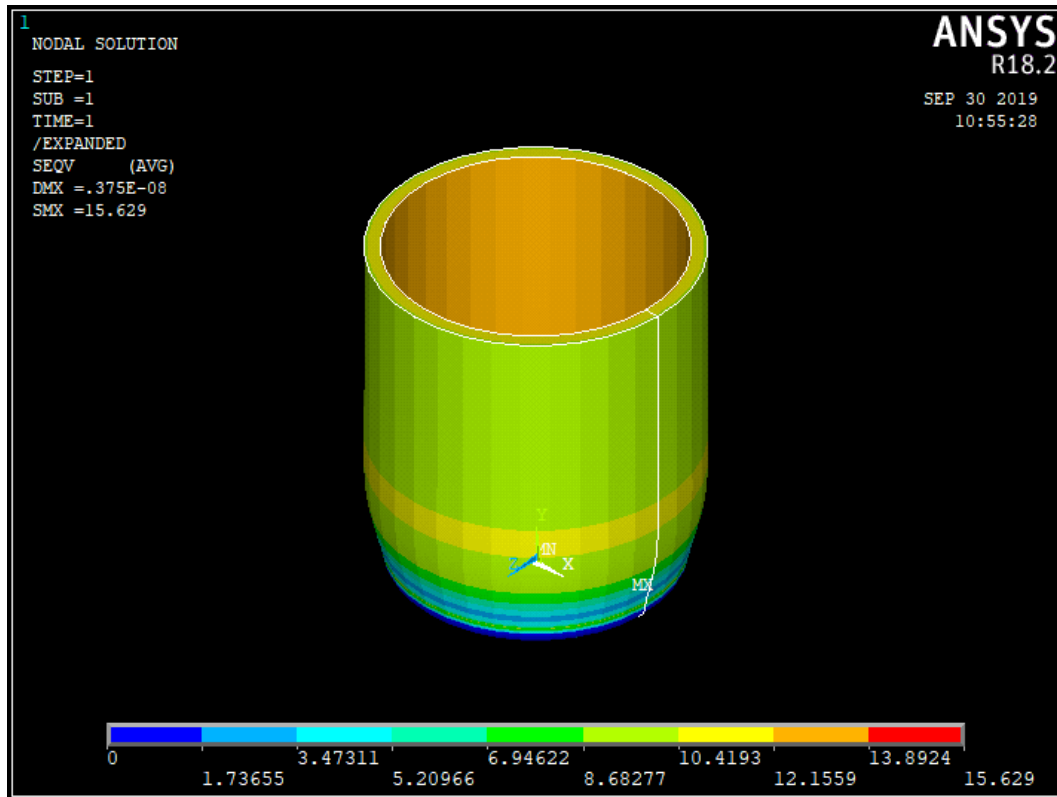


Figura 3. 14: Análisis por elementos finitos ANSYS APDL del tanque de molienda [Autores].

Tabla 3. 40: Factor de seguridad del tanque de molienda [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Esfuerzo Von mises	$\sigma_{Von\ mises} = 15,6\text{Mpa}$	Factor de seguridad	$n = \frac{Sy}{\sigma_{Von\ mises}}$ [27, p. 212]	$n = 14,1$
Límite de fluencia (Acero inoxidable 304)	$Sy = 220\text{Mpa}$ [20, p. 2]			

3.3.4 Diámetro del agitador

Los diámetros de los brazos agitadores se determinan mediante la Figura 3.15, debido a que los espacios sobrantes entre el tanque de molienda y brazo agitador son fundamentales para que este no sufra atascamientos en la cámara de molienda.

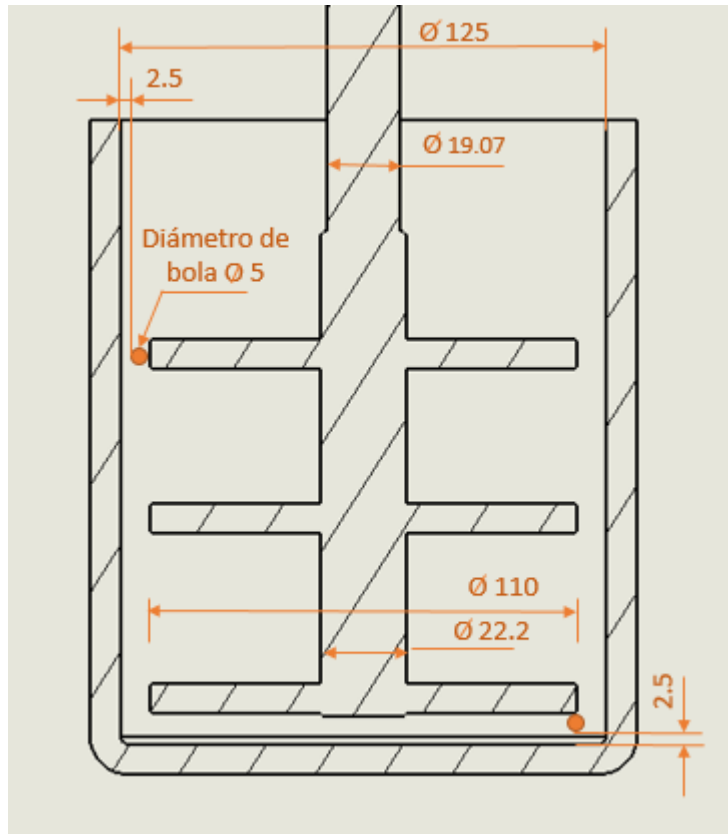


Figura 3. 15: Dimensionamiento de ejes agitadores [Autores].

En la Tabla 3.41 se procede con el cálculo de longitud del brazo agitador especificados en la Figura 3.15 anteriormente.

Tabla 3. 41: Cálculo de diámetro de brazo agitador [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Diámetro de bola	$D_{bola} = 0.005m$	Diámetro de holgura	$D_{Holgura} = \frac{D_{bola}}{2}$ [28, p. 68]	$D_{Holgura} = 0.0025m$
Diámetro interno	$D_{interno} = 0.125m$	Diámetro de brazo agitador	$D_{Brazo} = D_{interno} - 2D_{bola} - 2D_{Holgura}$ [28, p. 68]	$D_{Brazo} = 0.11m$
Diámetro de bola	$D_{bola} = 0.005m$			
Diámetro de holgura	$D_{Holgura} = 0.0025m$			

3.3.5 Potencia requerida

La potencia requerida es determinada en base a los parámetros y de la especificaciones de motores, como la velocidad de giro proporcionado por el catalogo WEG de motores eléctricos [29]. En la Tabla 3.42 se procede con el cálculo de la potencia mostrado a continuación:

Tabla 3. 42: Cálculo de potencia requerido para el sistema de molienda [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Diámetro de brazo	$D_{Brazo} = 0.11m$	Velocidad máxima dentro del tanque	$V_T = \frac{\pi * D_{Brazo} * N}{60}$ [28, p. 69]	$V_T = 9.79 \text{ m/s}$
Número de revoluciones	$N = 1700 \text{ rpm}$ [29]			
Volumen interno del cilindro	$V_{cilindro} = 2,025 \times 10^{-3}m^3$	Fracción del volumen	$\varepsilon = \frac{V_{real\ total}}{V_{cilindro}}$ [28, p. 69]	$\varepsilon = 0.4288$
Volumen total ocupado por los solidos	$V_{real\ total} = 8,683 \times 10^{-4}m^3$			
Velocidad máxima dentro del tanque	$V_T = 9.79 \text{ m/s}$	Potencia	$P = 0.092V_T * g * \left(\frac{D_{recipiente}}{D_{Brazo}}\right) * \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{5.3 \text{ Ha}}{D_{recipiente}}\right) * d * Vol_T$ [30, p. 418]	$P = 206 \text{ W}$
Gravedad	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$			
Diámetro interno	$D_{interno} = 0.125m$			
Diámetro de brazo agitador	$D_{Brazo} = 0.11m$			
Fracción del volumen	$\varepsilon = 0.4288$			
Altura al primer agitador	$H_a = 0.0025m$			
Densidad critica (Densidad de las bolas)	$\rho_{bolas} = 7930 \text{ kg/m}^3$ [20, p. 2]			
Volumen interno del cilindro	$V_{cilindro} = 2,025 \times 10^{-3}m^3$			
Potencia	$P = 206 \text{ W}$			
Número de filas de brazos agitadores	$N_{filas} = 6$			

3.3.6 Selección de motor eléctrico

Dentro de una gran variedad existente en el mercado nacional de motores eléctricos se consideró la calidad y las características que permitan la adaptabilidad para la realización del proyecto.

El motor seleccionado considerado para el proceso de molienda debe cumplir con la exigencia de la potencia real calculada $P_{real} = 1236 W \cong 1,657 Hp$ además de su velocidad de giro de 1700 rpm según el rango de velocidades para molinos de atrición de alta velocidad que es de 320-1700 rpm [31]. De acuerdo a las especificaciones antes mencionadas seleccionamos un motor trifásico marca WEG (V=220v; f=60 hz), potencia de 2hp (1.4914kw) alcanzado una velocidad máxima de 1750 rpm que es mayor al requerido [29]. En la Tabla 3.43 se muestra todas las características que posee el motor eléctrico. Debido al arranque brusco que presenta el motor al encendido es que ese ve la necesidad de acoplar un variador de frecuencia el cual proporciona un encendido a velocidades bajas y aumentar progresivamente, hasta llegar a determinar las velocidades adecuadas para las diferentes aleaciones.

Tabla 3. 43: Características de motores WEG [29].

Marca:	WEG
Modelo	TE1BFOXO#
Potencia	2 hp = 1.5 Kw
Voltaje	220/ 380/ 440
Intensidad	6/ 3,47/ 3
Eficiencia	84,2%
Velocidad nominal	1745 rpm
Peso	19 kg

En la Figura 3.16 se presenta la placa de las características del motor eléctrico WEG mostrado a continuación:



Figura 3. 16: Datos de placa de motor eléctrico WEG modelo TE1BFOXO# [Autores].

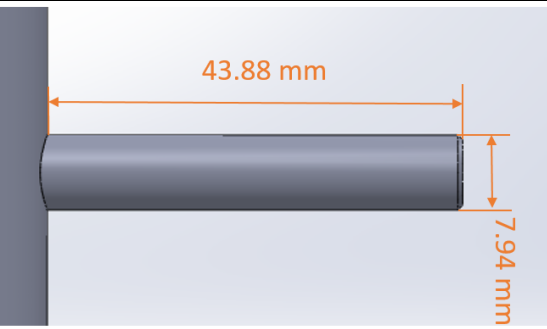
3.3.7 Diseño de brazos agitadores

3.3.7.1 Análisis estático

En la Tabla 3.44 se procede con el cálculo del eje agitador mediante un análisis estático a partir de las características del motor seleccionado.

Tabla 3. 44: Cálculo de dimensionamiento del eje agitador mediante análisis estático [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Potencia	$P = 1,2557Kw$ [29]	Torque	$T = \frac{9950 * P}{N}$ [27, p. 97]	$T = 7,1395Nm$
Número de velocidad de giro	$N = 1750 rpm$ [29]			
Torque	$T = 7,1395 Nm$	Carga crítica	$Fb = \frac{T}{6 * D_{Brazo}}$	$Fb = 10,8174 N$
Diámetro de brazo	$D_{Brazo} = 0.11m$			



Carga crítica	$Fb = 10,8174 \text{ N}$	Momento	$M = Fb * L$ [27, p. 158]	$M = 0.4746 \text{ Nm}$
Longitud de brazo	$L = 0.04388 \text{ m}$			
Momento	$M = 0.4746 \text{ Nm}$	Esfuerzo máximo	$\sigma_{max} = \frac{32 M}{\pi * D_{Agitador}^3}$ [27, p. 99]	$\sigma_{max} = 9,6684 \text{ Mpa}$
Diámetro de agitador	$D_{Agitador} = 0.007937 \text{ m}$			
Límite de fluencia (Acero inoxidable 304)	$Sy = 220 \text{ Mpa}$ [20, p. 2]	Factor de seguridad	$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$ [27, p. 212]	$n = 22,7545$
Esfuerzo	$\sigma_{max} = 9,6684 \text{ Mpa}$			

Con el factor de seguridad obtenido aparentemente el agitador se encuentra sobredimensionado el mismo que se comprobó posteriormente con el análisis dinámico del mismo elemento.

3.3.7.2 Análisis dinámico

Para determinar la fuerza a la cual están sometidos los agitadores utilizamos la metodología experimental para determinar la fuerza con la que los agitadores actúan con las bolas de molienda siendo estas las cuales cuentan con mayor densidad dentro de la molienda. Es así que, experimentalmente se determinó que la fuerza aplicada a cada uno de los agitadores es de 1.6 kgf, demostrado experimentalmente en el capítulo II, para el cálculo se lo aproxima a un valor de 2 kgf por cada agitador, es decir 19,62 N. Para esto se considera que la longitud del brazo agitador se encuentra en una carga distribuida triangularmente por lo que se puntualiza el valor de fuerza a 1/3 de la carga máxima, como se muestra en la Figura 3.17.

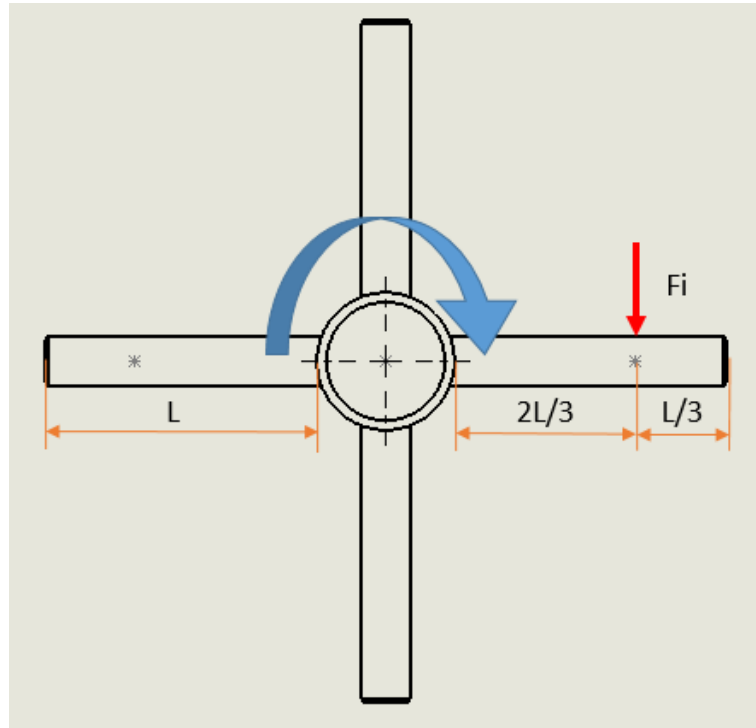


Figura 3. 17: Carga puntualizada a 1/3 de la carga máxima [Autores].

En la Tabla 3.45 se procede con el cálculo de dimensiones y factores de seguridad diseñadas dinámicamente a flexión.

Tabla 3. 45: Cálculo de dimensionamiento de eje agitador mediante análisis dinámico [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Longitud de brazo	$L = 0.04388m$	Momento máximo	$M_{max} = \frac{F * 2L}{3}$	$M = 0,5739 Nm$
Carga	$F = 19,6 N$			
Momento	$M = 0.5739Nm$	Esfuerzo máximo	$\sigma_{max} = \frac{32 M}{\pi * D_{Agitador}^3}$ [27, p. 99]	$\sigma_{max} = 11,690 Mpa$
Diámetro de agitador	$D_{Agitador} = 0.007937m$			
Esfuerzo máximo	$\sigma_{max} = 11,6902 Mpa$	Esfuerzo medio	$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ [27, p. 293]	$\sigma_m = 5,8451 Mpa$
Esfuerzo mínimo	$\sigma_{min} = 0 Mpa$			
Esfuerzo máximo	$\sigma_{max} = 12,117 Mpa$	Esfuerzo de amplitud	$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ [27, p. 293]	$\sigma_a = 5,8451 Mpa$
Esfuerzo mínimo	$\sigma_{min} = 0 Mpa$			

Resistencia ultima media a la tracción	$S_{ut} = 540 \text{ Mpa}$ [19, p. 35]	Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = 0,5 * S_{ut}$ [27, p. 274]	$S_e = 270 \text{ Mpa}$
Factor	$a = 4,51$	Factor de superficie	$k_a = aS_{ut}^b$ [27, p. 279]	$k_a = 0.8513$
Exponente	$b = -0,265$			
Diámetro de agitador	$D_{Agitador} = 0.007937m$	Factor de tamaño	$k_b = 1,24(D_{brazo} * 1000)^{-0,107}$ [27, p. 280]	$k_b = 0.9934$
Factor de superficie	$k_a = 0.8513$	Límite de fatiga	$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e$	$S_e = 171,9517 \text{ Mpa}$
Factor de tamaño	$k_b = 0.9934$			
Factor de modificación de carga	$k_c = 1$ (Flexion) [27, p. 282]			
Factor de temperatura	$k_d = 1$ (20°C) [27, p. 282]			
Factor de confiabilidad	$k_e = 0,753$ (99,9%) [27, p. 284]			
Factor de esfuerzos varios	$k_f = 1$ [27, p. 285]			
Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = 270 \text{ Mpa}$			
Esfuerzo medio	$\sigma_m = 5,8451 \text{ Mpa}$	Factor de seguridad a la fatiga	$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$ [27, p. 299]	$n_f = 22.312$
Esfuerzo de amplitud	$\sigma_a = 5,8451 \text{ Mpa}$			
Límite de fatiga	$S_e = 171,95169 \text{ Mpa}$			
Resistencia ultima media a la tracción	$S_{ut} = 540 \text{ Mpa}$ [19, p. 35]			

Como se observa el factor de seguridad cumple con los requisitos de resistencia a la flexión debido al impacto con el que choca contra los elementos moleadores. El factor de seguridad tanto en diseño estático como dinámico es elevado debido a que las fuerzas actuantes no son tan representativas para las características mecánicas que posee el material con el que se ha diseñado, finalmente optamos por utilizar el diámetro con el cual se ha realizado los cálculos propuestos.

En la Figura 3.18 se procede a verificar el factor de seguridad mediante el software por elementos finitos ANSYS en el cual se procede a calcular el esfuerzo equivalente generado por la fuerza actuante en cada uno de los brazos agitadores.

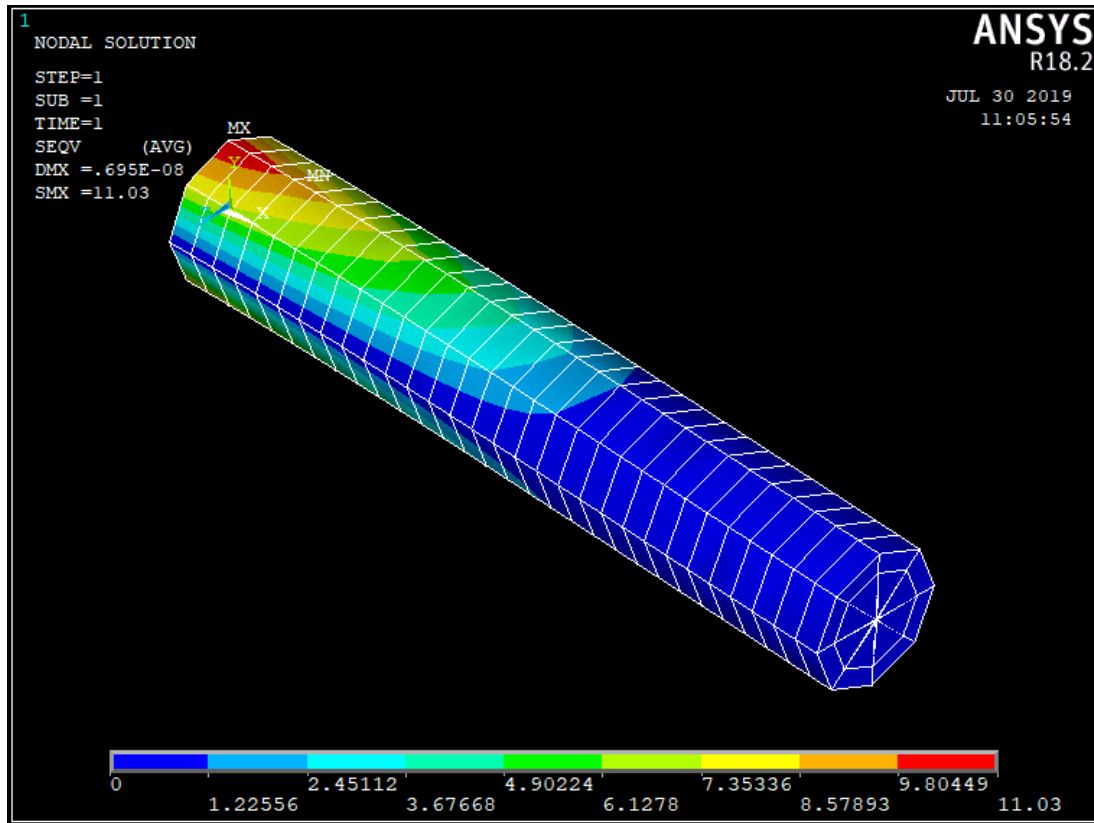


Figura 3. 18: Análisis por elementos finitos ANSYS APDL del brazo agitador [Autores].

Como se puede observar en la Tabla 3.46 el factor de seguridad analizado por medio de elementos finitos cumple con las especificaciones de diseño dando como resultado un factor de seguridad de 20 bastante similar al antes calculado en el brazo agitador.

Tabla 3. 46: Calculo de factor de seguridad actuante en el brazo agitador [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Esfuerzo Von mises	$\sigma_{von\ mises} = 11.03\ Mpa$	Factor de seguridad	$n = \frac{Sy}{\sigma_{von\ mises}}$ [27, p. 212]	$n = 20$
Límite de fluencia (Acero inoxidable 304)	$Sy = 220\ Mpa$ [20, p. 2]			

3.3.8 Diseño del eje agitador

El eje agitador se encuentra compuesto por 6 filas de brazos agitadores, los mismos que proporcionarían la misma energía de molienda en el interior del tanque. Tomando en cuenta la geometría del eje agitador para que este se encuentre conectado al eje del motor es necesario dos secciones, las mismas que garantizan la funcionalidad del elemento como se puede observar en la Figura 3.19.

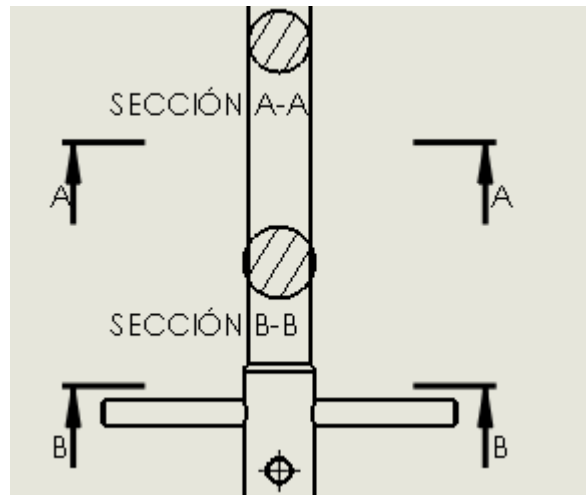


Figura 3. 19: Cambio de sección por parte del eje agitador [Autores].

3.3.8.1 Diseño estático

En la Tabla 3.47 se procede al cálculo estático del eje agitador basados en los ensayos de Smith y los datos del motor.

Tabla 3. 47: Diseño estático del eje basados en los ensayos de SMITH [Autores].

<p>Para el siguiente cálculo consideramos las pruebas de Smith, el cual consiste en bajar la resistencia última a la tracción del material para su correcto diseño debido a que la presente geometría es concentradora de esfuerzos.</p> $S_{sut} = 0,67 S_{ut} \text{ [27, p. 309]}$ $S_{sut} = 0,67(540)Mpa$ $S_{sut} = 361,8 Mpa$				
Datos		Ecuación		Resultados
Diámetro de eje	$D_{eje} = 0,02225 m$			$\tau_{max} = 3,2781 Mpa$

Torque	$T = 7,09Nm$	Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max} = \frac{16 * T}{\pi * D_{eje}^3}$ [27, p. 221]	
<p>Al ser los agujeros del eje concentradores de esfuerzos se usa la recomendación de Smith basados en la energía de la distorsión;</p> $S_{sy} = 0,577 S_y \text{ [27, p. 309]}$ $S_{sy} = 0,577(220)Mpa$ $S_{sy} = 126,94 Mpa$				
Límite de resistencia a la fluencia	$S_{sy} = 126,94 Mpa$	Factor de seguridad	$n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$ [27, p. 477]	$n = 38,7232$
Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max} = 3,2781 Mpa$			

Al tratarse de dos secciones se procede a verificar si estas cumplen con los factores de seguridad, demostrándolo en la Tabla 3.48 en donde se puede apreciar que se cumple con lo propuesto en las dos secciones al menos en un diseño estático.

Tabla 3. 48: Cálculo de esfuerzos y factores de seguridad para las secciones del eje [Autores].

Sección de eje	Diámetro	Esfuerzo cortante máximo	Factor de seguridad
A	$D_A = 0,01905 \text{ m}$	$\tau_{max} = 5,223 Mpa$	$n = 24,3$
B	$D_B = 0,02225 \text{ m}$	$\tau_{max} = 3,278 Mpa$	$n = 38,7248$

3.3.8.2 Diseño dinámico

Para este tipo de análisis se tomará en cuenta los datos obtenidos a partir de la prueba experimental realizada, para la determinación de la fuerza aplicada a un brazo agitador y de este modo multiplicarla por el total de brazos agitadores en el elemento.

En la Figura 3.20 se muestra la carga F_i puntualizada a 1/3 de la carga máxima y su longitud de impacto a .

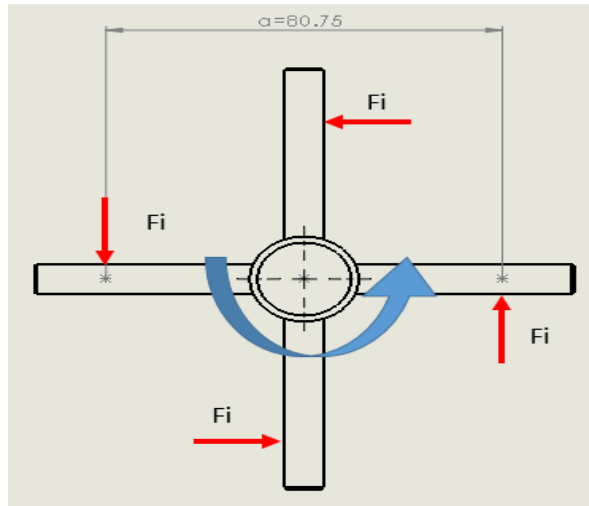


Figura 3. 20: Longitud de impacto con carga triangular [Autores].

En la Tabla 3.49 se procede a calcular el dimensionamiento del eje, así como también su factor de seguridad presente en el diseño a torsión para una mayor confiabilidad en el elemento de la máquina.

Tabla 3. 49: Cálculo dinámico del eje diseñado a torsión [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Fuerza de impacto	$F_i = 19,62 \text{ N}$	Torque máximo	$T = 12 * F_i * a$	$T = 19,0133 \text{ Nm}$
Longitud entre fuerzas de impacto	$a = 0.08075$			
Torque máximo	$T = 19,0133 \text{ Nm}$	Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max} = \frac{16 * T}{\pi * D_{eje}^3}$ [27, p. 221]	$\tau_{max} = 8,8206 \text{ Mpa}$
Diámetro de eje	$D_{eje} = 0.02225 \text{ m}$			
<p>Según ensayos de Smith para materiales con esfuerzos concentrado como muescas o imperfecciones superficiales.</p> <p>$S_{sut} = 0,67S_{ut} = 361,8 \text{ MPa}$ [27, p. 309]</p>				
Resistencia ultima media a la tracción.	$S_{sut} = 361,8 \text{ Mpa}$	Límite de resistencia a la fatiga	$S_{se'} = 0,5 S_{sut}$ [27, p. 274]	$S_{se'} = 180,9 \text{ Mpa}$
Factor	$a = 4,51$	Factor de superficie	$k_a = a S_{sut}^b$ [27, p. 279]	$k_a = 0,9466$
Exponente	$b = -0,265$			
Diámetro de eje	$D_{eje} = 0.02225 \text{ m}$	Factor de tamaño	$k_b = 1,24(D_{brazo} * 1000)^{-0,107}$ [27, p. 280]	$k_b = 0,8898$

Factor de superficie	$k_a = 0.9466$	Límite de fatiga	$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_{Se'}$ [27, p. 282]	$S_{Se} = 67,6982Mpa$
Factor de tamaño	$k_b = 0.8898$			
Factor	$k_c = 0,59$ (Torsion) [27, p. 282]			
Factor de temperatura	$k_d = 1$ (20°C) [27, p. 282]			
Factor de confiabilidad	$k_e = 0.753$ (99,9%) [27, p. 284]			
Factor de esfuerzos varios	$k_f = 1$ [27, p. 285]			
Límite de resistencia a la fatiga	$S_{Se'} = 180,9 Mpa$			
Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max} = 8,8206 Mpa$	Esfuerzo cortante medio	$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$ [27, p. 293]	$\tau_m = 4,4103 Mpa$
Esfuerzo cortante mínimo	$\tau_{min} = 0$			
Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max} = 8,8206 Mpa$	Esfuerzo cortante de amplitud	$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$ [27, p. 293]	$\tau_a = 4,4103 Mpa$
Esfuerzo cortante mínimo	$\tau_{min} = 0$			
Esfuerzo cortante medio	$\tau_m = 4,4103 Mpa$	Factor de seguridad a la fatiga	$n_f = \frac{1}{\frac{\tau_a}{S_{se}} + \frac{\tau_m}{S_{sut}}}$ [27, p. 299]	$n_f = 15,3498$
Esfuerzo cortante de amplitud	$\tau_a = 4,4103 Mpa$			
Límite de fatiga	$S_{se} = 67,6982Mpa$			
Resistencia última media a la tracción.	$S_{sut} = 361,8 Mpa$			

En la Tabla 3.50 se procede a calcular los esfuerzos máximos actuantes en las dos secciones del agitador, como se puede observar, estos cumplen con los factores de seguridad recomendables, por lo que el dimensionamiento de diámetros son los adecuados para las cargas actuantes en toda la sección del eje.

Tabla 3. 50: Cálculo de esfuerzos cortantes máximos y factores de seguridad en el eje [Autores].

Sección de eje	Diámetro	Esfuerzo cortante máximo	Factor de seguridad
A	$D_A = 0,01905$ m	$\tau_{max} = 14,006Mpa$	$n = 9,8271$
B	$D_B = 0,02225$ m	$\tau_{max} = 8,82068Mpa$	$n = 15,3498$

Como se observa los factores de seguridad cumplen con los requisitos de resistencia a la torsión. El factor de seguridad tanto en diseño estático como dinámico es elevado debido a que el torque actuante no es tan representativo para las características mecánicas que posee el material con el que se ha diseñado, finalmente optamos por utilizar el diámetro con el cual se ha realizado los cálculos propuestos.

En la Figura 3.21 se procede a verificar el factor de seguridad mediante el software por elementos finitos ANSYS en el cual se procede a calcular el esfuerzo equivalente generado por el torque actuante en el agitador arrojando datos en la sección más crítica del elemento.

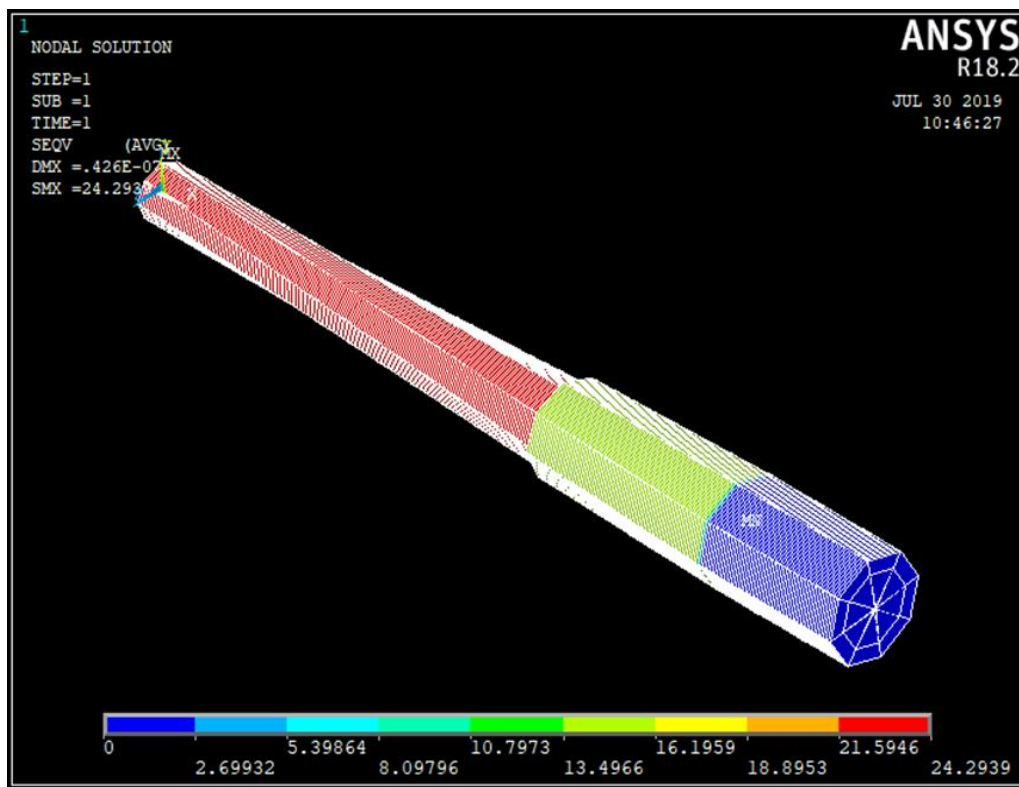


Figura 3. 21: Análisis por elementos finitos ANSYS APDL de eje agitador [Autores].

Como se puede observar en la Tabla 3.51 el factor de seguridad analizado por medio de elementos finitos cumple con las especificaciones de diseño dando como resultado un factor de seguridad de 9.05 bastante similar al antes calculado del eje agitador.

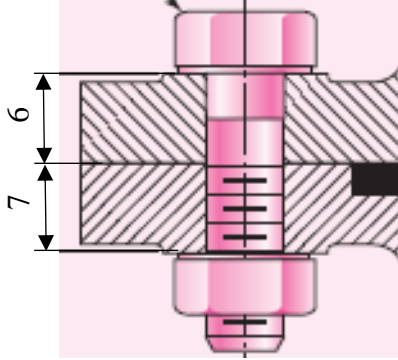
Tabla 3. 51: Cálculo del factor de seguridad del eje agitador [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Esfuerzo Von mises	$\sigma_{von\ mises} = 24.29\ Mpa$	Factor de seguridad	$n = \frac{Sy}{\sigma_{von\ mises}}$ [27, p. 212]	$n = 9.05$
Límite de fluencia (Acero inoxidable 304)	$Sy = 220\ Mpa$ [20, p. 2]			

3.3.9 Cálculo de número de pernos para la tapa

Para este cálculo se procede a determinar el número de pernos para la sujeción de la tapa en donde se ha utilizado pernos de 5/8 plg. Además, se ha dejado 1 mm de longitud la que cubrirá la arandela plana. La tapa soporta un presión alrededor de 30 psi generada por el refrigerante [23]. En la Tabla 3.52 se procede a calcular la longitud del perno, así como el número adecuado de ellos.

Tabla 3. 52: Cálculo de número de pernos necesarios para la tapa [Autores]

Datos		Ecuación		Resultados
				
Agarre	$l = 0,013m$	Longitud de perno	$L = l + W + p$	$L = 0,022\ m$ $\cong 1\ plg$
Ancho de tuerca	$W = 0,008\ m$			
Espesor de arandela plana	$p = 0,001m$			
Con el resultado se selecciona el perno de 1 plg de longitud [27, p. 1015]				
Díámetro mayor nominal	$d = 0,625\ plg;$ $0,015875\ m$ [27, p. 398]	Constante de rigidez del perno	$K_b = \frac{\pi d^2 E_{acero}}{4l}$ [27, p. 413]	$K_b = 2,276\ \frac{GN}{m}$
Agarre efectivo	$l = 0,018\ m$ [27, p. 411]			

Módulo de elasticidad	$E_{acero} = 207 \text{ Gpa}$ [27, p. 416]			
Diámetro mayor nominal	$d = 0,015875 \text{ m}$ [27, p. 398]	Módulo de resorte	$K_m = \frac{\pi E_{acero} d}{2 \ln \left(\frac{5(l + 0,5d)}{l + 2,5d} \right)}$ [27, p. 415]	$K_m = 6,37 \frac{GN}{m}$
Agarre efectivo	$l = 0,018 \text{ m}$ [27, p. 411]			
Módulo de elasticidad	$E_{acero} = 207 \text{ Gpa}$ [27, p. 416]	Relación de rigidez	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$ [27, p. 421]	$C = 0,2632$
Constante de rigidez del perno	$K_b = 2,274 \frac{GN}{m}$			
Módulo de resorte	$K_m = 6,37 \frac{GN}{m}$			
Área de esfuerzo de tensión	$A_t = 0,226 \text{ plg}^2$ $= 0,00014580616 \text{ m}$	Precarga	$F_i = 0,75 A_t S_p$ [27, p. 427]	$F_i = 64.11 \text{ KN}$
Resistencia de prueba	$S_p = 85 \text{ Kpsi}$ $= 586.054 \text{ Mpa}$			
Precarga	$F_i = 64.11 \text{ KN}$	Numero de pernos	$N = \frac{CnP}{S_p A_t - F_i}$ c	$N = 5.101$
Área de esfuerzo de tensión	$A_t = 0,226 \text{ plg}^2$ $= 0,00014580616 \text{ m}$			
Resistencia de prueba	$S_p = 85 \text{ Kpsi}$ $= 586.054 \text{ Mpa}$			
Carga	$P = 0,2068 \text{ Mpa}$			
Relación de rigidez	$C = 0,2632$			
Factor de seguridad	$n = 2$			
Se procede a subir al inmediato superior de pernos a 6 y posteriormente a calcular el factor de seguridad con el número de pernos determinado.				
Precarga	$F_i = 64.11 \text{ KN}$	Factor de seguridad	$n = \frac{S_p A_t - F_i}{C(P/N)}$ [27, p. 274]	$n = 2.35$
Área de esfuerzo de tensión	$A_t = 0,226 \text{ plg}^2$ $= 0,00014580616 \text{ m}$			
Resistencia de prueba	$S_p = 85 \text{ Kpsi}$ $= 586.054 \text{ Mpa}$ Tabla pg 398			
Carga	$P = 0,2068 \text{ Mpa}$			
Relación de rigidez	$C = 0,2632$			
Número de pernos	$N = 6$			

3.4 Selección de elementos adquiridos

3.4.1 Selección de bomba de recirculación

El control de temperatura es esencial en el molino de atrición por tratarse de un molino de alta energía, el cual produce una elevada temperatura al no ser refrigerado, es por ello que nace la necesidad de emplear un sistema de recirculación de líquido refrigerante el cual pretende mantener la temperatura de la cámara de molienda a condiciones estables por debajo de los 50°C. De acuerdo con estos parámetros se procede a seleccionar una Bomba marca PAOLO (PKM-60) que tiene las siguientes características y especificaciones mostradas a continuación en la Tabla 3.52.

- Motor con eje de acero inoxidable
- Sello mecánico de grafito y cerámica.
- Aletas en aleación de bronce
- Protector térmico integrado

Tabla 3. 53::Especificaciones de la bomba [32].

Especificaciones	
Modelo	PKM-60
Descarga	5/40 L/min
Altura de descarga	40 m
Caudal máximo	40 L/min
Voltaje	115/230
Frecuencia	60 Hz
Potencia	0.37 Kw-0.5 hp
Amperaje	2.5 A
Temperatura de líquido	Intermitente hasta 45 °C

En la Figura 3.22 se muestra la curva de rendimiento de la bomba.

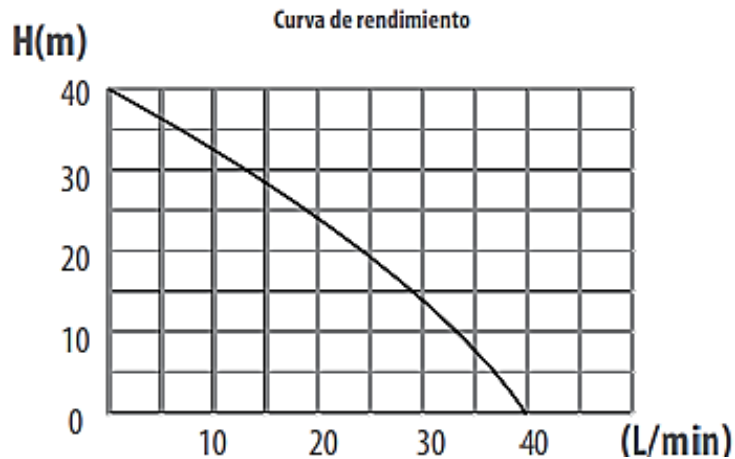


Figura 3. 22: Curva de rendimiento de la bomba [32].

3.4.2 Selección de rodamientos

Los rodamientos se encargan de facilitar el movimiento del eje agitador, como también de darle estabilidad y una correcta alineación tanto axial como radial, evitando que tengamos problemas de vibración y deflexión en el eje. Para su selección se consideró algunos parámetros importantes como:

- Auto lubricación: permite que no exista contaminación con la molienda.
- Facilidad de sujeción: se debe considerar un tipo de rodamiento que permita sujetar y fijar de gran manera el eje agitador
- Cargas axiales como radiales: los rodamientos van a soportar cargas pequeñas.

De acuerdo con los requerimientos anteriores se seleccionó un rodamiento rígido de bolas con collar de cierre excéntrico NTN, JEL204-012W3, mostrado en la Figura 3.23 apropiado para este tipo de trabajo que necesitan de gran alineación para evitar inconvenientes.

Características técnicas del rodamiento:

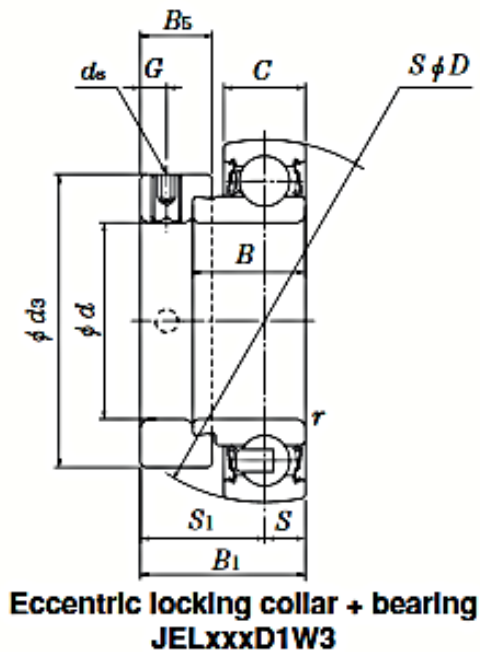


Figura 3. 23: Rodamiento de bolas NTN [33] .

- Diámetro del eje (in): 3/4.
- Número de serie: JEL204-012W3
- Diámetro interno (d): 0,7500 in
- Diámetro externo (D): 1,8504 in
- Ancho total (B1): 1,220 in
- Ancho rodamiento (B): 0,8465 in
- Radio de acuerdo min (rs): 0,039 in
- Especificación de prisionero (ds): 1/4 – 28UNF
- Capacidad de Carga Dinámica (Cr): 2890 lbf
- Capacidad de Carga Estática (Cor): 1500 lbf
- Factor estático (fo): 13,2
- Masa aproximada: 0,37 lb

Una vez seleccionado el rodamiento fue necesario comprobar si este era el adecuado para cumplir con los requisitos de cargas y vida útil, para lo cual se realizaron los siguientes cálculos:

La fuerza de arrastre aplicada al eje agitador al inicio del movimiento se toma como fuerza axial y la fuerza radial está comprendida por las masas del eje y brazos agitadores respectivamente. En la Tabla 3.54 se muestran los valores de dichas fuerzas.

Tabla 3. 54: Cargas soportadas por los rodamientos [Autores].

Fuerza	Valor (N)
Axial (Fa)	235.44
Radial (Fr)	9.81

En la Tabla 3.55 se procede a calcular la vida del rodamiento seleccionado inicialmente con los datos obtenidos a partir de las fuerzas actuantes dentro de la molienda hacia el eje.

Tabla 3. 55: Cálculo de vida y factor de seguridad del rodamiento [Autores].

Datos		Ecuación		Resultados
Procedimiento tomado del catálogo Numero 2202-XII/S del fabricante de rodamientos NTN.				
Factor estático	$f_0 = 13,2$	Relación	$\frac{f_0 * Fa}{C_{cor}}$; [33]	0,4657
Capacidad de carga estática	$C_{cor} = 6672,33 N$			
Fuerza axial	$Fa = 235,44 N$			
Valor de comparación se lo consigue interpolando mediante el valor de relación [33]. $e = 0,234$				
Fuerza axial	$Fa = 235,44 N$	Desigualdad para determinar valores de X y Y	$si, \frac{Fa}{Fr} \geq e$; [33]	$24 \geq 0,234$
Fuerza radial	$Fr = 9,81 N$			
Valor de comparación	$e = 0,234$			
$24 \geq 0,234$ entonces: $X = 0,56$; $Y = 1,84$ [33]				
Factor de carga radial	$X = 0,56$	Carga equivalente dinámica	$P = XFr + YFa$ [33]	$P = 438,703 N$
Factor de carga axial	$Y = 1,84$			
Fuerza axial	$Fa = 235,44 N$			
Fuerza radial	$Fr = 9,81 N$			

Capacidad básica de carga dinámica	$C = 12855,36 \text{ N}$	Vida del rodamiento	$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$ [33]	$L_{10} = 25,16 \times 10^9 \text{ rev}$
Carga equivalente dinámica	$P = 438,703 \text{ N}$			
Vida del rodamiento	$L_{10} = 25,16 \times 10^9 \text{ rev}$	Factor de seguridad	$Fl = \sqrt[3]{\frac{L_{10}}{500}}$ [33]	$Fl = 369,19$

Como se puede observar el factor de seguridad es muy elevado debido a que las fuerzas tanto axiales como radiales son muy pequeñas en comparación con las características dinámicas que posee el rodamiento. Es por esto que la selección del rodamiento JEL204-012W3 es ideal para el trabajo que va a realizar el molino de atrición.

3.5 Construcción del molino de atrición

La construcción a detalle de cada parte del sistema del molino Attritor diseñada, el cual está constituido por diferentes elementos tanto maquinados desde la materia prima como elementos normalizados, que requieren de máquinas y equipos de taller adecuados para su construcción.

En los Anexos se pueden observar los planos de taller y conjunto para la construcción de cada parte que van a ser utilizada en el ensamble final de la máquina.

Posteriormente a la construcción de cada elemento y siguiendo las operaciones para cada proceso, procedemos al ensamble final tomando en cuenta algunas consideraciones de diseño.

3.5.1 Requerimientos del taller mecánico

El taller mecánico seleccionado para la construcción del molino Attritor debe garantizar que se pueda realizar operaciones de manufactura convencionales, tales como maquinado,

corte, ensamblaje y acabado, además debe disponer de herramientas manuales y de medida que permitan fabricar con facilidad cada elemento.

En la Tabla 3.56 se enlista las maquinas herramientas, manuales y de medida que debe disponer el taller.


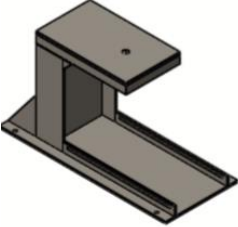

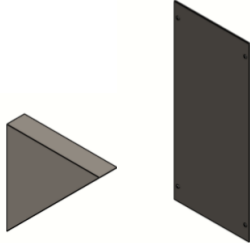
Tabla 3. 56: Lista de máquinas herramientas [Autores].

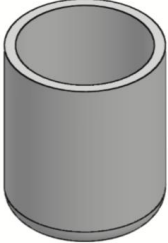
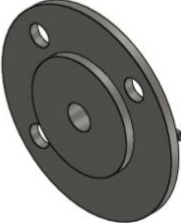
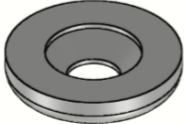

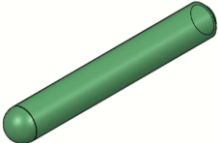
Máquina Herramienta	Herramientas Manuales	Herramientas de Medida
Torno Paralelo	Cuchillas para torno (Refrentado, Cilindrado,	Flexómetro
Rectificadora manual	Brocas (desde 2 – 16) mm	Escuadras
Taladro Pedestal	Machuelos y Porta machuelos	Nivel
Amoladora	Martillos, combos	Calibrador pie de rey
Taladro Manual	Lijas, rayadores	Torquímetro
Soldadora eléctrica	Discos de acabado, pulido	
Soldadora TIG	Llaves hexagonales o	
Cortadora Oxiacetilénica	Llaves de boca mixta,	
Sierra Mecánica	Tornillo de Banco	
Cizalla	Prensas, sierras de banco	
Dobladora para espesores de min 5mm	Electrodos, alambre flux	
Compresor – Equipo para pintura		

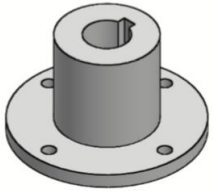
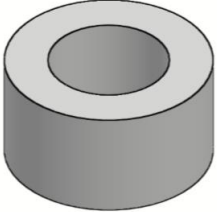

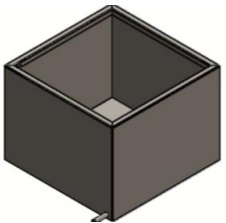

La partes o elementos del molino Attritor a construir deben tener una secuencia lógica y un proceso que seguir, basados principalmente en los planos de construcción y en los diferentes sistemas en los que se ha dividido la máquina.



La Tabla 3.57 muestra los elementos de la máquina a construir, además estos se encuentran divididos por sistemas para una mejor comprensión.

Tabla 3. 57: Elementos de la máquina a construir divididos por sistemas [Autores].

Número	Elemento	Plano	Esquema
Sistema de Desplazamiento del Contenedor			
1	Mesa de soporte	05 de 26	
2	Base soporte de motor	12 de 26	
3	Porta cámara de refrigeración	14 de 26	
4	Bases de soporte para el motor	10 de 26	

5	Base para caja de conexiones	06 de 26	
Número	Elemento	Plano	Esquema
Sistema de Molienda			
6	Tanque de Molienda	22 de 26	
7	Tapa del tanque de molienda	23 de 26	
8	Caja de rodamiento	11 de 26	
9	Eje Agitador	17 de 26	
10	Agitador	18 de 26	
Número	Elemento	Plano	Esquema
Sistema de Transmisión de Potencia			

11	Acople motor	20 de 26	
12	Acople eje agitador	19 de 26	
Número	Elemento	Plano	Esquema
Sistema de Refrigeración			
13	Base tanque de refrigeración	15 de 26	
14	Tanque de refrigeración	26 de 26	
15	Cuerpo de Cámara refrigeración	24 de 26	

16	Brida circular	24 de 26	
17	Base de soporte del tanque de molienda	19 de 26	

3.5.2 Construcción de elementos del sistema de desplazamiento y soporte del contenedor

A continuación, se muestra la construcción de las partes que conforman este sistema para lo cual se ha seguido diversos procesos de fabricación, como también las dimensiones y tolerancias presentadas en los planos de los anexos.

3.5.2.1 Construcción de la mesa de soporte

Esta parte está constituida principalmente por su estructura base, formada por tubos cuadrados y planchas de acero especificados en la Tabla 3.58, las cuales siguen un proceso de fabricación descrito en el Anexo 1.

Tabla 3. 58: Construcción de la mesa de soporte [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Columnas	Acero estructural ASTM A36	Tubo cuadrado 50x50x4
Vigas laterales		Tubo cuadrado 50x50x4
Placa superior / inferior		Plancha espesor 4.8



3.5.2.2 Construcción de la base soporte del motor

Los elementos se fijan a la mesa de soporte mediante una placa sujeta por pernos, posteriormente se suelda un perfil en I que va reforzado por medio de platinas triangulares en su parte inferior trasera, en la parte inferior delantera se colocan placas guías agujeradas para el deslizamiento y finalmente sobre el perfil se construye la base que va a sostener el motor, el cual consta de 4 tubos cuadrados y una plancha de acero reforzados también con platinas en forma triangular especificado en la Tabla 3.59. El cual sigue un proceso de fabricación descrito en el Anexo 2

Tabla 3. 59: Construcción de la base soporte del motor [Autores].


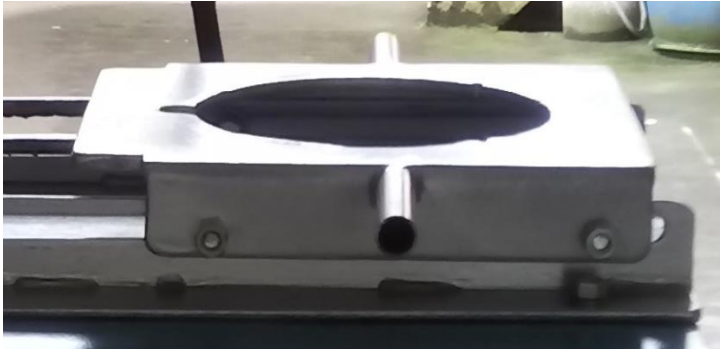
Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Perfil I	Acero estructural ASTM A36	IPN 360
platinas triangulares		Superior:5x5x2
Placas guías		620x50x9
vigas		Tubo cuadrado 50x50x4
Plancha superior / inferior		Plancha espesor 4.8



3.5.2.3 Construcción de la porta cámara de refrigeración

Este elemento además de dar estabilidad a la cámara de refrigeración nos sirve también para deslizarlo fácilmente, por este motivo se ha optado por fabricar unas manijas en tubo redondo, donde su estructura base está construido por placas de acero ASTM A-36 especificados en la Tabla 3.60. El cual sigue un proceso de fabricación descrito en el Anexo 3.

Tabla 3. 60: Construcción del porta cámara de refrigeración [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Placas laterales		Plancha e=9
Placa base porta tanque		Plancha e=9
Manijas		Tubo redondo Ø ½"
		
		

3.5.3 Construcción de elementos del sistema de Molienda

A continuación, se detalla cada parte fabricada para este sistema, siguiendo un proceso de construcción con sus respectivas medidas y tolerancias.

3.5.3.1 Construcción del tanque de molienda

Esta es una de las partes más relevantes en la construcción del molino Attritor y su construcción parte de un eje macizo de acero inoxidable 304, el cual es maquinado hasta obtener el tanque con las medidas requeridas especificado en la Tabla 3.61. El proceso de fabricación para este elemento se describe en el Anexo 4.





Tabla 3. 61: Construcción del tanque de molienda [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Tanque de molienda	Eje acero inoxidable 304	Diámetro: 130 Longitud:250
		
		

3.5.3.2 Construcción de la tapa del tanque de molienda

La tapa se construye por medio del maquinado de una plancha de acero inoxidable AISI-304, formando dos piezas externa e interna, adicional a esto, se encuentra soldada una caja que se encarga de alojar y fijar el rodamiento especificados en la Tabla 3.62. El proceso de fabricación para esta parte se describe en el Anexo 5.

Tabla 3. 62: Construcción de la tapa del tanque de molienda [Autores].





Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Tapa de tanque de	Acero inoxidable AISI-304	Plancha e=8
Caja de rodamiento		Eje Ø=
		
		

3.5.3.3 Construcción del eje agitador con sus respectivos brazos agitadores

Estos elementos están contruidos mediante ejes de acero inoxidable AISI-304 de diferente diámetro, los brazos agitadores atraviesan el eje agitador y estos a su vez son fijados mediante prisioneros como se especifica en la Tabla 3.63. El proceso que se sigue para la fabricación de este elemento se describe en el Anexo 6.

Tabla 3. 63: Construcción de eje y brazos agitadores [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (in)
Eje agitador	Acero inoxidable AISI-304	Diámetro superior: 3/4 “
Brazos agitadores		Diámetro: 5/16 “





3.5.4 Construcción de elementos del sistema de transmisión de potencia

Los elementos construidos para este sistema tienen la función de transmitir potencia desde el motor hacia el eje agitador, para lo cual se sigue un proceso de fabricación, con sus respectivos planos de construcción.

3.5.4.1 Construcción del acople flexible de arrastre

La construcción del acople se divide en dos partes, la primera que se ha denominado acople eje motor y la segunda que se ha llamado acople eje agitador, cada una está fabricada a partir de un eje macizo soldado a una brida circular, para que puedan sujetarse mediante pernos entre sí como se especifica en la Tabla 3.64. El proceso de construcción se describe en el Anexo 7.

Tabla 3. 64: Construcción del acople flexible de arrastre [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Acople eje motor	AISI 1045	Diámetro brida circular:
Acople eje agitador		Diámetro brida circular:
		
		



3.5.5 Construcción del sistema de Refrigeración

Sistema que ayuda a disipar el calor generador en el interior del tanque de molienda, está conformada por la cámara de refrigeración y el tanque enfriamiento.

3.5.5.1 Construcción de la cámara de refrigeración

Está conformada por un tubo de acero ASTM A36 como cuerpo de la cámara de refrigeración. En donde se suelda una brida circular en la parte superior para el ajuste de la tapa mediante pernos y por la parte interna un soporte para el tanque de molienda. Además, se colocan tuberías para el ingreso y salida del refrigerante como se especifica en la Tabla 3.65. El proceso para la fabricación de este elemento se describe en el Anexo 8.

Tabla 3. 65: Construcción de la cámara de refrigeración [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Brida circular	Acero ASTM A36	Diámetro interno:203 Diámetro externo:270
Base de tanque mol.		Diámetro interno: 140 Diámetro externo:150

Cuerpo de cámara refrigeración		Diámetro interno:203 Diámetro externo:208
		
		
		

3.5.5.2 Construcción del Tanque Refrigerante

La fabricación del tanque se lo realiza con una plancha de acero, la misma que se dobla por sus aristas y se suelda una placa del mismo material por su lado inferior, a su vez se

suedan guías para el desplazamiento y sujeción del mismo, como se muestra en la Tabla 3.66. El proceso de fabricación del elemento se describe en el Anexo 9.

Tabla 3. 66: Construcción del tanque refrigerante y guías [Autores].

Elemento	Material	Dimensiones (mm)
Tanque refrigerante	Acero ASTM A36	Ancho:40 Altura:30
Guías de tanque		Angulo de 2x2x1.5
		
		

3.5.6 Montaje del molino Attritor

Una vez construido cada parte que conforma el molino Attritor procedemos al ensamblado de la máquina para lo cual se lo hará de manera ordenada y por sistemas, es así que tendremos la siguiente secuencia:

- Sistema de Desplazamiento del Contenedor
- Sistema de Molienda
- Sistema de Transmisión de Potencia
- Sistema de Refrigeración

3.5.6.1 Montaje del Sistema de Desplazamiento del Contenedor

La estructura base se acopla al soporte del motor mediante pernos de sujeción. Además de esto se inserta el porta tanque de refrigeración a las platinas guías como se puede observar en la Figura 3.24.



Figura 3. 24: Montaje del sistema de desplazamiento del tanque de refrigeración [Autores].

3.5.6.2 Montaje del Sistema de Molienda

Este sistema comprende el ensamble del eje agitador con sus respectivos brazos agitadores el cual atraviesa la tapa y se fija dentro del tanque de molienda. Además, se acopla elementos estandarizados como el manómetro de presión y un perno de acero inoxidable a manera de tapón, como se muestra en la Figura 3.25.



Figura 3. 25: Montaje del sistema de molienda [Autores].

3.5.6.3 Montaje del sistema de Transmisión de Potencia

El motor es el principal elemento centrado en este sistema además de los acoples flexibles al eje del motor y al eje agitador. Se considera dentro de este sistema la instalación de la caja de conexiones para el control de los componentes eléctricos como se muestra en la Figura 3.26.



Figura 3. 26: Montaje del sistema de transmisión de potencia [Autores].

3.5.6.4 Montaje del Sistema de refrigeración

Se muestra el ensamblado final de la maquina con la cámara de refrigeración y el tanque de enfriamiento, además se incluye los accesorios de conducción de refrigerante como tuberías, válvulas de paso, ventilador, radiador y demás accesorios, como se muestra la Figura 3.27.



Figura 3. 27: Montaje del sistema de refrigeración [Autores].

3.6 Análisis de costos de fabricación

En este ítem se procede a exponer los diversos costos que se emplean para cumplir con uno de los objetivos de diseñar y construir el molino attritor, para estos los dividimos en dos como son; costos directos en los que se engloban materias primas, elementos normalizados y procesos de mecanizado, mientras que en los indirectos se hace énfasis a los costos de ingeniería e imprevistos que no se ha tomado en cuenta para el óptimo funcionamiento de la máquina.

3.6.1 Costos directos

3.6.1.1 Costos de materia prima

En la Tabla 3.66 se enlistan los costos de la materia prima, considerando a todos aquellos materiales que se encuentran dentro de la fabricación del molino attritor. Siendo estos

materiales comerciales en el mercado nacional, cabe recalcar que algunos de los materiales se han adquirido en bruto y sobredimensionado para posteriormente ser maquinados.

Tabla 3. 67:Costos de materia prima manufacturados [Autores].

Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Plancha de acero A-36, 850 x 750 x 5	2	36	72
Plancha de acero A-36, 450 x 300 x 5	1	15	15
Plancha de acero A-36, 850 x 500 x 6	1	20	20
Plancha de acero A-36, 410 x 400 x 6	1	15	15
Plancha de acero A-36, 300 x 300 x 9	1	30	30
Plancha de acero A-36, 410 x 350 x 9		35	0
Tubo estructural cuadrado, 50 x 50 x 3; L=3000	2	25	50
Angulo 20 x 20 x 3; L= 3000	1	6	6
Tubo redondo; Ø ½’’ ; L= 500	1	2	2
Eje cuadrado 17 x 17 L= 1500	1	2	2
Plancha de acero A-36 400x 1200 x 2	2	20	40
Tubo de acero ASTM A-36 Ø=8’’ L= 300	1	20	20
Plancha de acero AISI 304-L, 250 x 250 x 8	2	50	100
Plancha de acero A-36, 250 x 250 x 10	1	15	15
Eje de acero A-36 Ø= 3plg; L= 30	1	10	10
Eje de acero AISI 304-L, Ø=6’’ ; L=200	1	250	250
Eje de acero AISI 304-L Ø=7/8’’ ; L=300	1	3.5	3.5
Eje de acero AISI 304-L Ø=5/16’’ ; L=700	1	3	3
Eje de acero A-36, Ø= 4’’ ; L=120	1	20	20
Subtotal			673.5

3.6.1.2 Costos de elementos adquiridos normalizados

Los costos que presenta la Tabla 3.68 son los correspondientes a los elementos seleccionados acorde al diseño del molino attritor.

Tabla 3. 68: Costos de elementos adquiridos normalizados [Autores].

Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Rodamiento NTN con anillo de sujeción, ¾’’	2	18	36
Perno acero galvanizado, ¾’’ x 1’’	6	0.07	0.42
Tuerca acero galvanizado, ¾’’	6	0.07	0.42
Rodela acero galvanizado, ¾’’	6	0.05	0.3
Rodamientos SKF 5/8	4	1	4
Perno acero galvanizado, 5/8’’ x 1 1/2’’	4	0.06	0.24
Tuerca acero galvanizado, 5/8’’	18	0.08	1.44
Perno acero galvanizado, 5/8’’ x 1’’	10	0.1	1
Arandela plana acero galvanizado, 5/8’’	10	0.05	0.5
Pernos galvanizados de ¼’’ x 1’’	8	0.07	0.56
Tuercas galvanizadas de ¼’’	8	0.07	0.56
Arandelas galvanizadas de ¼’’	8	0.05	0.4
Perno de acero inoxidable de 7/8’’	1	1.6	1.6
Prisionero de acero inoxidable ¼’’	6	0.5	3
Bomba de agua	1	70	70
Acople de tanque reservorio ½’’	3	1.5	4.5
Universales de ½’’	3	1.75	5.25
Neplo de ½’’	1	0.45	0.45
Válvula de globo	2	7	14
Reducción de 1’’ a ½’’	2	0.75	1.5
Adaptación de tubería a manguera de ½’’	3	1.5	4.5
Abrazaderas de ½’’	3	0.25	0.75
Manguera de agua ½’’; L=3000	1	6	6
Manguera de agua ¾’’; L=1000	1	4	4
Manguera de agua tipo S	1	5	5
Acoples rápidos ¾’’	2	15	30

Unión roscada de ¾’’	2	0.75	1.5
Reducción de ¾’’ a ¼’’	2	0.5	1
Adaptación de tubería a manguera de ¼’’	2	0.75	1.5
Remaches para manguera de ½’’	2	3.5	7
Codo de acero de ½’’	1	1.5	1.5
Neplo galvanizado ½’’; L= 200	1	1.25	1.25
Adaptación de tubería a manguera ½’’	1	0.75	0.75
Abrazadera de presión	1	1	1
Empaque unco	1	8	8
Empaque Ø=4’’	1	1	1
Ruedas industriales cap=150 kg	4	5	20
Manómetro de presión	1	12	12
Radiador	1	40	40
Ventilador 220 V	1	18	18
Unión galvanizada de ½’’	1	0.75	0.75
Tapón interno galvanizado	1	0.75	0.75
Caja de Conexiones	1	20	20
Breaker	1	20	20
Contactador	1	25	25
Enchufe trifásico	1	5.5	5.5
Cables eléctricos; L=11m	1	14.3	14.3
Motor 2hp WEG	1	178	178
Variador de frecuencia WEG	1	300	300
Potenciómetro	1	1.5	1.5
Perillas ON/OFF	2	2	4
Manguera corrugada de, Ø=14 mm L=4 m	1	0.8	0.8
Bolas de molienda Ø=5mm; Peso= 4.5 kg	1	166	166
Subtotal			1047.49

3.6.1.3 Costos de procesos de mecanizado y pintura

Los costos de fabricación de los elementos del molino de atrición se presentan en la Tabla 3.69.

Tabla 3. 69: Costos de mecanizado y pintura [Autores].

Proceso	Valor hora/hombre	Duración (h)	Valor total (\$)
Torneado	60	10	600
Taladrado	5	8	40
Suelda eléctrica	8	10	80
Corte plasma	3	8	24
Pintado	8	7,75	62
Subtotal			806

3.6.2 Costos indirectos

3.6.2.1 Costos de ingeniería

Dentro de este tipo de costos se incluye el valor por el diseño de la maquinaria, así como sus respectivas supervisiones de la construcción de los diversos elementos de la máquina, también se debe incluir las respectivas pruebas de funcionamiento, pero esta al tratarse de un proyecto de titulación se ve obviado por tal motivo.

3.6.2.2 Costos de materiales indirectos

En la Tabla 3.70 se hace referencia a los materiales y equipos para la de fabricación de los elementos y partes que conforman la máquina, así como el prototipo construido para la determinación de la fuerza de arrastre originada en la molienda.

Tabla 3. 70: Costos de materiales indirectos [Autores].

Denominación	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Prototipo	1	110	110
Tiñer	1	1.5	1.5
Guantes	4	1	4
Mascarilla	2	1	2
Lijas	4	0.75	3
Disco de desbaste	2	2.5	5
Cepillo circular	2	3.5	7
Guaípe	2	1	2
Subtotal			134.5

3.6.3 Costo total de construcción del equipo

En la Tabla 3.71, se presenta el subtotal de los costos directos.

Tabla 3. 71: Subtotal de costos directos [Autores].

Descripción	Cantidad
Materia prima	673.5
Elementos normalizados	1047.49
Proceso de mecanizado	806
Subtotal	2526.99

En la Tabla 3.72, se presenta el subtotal de los costos indirectos la cual está conformada por los materiales indirectos e imprevistos no tomados en cuenta para la construcción de la máquina. También se agrega el costo de reprocesos elementos defectuosos.

Tabla 3. 72: Subtotal de los costos indirectos [Autores].

Descripción	Cantidad
Materiales indirectos	134.5
Imprevistos y reprocesos	135
Subtotal	269.5

Para determinar el costo real de fabricación o construcción de la maquinaria se añade un costo adicional del 5% de lo presupuestado inicial, el cual no se ha tomado en cuenta para el correcto funcionamiento del equipo es así que en la Tabla 3.73 se añade el valor imponderable de la misma.

Tabla 3. 73: Costo total de la construcción del molino attritor [Autores].

Descripción	Cantidad
Costos directos	2526.99
Costos indirectos	269.5
Imponderables	175
Total	2971.49

3.7 Puesta en marcha

El procedimiento a seguir para óptimo funcionamiento del molino attritor se basa principalmente en las características de los diversos materiales a ser molidos y los parámetros con los cuales se utilicen a la hora del funcionamiento los que se mencionan con detalle en el Anexo 10, del manual de funcionamiento del molino.

3.8 Pruebas de funcionamiento

3.8.1 Pruebas de temperatura

Esta prueba fue realizada a un tiempo de 84 minutos en intervalos de 3 minutos tomando como referencia temperaturas antes y después de la molienda para que de este modo la temperatura sea más precisa a la hora de estimarla dentro de la cámara de molienda. Por otro lado también se hace incapie que las pruebas de funcionamiento se las determino a una velocidad de giro de 500 rpm con material de aluminio por su punto de fucion relativamente alto y la fragilidad que presenta el material para la determinacion de la temperatura tomando como referencia una temperatura ambiente de 14,6 °C en las bolas de molienda hasta llegar a una de 66,1 °C en el tiempo establecido. En la Figura 3.28 se puede observar que el incremento de la temperatura en los medios moledores es significativo por la naturaleza del molino mientras que la presión se mantiene constante en todo el ciclo de la prueba de funcionamiento.

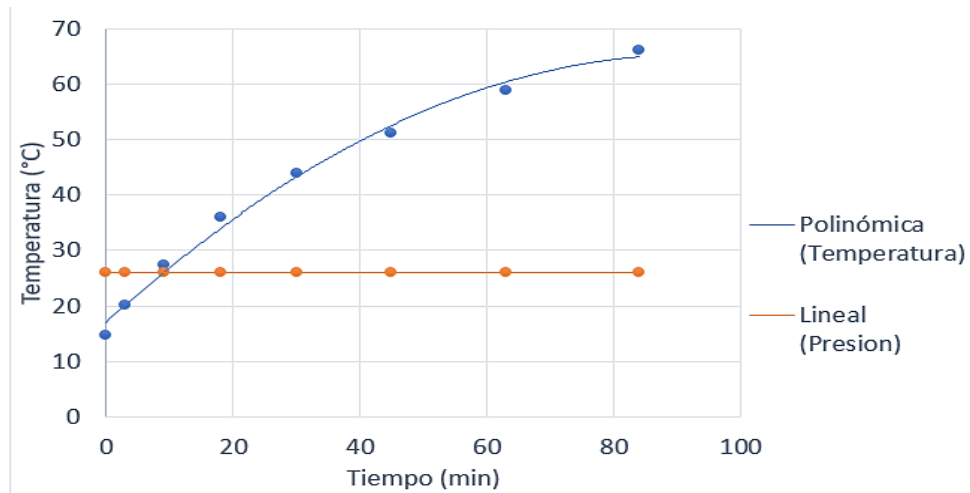


Figura 3. 28: Pruebas de presión y temperatura [Autores].

En el caso del tanque de molienda tomamos medidas de temperaturas tanto dentro como fuera del mismo como se muestra en la Figura 3.29. En donde, las líneas de tendencia no son iguales debido a que el tanque en la parte interna está en contacto directo con la molienda mientras que la parte externa está en contacto con el refrigerante. Claro está que el tanque de molienda no alcanza la misma temperatura de las bolas siendo parte de la cámara debido a que el refrigerante mantiene la temperatura del tanque como consiguiente llevando hasta los medios moledores.

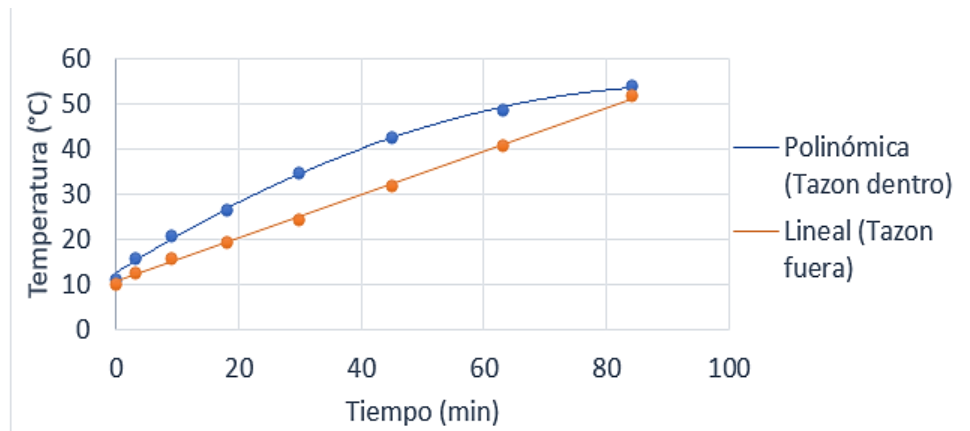


Figura 3. 29: Mediciones de temperatura pared interna y externa [Autores].

Por último se hace referencia al radiador instalado quien tiene como objetivo disipar el calor ganado por el refrigerante para prolongar los tiempos de molienda. Esta prueba se la

detemino antes y despues del radiador para determinar la factibilidad de la instalacion de dicho sistema. Dandonos como resultado que en el tiempo de 84 minutos de molienda el radiador baja una temperatura de 11.8 °C como se muestra en la Figura 3.30.

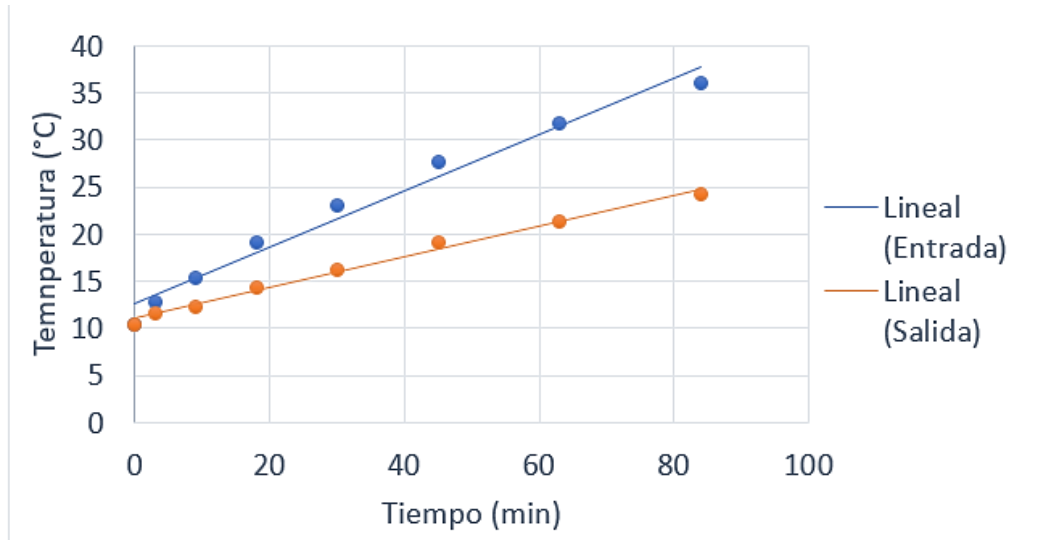


Figura 3. 30: Mediciones de temperatura a la entrada y salida del radiador.

3.8.2 Pruebas de reducción de tamaño de las partículas

Unas de las principales funciones el molino de atrición es la reducción de tamaño de partículas donde también consta como una de las pruebas de funcionamiento del equipo, es por esto que se selecciona al zinc como uno de los materiales debido a sus propiedades que este metal presenta frente a otros metales como es el plomo quien tiene un punto de fusión bajo lo cual provoca que el material se adhiera a las bolas de acero inoxidable y paredes del cilindro de molienda.

Para la obtención de polvo de zinc primero se procede con la obtención de virutas de zinc para después tamizar dichas partículas con el tamiz de 2 mm de malla con el fin de obtener una granulometría semejante en todas las partículas como se muestra en la Figura 3.31 descartando las virutas de mayor tamaño. Para dicha prueba se emplea una masa de 420 g de material tamizado.



Figura 3. 31: Virutas descartadas para la molienda [Autores].

Para la obtención del polvo de zinc posteriormente se procede a llevarlo a la máquina y mantenerlo en molienda por 1 hora a una velocidad de giro de 500 rpm. Una vez pasado el tiempo designado el zinc es extraído del molino para ser llevado a los tamices número 200 con un tamaño de malla de $75\ \mu\text{m}$ y 100 con un tamaño de malla de $45\ \mu\text{m}$. Dándonos como resultado que los polvos metálicos pasan por el tamiz número 200 sin ningún problema quedando en el tamiz un porcentaje menor al 8% del total de la masa del zinc, mientras que con el tamiz número 100 el polvo se dificulta al pasar quedando más del 75% de la masa dentro del tamiz. Como se observa en la Figura 3.32.



Figura 3. 32: a) Matiz de malla de $45\ \mu\text{m}$. b) Tamizado de material molido [Autores].

3.8.2.1 Análisis de muestras

Las muestras tamizadas de polvo son llevadas al microscopio electrónico de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato donde se procedió a medir el tamaño de grano de las dos muestras a 100 X, pero primero se muestra una medición general sin tamizar donde se puede observar que la granulometría es bastante dispereja como se muestra en la Figura 3.33.

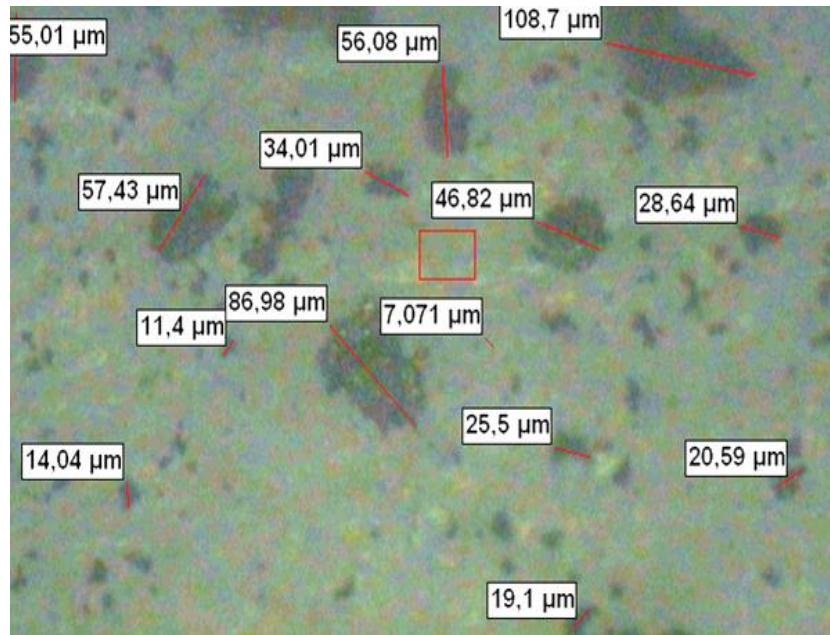


Figura 3. 33: Medición de granulometría sin tamizar, analizada con el microscopio electrónico [Autores].

Muestra 1

La Primera medición realizada con el tamiz número 200 muestra la longitud de las partículas semejante o de menor tamaño a la malla de 75 μm como se observa en la Figura 3.34.

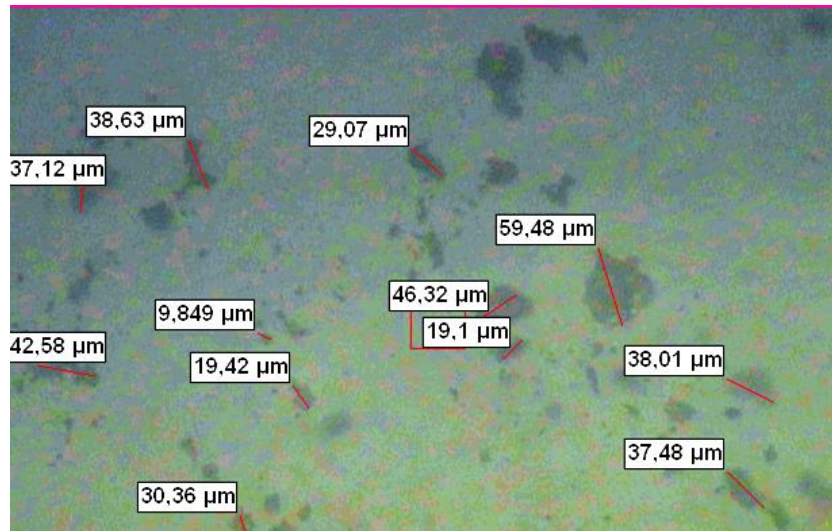


Figura 3. 34: Medición de granulometría tamizada a 75 μm analizada con el microscopio electrónico [Autores].

Muestra 2

La segunda medición se la realiza por medios ilustrativos ya que al tamizar el mayor porcentaje de la muestra se queda en el tamiz número 100 se observa partículas semejantes o de menor tamaño a la malla de 45 μm como se observa en la Figura 3.35.

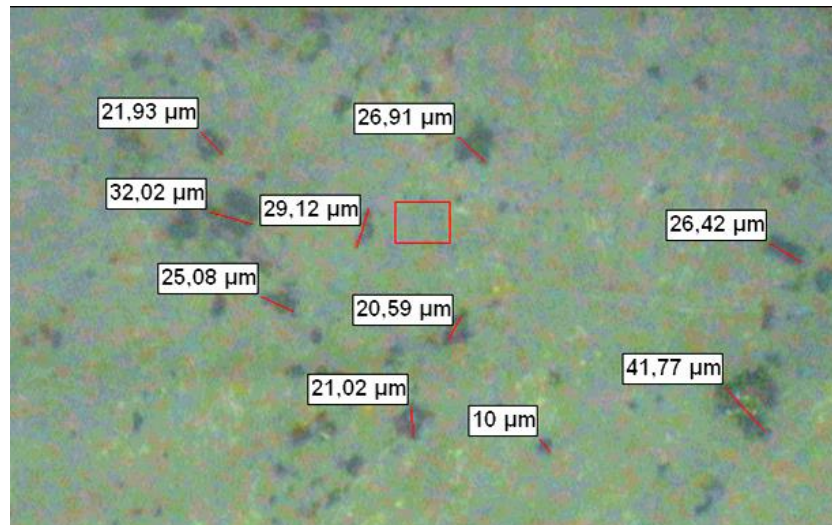


Figura 3. 35: Medición de granulometría tamizada a 45 μm analizada con el microscopio electrónico [Autores].

Cabe recalcar que para las muestras de medición de la partícula se procede a tamizar sobre el porta probetas dejando las partículas bastantes dispersas y evitando la aglomeración de las mismas para obtener datos más idóneos al momento de la medición.

3.8.3 Prueba de obtención de aleación Cu, Zn ,Pb, Sn

La gran variedad de metales en el mundo da oportunidad a la creación de nuevos materiales compuestos mejorando las características físicas del material base. Es por esto que la prueba se basa a la aleación del cobre como material base y aleantes al plomo, zinc y estaño. En dicha prueba se ha tomado en cuenta la relación de masa material-bolas de 1:10 siendo 0,365 kg de material a alear y 3,65 kg de bolas en un tiempo de 3 horas a una velocidad de 500 rpm. Como se muestra en la Tabla 3.74.

Tabla 3. 74: Porcentajes de materiales involucrados en la aleación [Autores].

Material	Porcentaje (%)
Cu	87.67
Zn	6.03
Pb	3,15
Sn	3,15
Total	100

Después de 3 horas de molienda bajo las condiciones antes mencionadas se toma una muestra a analizar en donde se puede observar en la Figura 3.36 que los materiales aleantes forman una sola partícula con el material Cu, como material base.

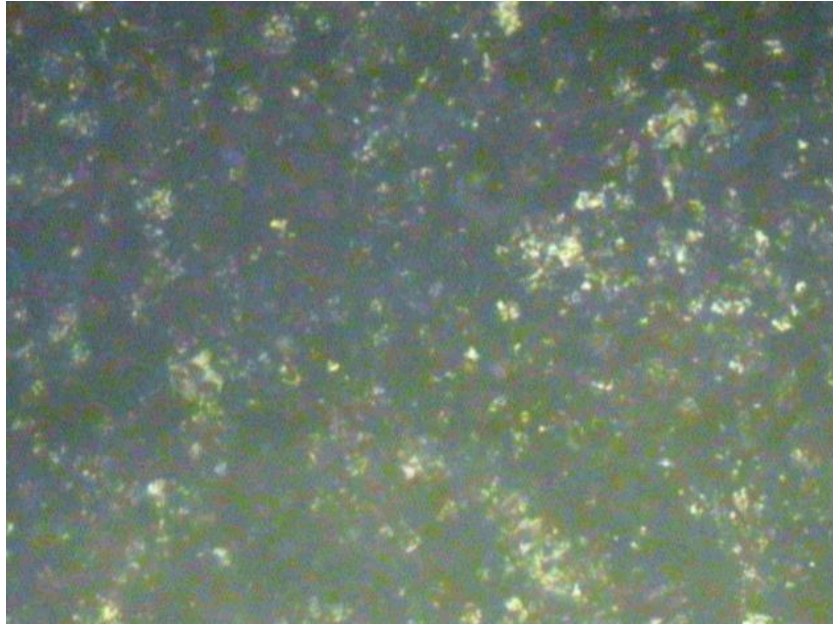


Figura 3. 36: Muestra de aleación a 100X observada en el microscopio electrónico de la FICM [Autores]. El porcentaje de incrustación de los materiales aleantes hacia el material base no se pudieron determinar, debido a la morfología compleja que presentan las partículas por lo cual es necesario la utilización de un microscopio más sofisticado como es el de barrido. El cual no está disponible actualmente en los laboratorios de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Tomando en cuenta las características y especificaciones investigadas en diferentes fuentes se pudo recopilar información acerca de parámetros de funcionamiento para diferentes tipos de molinos de bolas, como son: la relación de peso bola a polvo, tiempo, velocidad, grado de llenado y control de temperatura dentro de la molienda, los mismos que fueron de gran ayuda para la aplicación en nuestro diseño.
- Las condiciones favorables a las cuales el molino Attritor funciona adecuadamente son: la relación de 10:1 de la masa de bolas-polvo, potencia de motor de 2 hp, sistema de refrigeración por refrigerante y diámetro de bolas de 5mm.
- Los elementos de máquina que conforman la composición del molino de atrición son relevantes ya que de estos dependen la correcta funcionalidad del equipo, es así que ha calculado las dimensiones de los elementos más relevantes, en los cuales se parten de la determinación de la fuerza de arrastre, esencial para todo el cálculo en la molienda, hallada de forma experimental y concisa para la obtención de mejores resultados y confiabilidad de la máquina.
- En base a los parámetros de diseño se construye el molino de atrición con una capacidad de tanque de molienda de 2000 ml. Cuyo tanque es utilizado no más del 50% de su capacidad total debido a que, al agitar los medios moledores, estos toman una fuerza centrífuga que va más allá de la altura ocupada por el propio volumen.
- El tanque de molienda está diseñado y construido de tal forma que se encuentra presto a modificaciones o mejoras en su diseño como es el caso de la atmosfera controlada que evitara la posible contaminación en los polvos o aleaciones metálicas.
- Finalmente, se pone en marcha el funcionamiento del molino attritor cumpliendo satisfactoriamente las especificaciones provistas en el cálculo y diseño del equipo, siendo esta máquina idónea para la obtención de polvos o aleaciones metálicas las mismas que depende del tiempo y velocidad de trabajo debido a que a mayor velocidad

de giro el tiempo disminuye y por lo contrario si se disminuye la velocidad de giro el tiempo aumenta debido al incremento de la temperatura.

4.2 Recomendaciones

- Verificar la veracidad de los cálculos de molienda antes de la construcción del equipo, de tal forma que se evite la reconstrucción o reprocesos en los elementos de máquina.
- Comprobar que el taller mecánico cumpla con las características esenciales para la fabricación de la máquina ya que este debe proporcionar confiabilidad en las medidas y tolerancias provista por el diseño.
- Evitar golpear la tapa de molienda ya que esta podría tender a deformarse de tal forma que no selle las filtraciones de refrigerante debido a que esta está sometida a una presión que bordea a los 24 psi.
- Se debe conocer los materiales a utilizar con sus debidos puntos de fusión, ya que de esto dependerá el tiempo de molienda.
- El tiempo de funcionamiento del molino está determinado también por la temperatura que alcanzan los componentes como motor, bomba, etc. Por lo que se recomienda ver el catálogo de cada uno de ellos.
- Para garantizar un sellado óptimo en la tapa de molienda se recomienda ajustar los pernos de sujeción por medio del torquímetro a una fuerza de 15 N/m por cada perno.
- Una vez culminado con el funcionamiento del molino se debe abrir la válvula de desfogue, para vaciar todo el refrigerante que se encuentra en el interior de la cámara de refrigeración.
- Se recomienda analizar la caracterización de tamaño y de aleaciones de partículas mediante un microscopio electrónico de barrido debido a su precisión y a la manera de cuantificación de resultados.

Referencias Bibliográficas

- [1] X. S.-q. Z. J.-e. ZUO Ke-sheng, «Effect of temperature on mechanical alloying of Cu-Zn and Cu-Cr system,» *ScienceDirect*, vol. 1, p. 9, 2009.
- [2] E. L. D. Priya R. Santhanam, «Predicting conditions for scaled-up manufacturing of materials prepared by ball milling,» *Powder Technology*, vol. 1, p. 9, 2012.
- [3] P. B. G. M. Al-Azzawi Ali, «MECHANICAL ALLOYING AND MILLING,» *Department of Nanotechnology, Faculty of Materials Science and Engineering, University of Miskolc*, p. 8, 2015.
- [4] C. Suryanarayana, Mechanical alloying and mill, *Prog. Mater. Sci*, 2001.
- [5] J. Valderrama, «Informacion Tecnologica,» *CIT*, vol. 10, nº 3, p. 187, 1999.
- [6] E. Ruiza, C. E. d. Costa, F. Velasco y J. Torralba, «Aleación mecánica: Método de obtención de polvos metálicos y de materiales compuestos,» *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, vol. I, nº 36, p. 286, 2000.
- [7] M. Muñoz y J. Rojas, *Metrología e Instrumentación; Manual de Laboratorio*, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2004.
- [8] E. DeGarmo, J. Black y R. Kohser, *Materiales y procesos de Fabricación*, Barcelona: Editorial Reverte, S.A., 2002.
- [9] H. D. Moore y D. R. Kibbery, *Materiales y procesos de fabricacion*, Mexico: Limusa, 1987.
- [10] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura Moderna*, Mexico: Pearson Prentice Hall, 1997.
- [11] S. Kalpakjian y S. Schmid, *Manufactura Ingeniería y Tecnología*, Mexico: Pearson Education, 2001.
- [12] O. Neikov, S. Naboychenko y G. Dowson, *HANDBOOK OF NON-FERROUS METAL POWDERS*, Oxford: Copyright, 2009.
- [13] M. Aliofkhazraei, *Handbook of Mechanical Nanostructuring*, Weinheim: Wiley-VCH, 2015.
- [14] E. A. C. Casco, «"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y

MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.”,» Ambato, 2017.

- [15] E. Andrade, *Tecnología mineralurgica*, Santander: Universidad de Cantabria, 2014.
- [16] A.-A. Ali, P. Baumli y G. Mucsi, «Mechanical Alloying And Milling,» *Department of Nanotechnology, Faculty of Materials Science and Engineering, University*, vol. I, p. 8.
- [17] M. s. El-Eskandarany, *MECHANICAL ALLOYING FOR FABRICATION OF ADVANCED ENGINEERING MATERIALS*, Cairo: Copyright , 2001.
- [18] C. Marin, «Pulvimetalurgia: En busca de Nuevos Materiales,» *Metalactual*, p. 6.
- [19] I. B. C.A., *Catalogo general de productos*, Quito, 2018.
- [20] «Irestal group,» 27 Abril 2016. [En línea]. Available: www.irestal.com. [Último acceso: 14 Marzo 2019].
- [21] S. Avner, *Introducción a la metalurgia Física*, Mexico: McGraw-Hill/INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A. DE C.V., 1988.
- [22] «Amazon,» HUANYU INSTRUMENTO, 6 Diciembre 2016. [En línea]. Available: www.amazon.com. [Último acceso: 14 Marzo 2019].
- [23] J. Guerra y C. Reyes, «Diseño y contrucción de un molino de atricción con sistema de control atmosferico y de temperatura para la obtencion de compuestos aleados mecánicamente,» Quito, 2013.
- [24] Robert L. Mott, *Resistencia de materiales*, Mexico: PEARSON EDUCATION, 2009.
- [25] R. R, M. D y C. T, «Milling Dynamics: Part I. Attritpt Dynamics: Results of a Cinematographic Study,» *Metallurgical Transactions*, vol. 24, nº 185, p. 11, 1993.
- [26] J. Renteria, «Rediseño y construccion de un molino tipo atritor,» Santiago de Cali, 2008.
- [27] R. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Mexico: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [28] C. Alvarez y J. Dávila, *Diseño y construcción de un molino de atricción pasra moler materiales cerámicos*, Quito, 2011.

- [29] «WEG,» WEG EXPORTADORA, 06 Septiembre 2002. [En línea]. Available: www.weg.com.br. [Último acceso: 19 Marzo 2019].
- [30] E. Kelly y D. Spottiswood, Introducción al procesamiento de minerales, México: Noriega Limusa, 1990.
- [31] A. Szegvari y M. Yang, *UNION PROCESS INC.*, KENT-OHIO, 1999.
- [32] Promesa, «PROMESA BOMBAS Y PLOMERIA,» [En línea]. Available: <http://www.promesa.com.ec>. [Último acceso: 09 Mayo 2019].
- [33] «NTN Revolución en movimiento,» 18 Noviembre 2015. [En línea]. Available: www.ntnglobal.com. [Último acceso: 02 Junio 2019].

Anexos

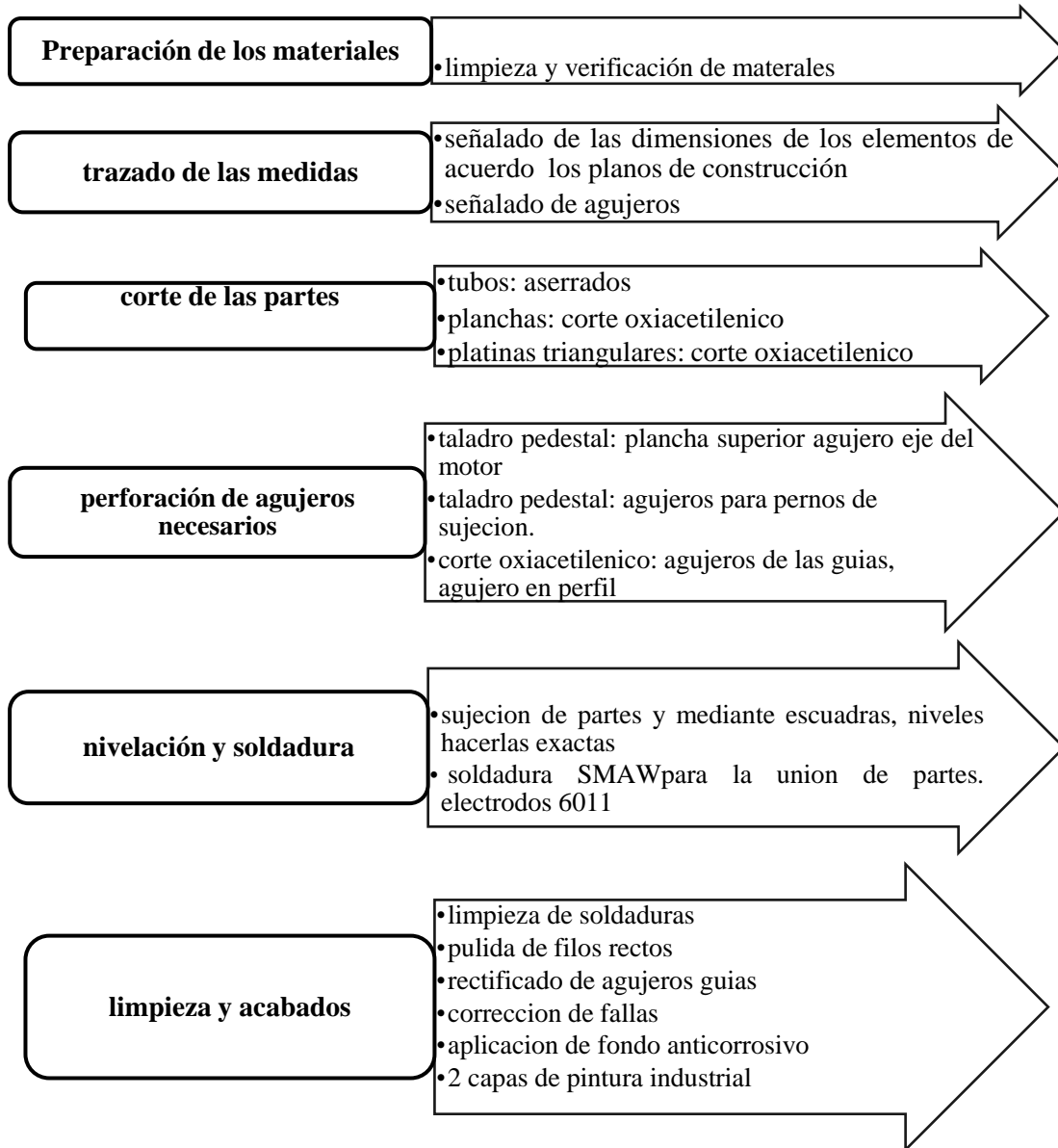
Anexo 1

Hoja de proceso de construcción de la mesa de soporte



Anexo 2

Hoja de proceso de construcción de la base soporte del motor



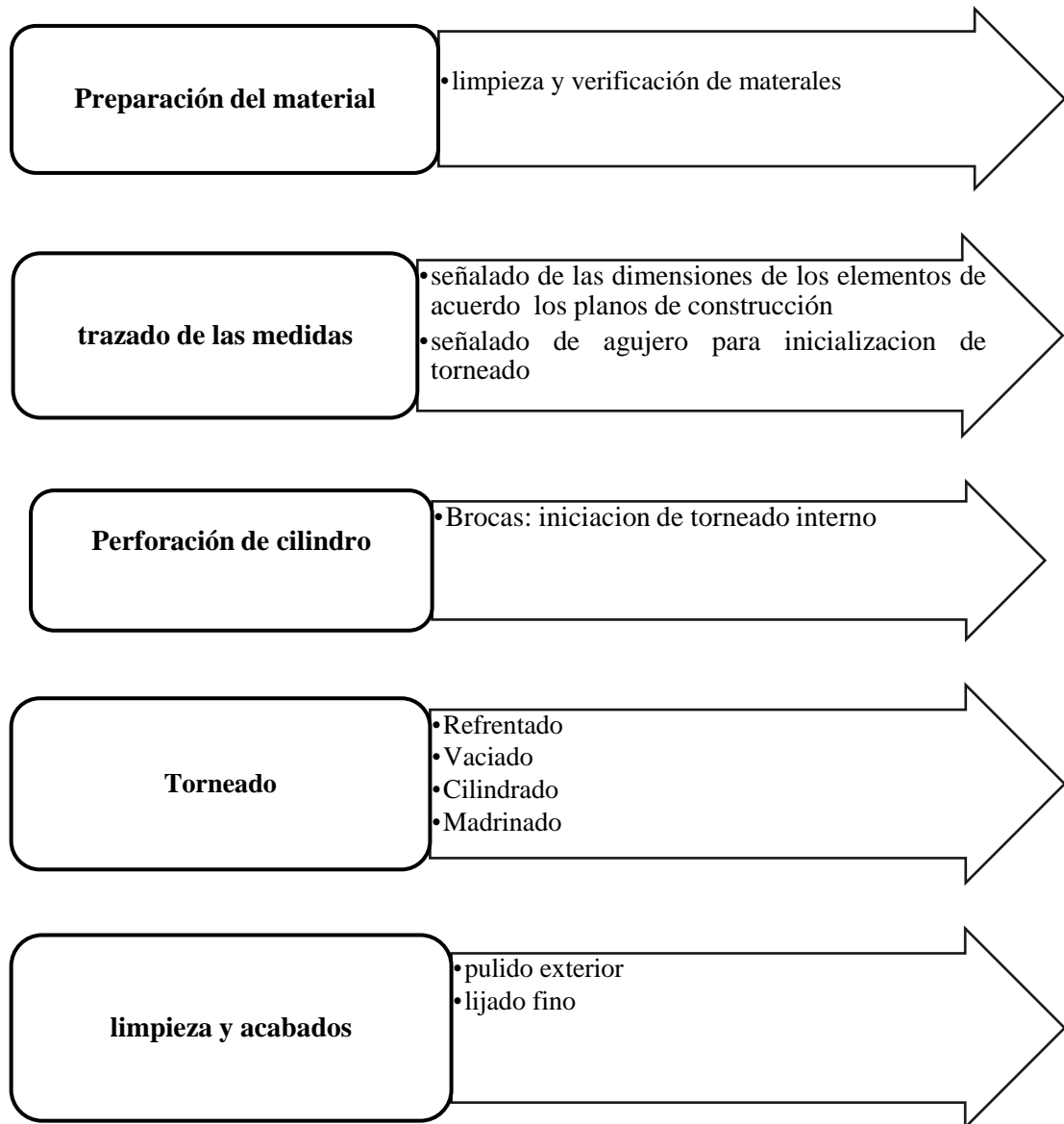
Anexo 3

Hoja de proceso de construcción de la porta cámara de refrigeración.



Anexo 4

Hoja de proceso de construcción del tanque de molienda.



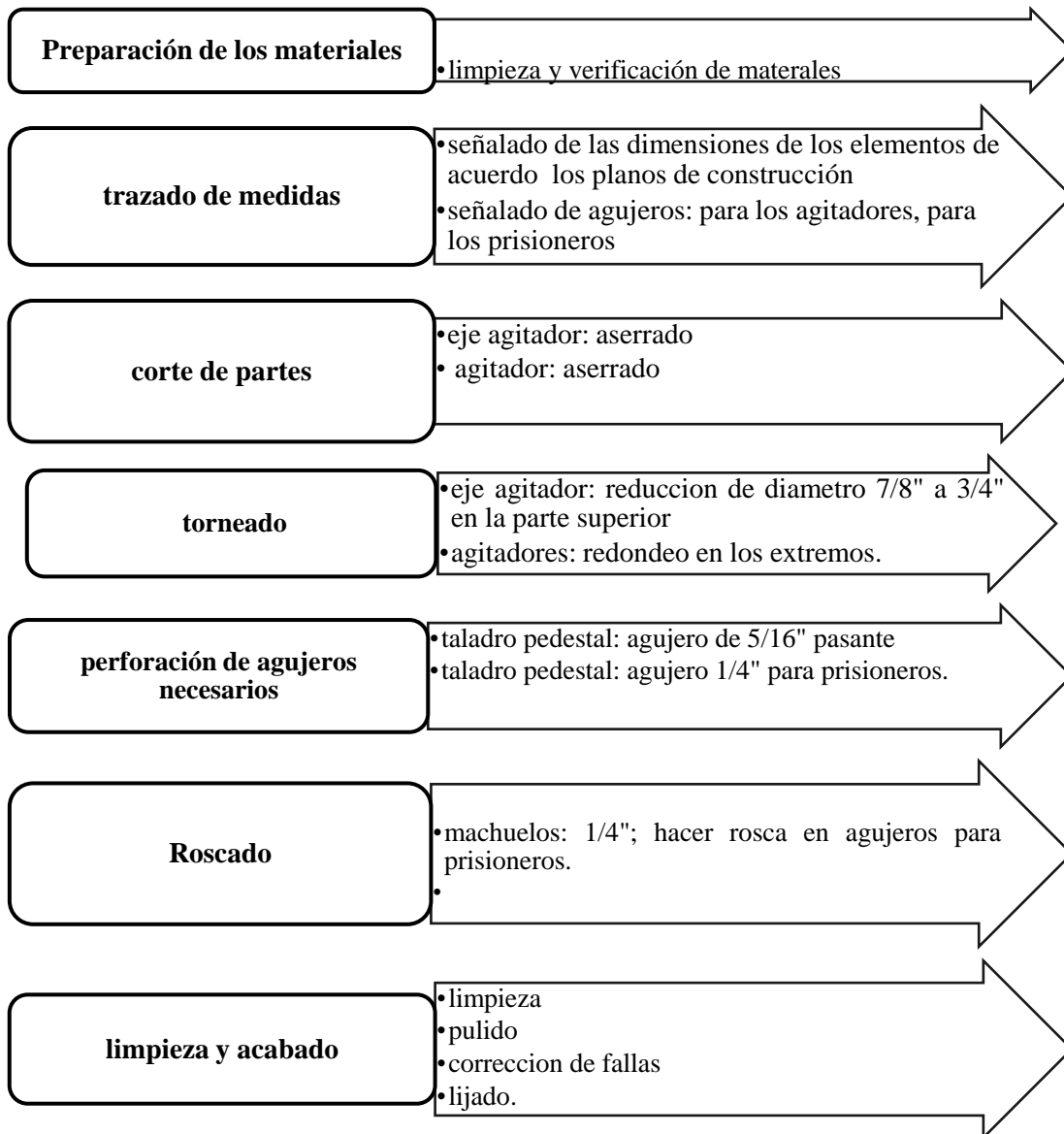
Anexo 5

Hoja de proceso de construcción de la tapa del tanque de molienda



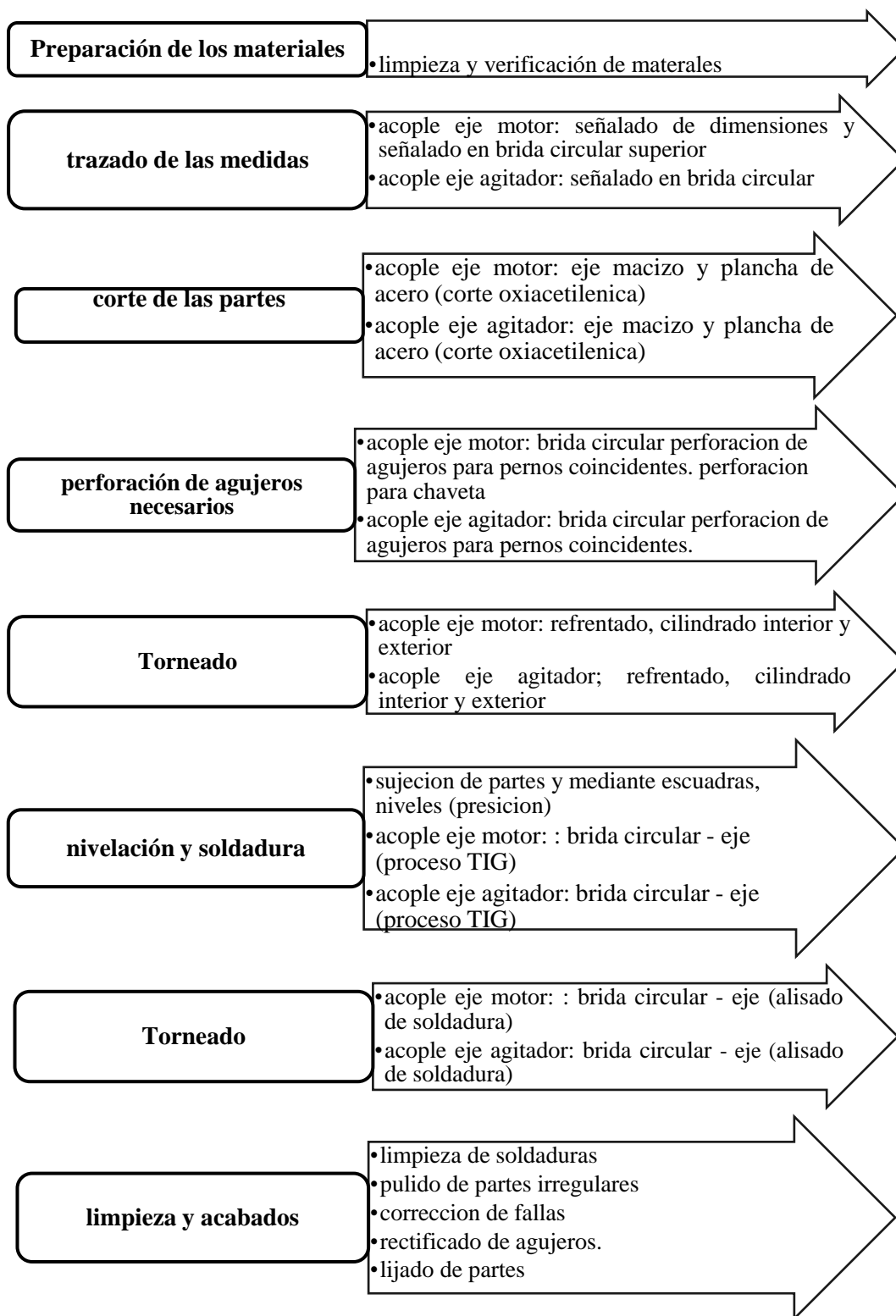
Anexo 6

Hoja de proceso de construcción del eje agitador con sus respectivos agitadores.



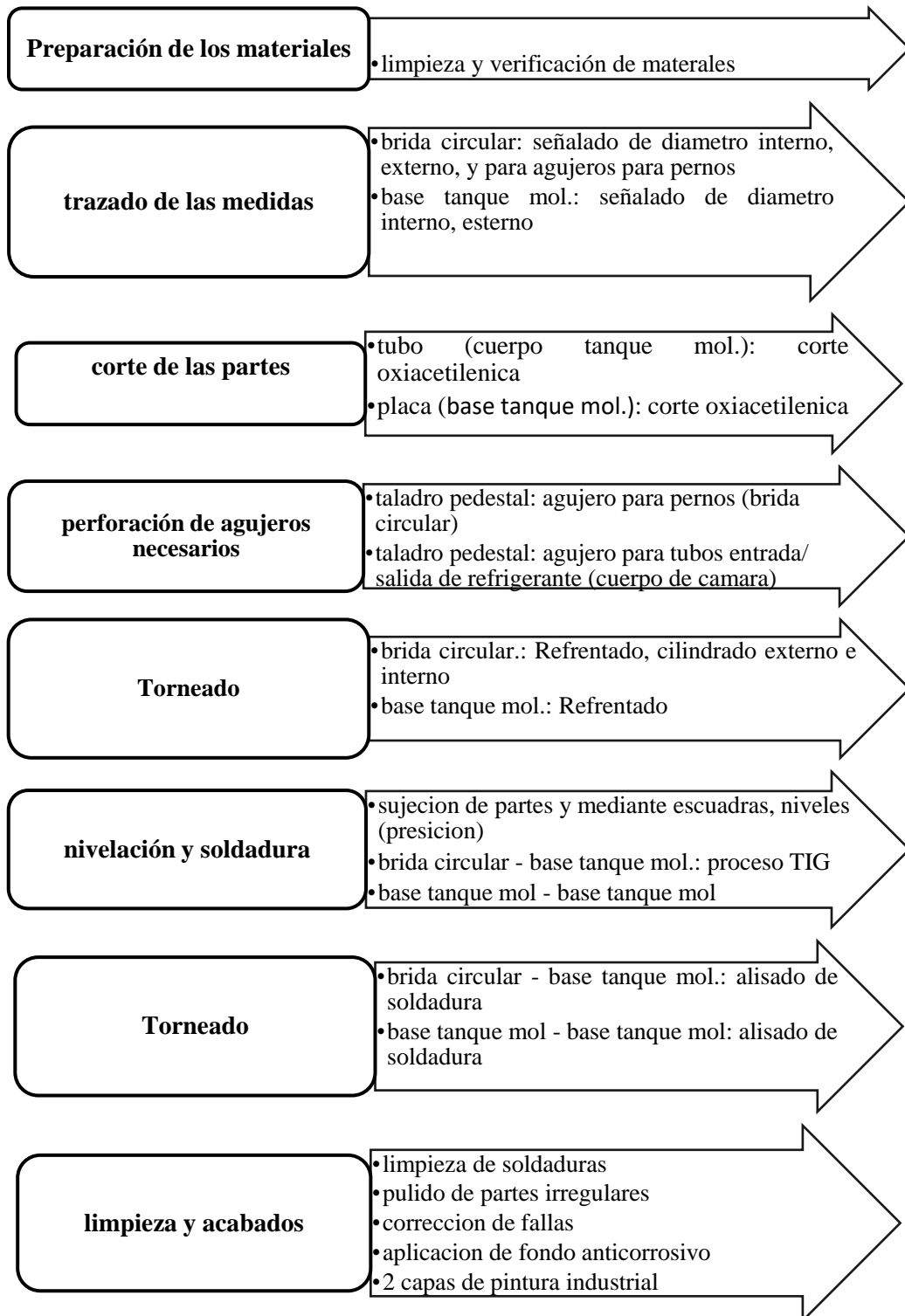
Anexo 7

Hoja de proceso de construcción del acople flexible.



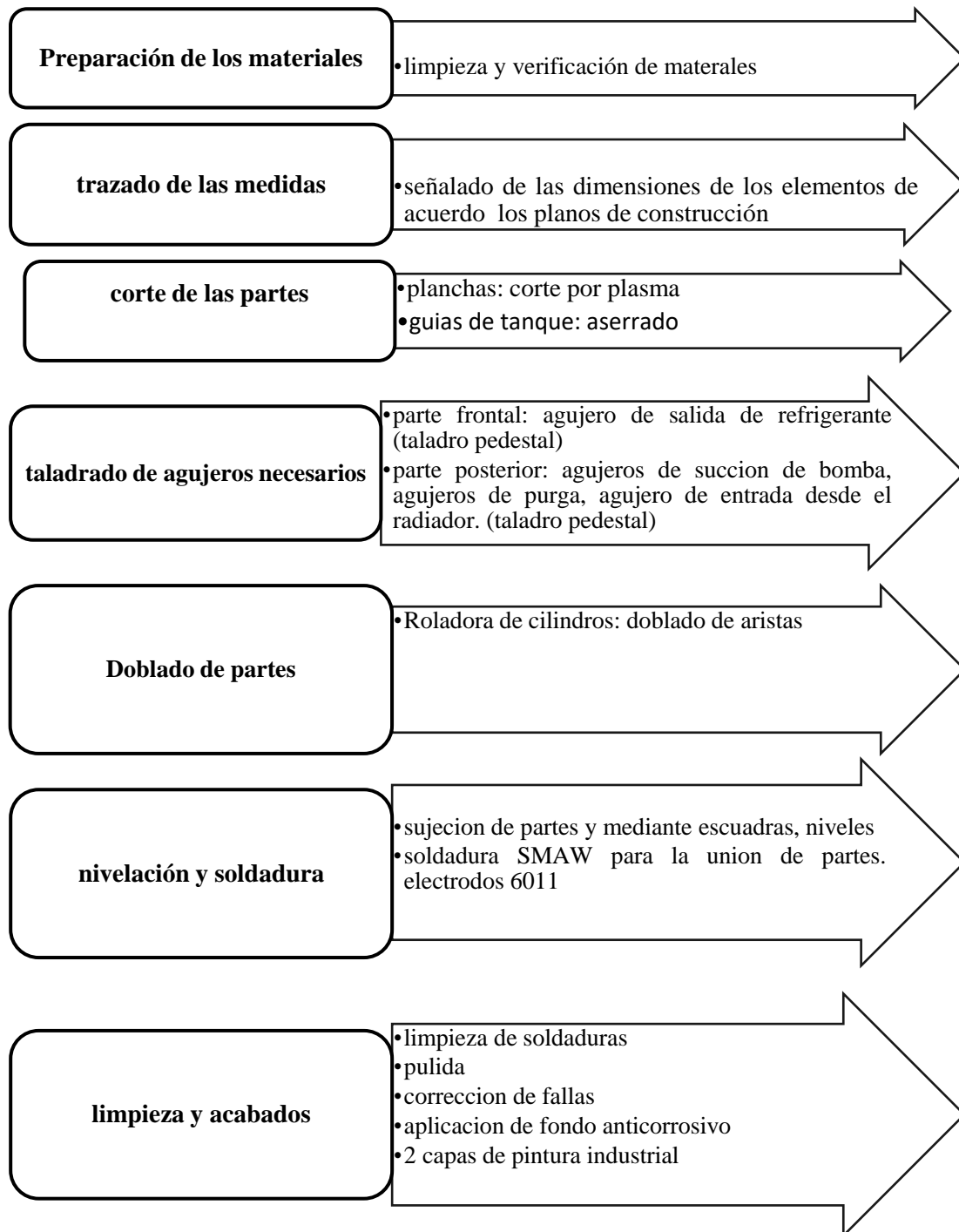
Anexo 8

Hoja de proceso de construcción de la cámara de refrigeración.



Anexo 9

Hoja de proceso de construcción del Tanque Refrigerante.



Anexo 10

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO, OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

MOLINO DE BOLAS TIPO ATTRITOR



1. Introducción.

Elementos que conforman el equipo

En la figura se muestra los principales elementos que conforman parte del equipo de molienda.

1. Base estructural principal
2. Base secundaria de molienda
3. Tanque de enfriamiento y molienda
4. Eje agitador
5. Motor
6. Corredera
7. Bomba de agua
8. Radiador
9. Tanque de enfriamiento



Con el presente manual se da a conocer las condiciones de operación del molino attritor para su correcto funcionamiento y desempeño, de esta forma garantizar que, en las pruebas a realizarse se obtengan resultados satisfactorios.

El usuario deberá leer atentamente el manual de fruncimiento de tal forma que este siga las instrucciones propuestas por los autores o fabricantes de la máquina.

Las recomendaciones que se proporciona en este manual son de aspecto obligatorios y fundamentalmente de entendimiento para un correcto funcionamiento del equipo previo al uso del equipo.



2. Descripción general

El molino de bolas tipo attritor es una maquinaria de alta energía conformada principalmente por un cilindro estacionario y ejes agitadores conectados a un eje principal los cuales mueven las bolas de molienda a velocidades relativamente altas, diseñado explícitamente para la formación de aleaciones y la obtención de polvos metálicos a partir de virutas. Los agentes de control masifican la producción de polvos metálicos como es el caso del control de temperatura el cual conforma como parte de uno de los sistemas del molino de atrición.

Las partes más relevantes como: tazón, tapa y eje agitador están fabricados en acero inoxidable 304 con el fin de eliminar la contaminación de los polvos y la durabilidad de los elementos, al presentar este acero excelentes propiedades como la dureza para evitar el desgaste y la prevención de la oxidación de las mimas en condiciones estacionarias como de trabajo.

3. Características generales

Características generales del molino de bolas tipo attritor	
Alto (m)	1.56
Ancho (m)	0.70
Largo (m)	0.85
Peso total (Kg)	220
Presión admisible (Psi)	24-30
Temperatura máxima de molienda (°C)	50
Voltaje (v)	220
Tiempo de trabajo (min)	30
Materiales de construcción.	Acero: ASTM-A36; ASI-304L

4. Condiciones previas antes del funcionamiento

4.1. Alojamiento

Busque el lugar idóneo de tal forma que la máquina quede asegurada firmemente sin que esta se tambalee o desequilibre.

4.2. Fuente de energía

Antes de conectar el enchufe a la toma corriente asegúrese que este tenga el voltaje indicado mencionado en la tabla de características generales de la maquinaria.

4.3. Observación de partes de la maquina

- Verifique que las conexiones a tierra sean las correctas
- Asegure los tornillos de los terminales en la caja de control
- Examine rápidamente si todas conexiones estén en su lugar.

5. Seguridad

5.1. En el empleo de la maquinaria

Antes de utilizar la maquinaria el usuario deberá observar que los elementos y partes de la maquina no presenten desperfectos como resquebrajamiento, desgaste o fisuras, si este fuera el caso no improvise elementos de reparación rápidos ya que estos podrían ocasionar un daño mayor o irreparable en el peor de los casos.



- El equipo no debe ser sometido a tensiones de voltajes mayores a las estipulas.
- Instalarlo en una distancia prudente en el cual pueda ser manipulado.
- Si no está familiarizado con la maquinaria no manipule por ningún motivo la caja de conexiones.
- **Aviso**
 - El motor encargado de la molienda se detendrá automáticamente en caso de interferencia o atascamiento en el tanque de molienda.
 - Si los motores tanto de molienda como de la bomba se encuentran recalentados pare la marcha de 20 a 30 minutos.

5.2. Para el usuario

Antes de trabajar con la maquina el usuario deberá leer detenidamente el manual de funcionamiento de manera que cuando suceda algún desperfecto en la maquina este pueda reaccionar y evitar posible accidente.

- **Equipos de seguridad en el trabajo.** Los equipos de trabajo son esenciales para trabajo de molienda mecánica es asi que se hace un enfasis en la seguridad del operador de la máquina.

Equipos de seguridad industrial		
Casco	Previenen lesiones en la cabeza ocasionadas por la caída de objetos	
Mandil	Previene el contacto de polvos o agentes contaminantes con el cuerpo	
Lentes de seguridad	Previenen el contacto directo de polvos, químicos o refrigerante en los ojos	
Orejeras	Cubren el sentido auditivo de tal forma que reducen la intensidad del ruido	
Guantes	Previenen el contacto directo con los polvos metálicos hacia las manos	

Mascarilla	Cubren al sistema respiratorio ya que las partículas de polvos se encuentran presentes al introducir el material a la maquinaria	
Zapatos industriales	Previenen lesiones en los pies por la caída de objetos pesados	

- **Peligros**

- No tocar de ninguna manera el interior de la caja de control cuando esta esté en funcionamiento.
- No toque las conexiones eléctricas con las manos mojadas
- En caso de limpieza asegúrese que la maquina este desconectada de la toma corriente

- **Avisos**

- Evítese de cualquier forma golpear la caja de conexiones.
- No altere los parámetros de funcionamiento
- No quite las advertencias de seguridad, si es así reemplácelos por otros.

6. Modo de funcionamiento

Básicamente el molino de atrición está diseñado para la obtención de polvos aleados y reducción de partículas es así que los procesos difieren uno del otro.

Aleaciones mecánicas. Para este tipo de proceso se deberá estimar la temperatura con la gráfica de calentamiento en el interior del tanque en función del tiempo ya que debido a la temperatura que genera el proceso los polvos tienden a aglomerarse en el fondo del tazón provocando acumulaciones exageradas de material.



Reducción de partículas. Para este tipo de proceso se recomienda tamizar las virutas o partículas con un tamiz de 2 mm de malla para que el resultado de reducción de partículas sea uniforme, el tiempo de reducción de partícula difiere dependiendo el material a utilizar.





La velocidad estimada y recomendada según las pruebas de funcionamiento es de 500 rpm para los dos casos





7. Puesta en marcha





Antes de poner en marcha:




- Revisión visual de elementos y componentes de la maquina
- Si algún componente estuviera en mal estado proceda a sustituirlo.
- Disponga de ropa adecuada para el trabajo de molienda mecánica.

Procedimiento para el sistema de molienda mecánica		
Ítem	Descripción	Figura
1	Introducir el tanque de molienda dentro del tanque de refrigeración .	
2	Poner de forma adecuada el empaque del tanque externo.	


<p>3</p>	<p>Colocar la tapa del tanque de refrigeración y ajustarlo con un torque de 15 N.m de tal forma que la tapa que ajustada de con el mismo torque en los seis pernos.</p>	
<p>4</p>	<p>Introducir los medios molidores dentro del tanque de molienda.</p>	
<p>5</p>	<p>Introducir el material a alear o moler, una vez esto se cumpla se procede a tapar el agujero con el perno y empaque.</p>	
<p>6</p>	<p>Colocar la parte baja del acople dentro del eje agitador.</p>	

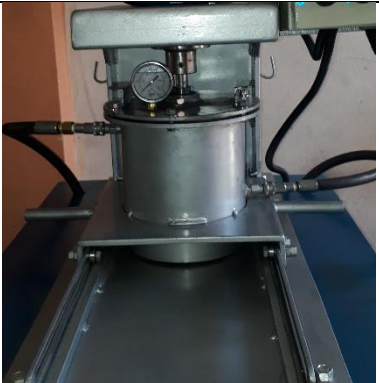

7	Insertar los acoples rápidos de la entrada como de la salida del tanque.	
8	Acoplar las dos partes del acople flexible y ajustar el prisionero conectado al eje agitador.	
9	Encender la máquina pasándola de 0 a 1	
10	Encender radiador y bomba, una vez hecho esto procedemos a elegir el sentido del motor derecha/izquierda y la velocidad recomendada.	

<p>11</p>	<p>Cumplido el tiempo de molienda se procede a apagar los sistemas y poner en 0 hz al variador.</p>	
<p>12</p>	<p>Aflojar el prisionero del eje agitador.</p>	
<p>13</p>	<p>Desconectar los acoples rápidos del tanque e introducirlos en las bases sujetadoras.</p>	
<p>14</p>	<p>Alzar la corredera base de molienda hasta el tope.</p>	

<p>15</p>	<p>Abrir la purga para la caída del refrigerante sobrante dentro del tanque de refrigeración</p>	
<p>16</p>	<p>Aflojar las tuercas de los pernos para proceder a retirar la tapa.</p>	
<p>17</p>	<p>Obtención del material aleado o molido dentro del tanque de molienda.</p>	

8. Precauciones

Precauciones a tomar dentro del proceso		
Ítem	Descripción	Figura
1	Verifique que no haya interferencia de los pernos al introducir y retirar el tanque de molienda en el acople flexible	 A close-up photograph of a mechanical coupling. A circular pressure gauge is mounted on the left side of the coupling. The coupling consists of a central shaft with a flexible hose attached to it. The entire assembly is mounted on a metal base.
2	Cheque que la válvula de bola conectada a la salida de la bomba se encuentre abierta antes de encender la misma, para evitar daños perjudiciales, así como también asegúrese que la purga esté cerrada.	 A photograph of a blue industrial pump. A ball valve is connected to the pump's outlet. A purge valve is also visible on the pump. The pump is mounted on a blue metal frame.
3	Revise que los seguros de las llantas de la maquina estén cerrados correctamente antes ponerla en funcionamiento.	 A photograph showing a person's feet wearing safety shoes and white safety gloves. The person is standing next to a blue metal frame, which is part of the machine. The person's hands are near the base of the frame, possibly checking the safety locks of the casters.

4	Asegúrese que los acoples rápidos estén conectados debidamente, ya que si el de salida del refrigerante estuviera cerrado la presión dentro de la cámara de refrigeración aumentaría hasta llegar a ceder al empaque.	
5	Asegúrese que el nivel del refrigerante sea el adecuado de no ser así proceda a completarlo.	

9. Operaciones de mantenibilidad y limpieza

9.1.Mantenibilidad

Dentro del plan de mantenimiento se procede a diferenciar el mantenimiento preventivo del correctivo a realizarse tras suceder una avería o desajuste de los elementos.

Un ejemplo claro en la maquinaria es la rugosidad que presenta las bolas de molienda ya que estas al aumentar el coeficiente de fricción aumenta la resistencia y baja el torque del motor, dañando cauchos en acople flexible y desgaste de los rodamientos de sujeción, así como aumentar de forma drástica la vibración en la máquina, es por esto que la limpieza de las bolas de molienda es muy necesarias e imprescindible para el correcto funcionamiento de la máquina.

Para un correcto plan de mantenimiento el usuario de la máquina deberá realizar una ficha de mantenimiento donde se de aviso las acciones realizadas.

9.1.1. Tareas para realizar un mantenimiento correcto.

Generales:

- Inspecciones visuales diarias en botones y conexiones de la máquina.
- Comprobar la sujeción y fijación de las partes de la maquinaria
- Verificar deformaciones que pongan en riesgo el funcionamiento idóneo del proceso de molienda.
- Comprobar niveles de refrigerante en el tanque de enfriamiento.

Específicas: Para este caso se tomará en cuenta los elementos y partes más propensos a sufrir daños u averías.

- **Caja de conexiones.**

- Los tornillos de sujeción de alambres se ajustarán periódicamente debido a la manipulación del cable, antes efectuar esta operación verifique que el enchufe este desconectado de la toma corriente.
- Cuando el break baje por si solo verifique que las conexiones no estén asiendo contacto de ser asi desconecte el tomacorriente y proceda a aislar el cable en mal estado.

- **Bomba**

- Cuando se proceda a efectuar el proceso de mantenimiento de la bomba primero el usuario deberá purgar el líquido refrigerante del tanque de enfriamiento y evitar fugas al desconectar la bomba.
- Las impurezas son más comunes de lo que parece en el líquido refrigerante es por esto que se aconseja limpiar periódicamente el tanque de enfriamiento y colocar empaques con malla a la entrada de la bomba así de esta forma evitar daños internos en el rodete de la bomba.

- **Cauchos de acoples**

- Las revoluciones o velocidades altas son perjudiciales para los cauchos del acople, pero esto no siempre sucede por las grandes velocidades, sino que también es por los constantes atascamientos que pudiera tener la maquinaria, si fuera necesario cambiar estos cauchos asegúrese que el motor este completamente detenido y proceda con el cambio.

- **Bolas de molienda**

- Unos de los principales problemas en el sistema de molienda son los medios molidores ya que estos son constantemente impregnados del material a estar moliendo o aleando es así que las bolas de molienda toman el color predominante de los polvos metálicos a utilizarse.
- La sustitución de las bolas de molienda son en casos exagerados ya que estas al poseer una dureza alta por la propiedad del acero son bastante inmunes al desgaste.
- **Rodamientos de sujeción**
- Limpie constantemente los rodamientos ya que la acumulación del polvo puede comenzar a aumentar el rose en los elementos del rodamiento.
- Si fuera el caso de sustituir los rodamientos hágalo con la ayuda de una prensa ya que estos son introducidos con el propósito de fijar completamente el eje agitador
- **Eje agitador**
- Verifique que constantemente que los prisioneros que sujetan a los ejes agitadores estén ajustados ya que si fuera el caso de estar flojo podría rayar el tanque interno.
- Si desea cambiarlo debido al desgaste simplemente afloje el prisionero que sujete al eje agitador e intercámbielo por otro con menos desgaste.

9.2.Limpieza

Para las tareas de limpieza no es necesario aplicar productos especiales de limpieza como químicos o desengrasantes, cabe recalcar que no todos los sistemas de la maquina no se deberán limpiar de la misma manera.

9.2.1. Sistema de refrigeración

- Abrir todas las válvulas para que de esta manera el refrigerante llegue al tanque de enfriamiento.
- Purgar el líquido refrigerante del tanque de enfriamiento para evitar fugas.
- Desconectar bomba, radiador y purga del tanque de enfriamiento-
- Retirar el tanque de la estructura y proceder a eliminar las impurezas a acumuladas que podrían ocasionar daños en la bomba.
- Conectar nuevamente los elementos que conforman el sistema
- Adecuar el nivel del líquido refrigerante.

9.2.2. Sistema de molienda

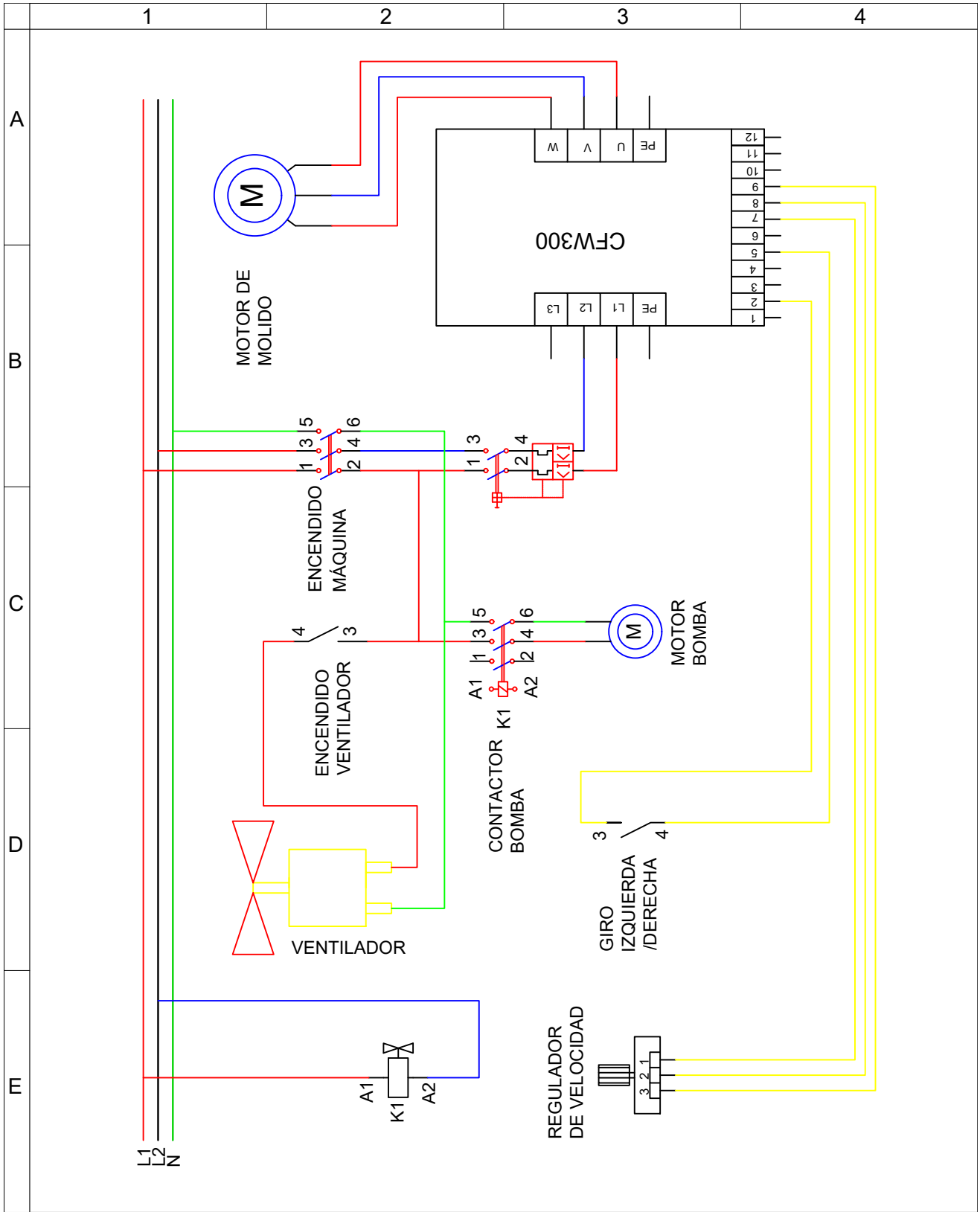
- Desacoplar cada parte del sistema a para ser limpiados.
- Poner las bolas dentro del tanque de molienda

- Hacer uso del taladro y cepillo circular de tal forma que las bolas y el tanque se vayan limpiando a la par.
- Proceder a limpiar los ejes agitadores por medio de un cepillo de banco
- Finalmente, limpios volver a acoplar el sistema de molienda.

El uso de cepillos de alambres es uno de las herramientas más útiles en este tipo de limpieza ya que los polvos fácilmente se adhieren a los elementos moledores como son bolas, agitadores y tanque de molienda.

Anexo 11

PLANO ELÉCTRICO



				Tolerancia: ±0,1	Peso: 154.86 gr	Material: VARIOS	
				Fecha: 19/08/2019	Nombre: Los Autores	Título: DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA	Escala: 1:1
				Revisó: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				Aprob. 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Nº de Hoja: 1 de 1	
Edic.	Modif.	Fecha	Rev.			Observaciones:	

Anexo 12

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

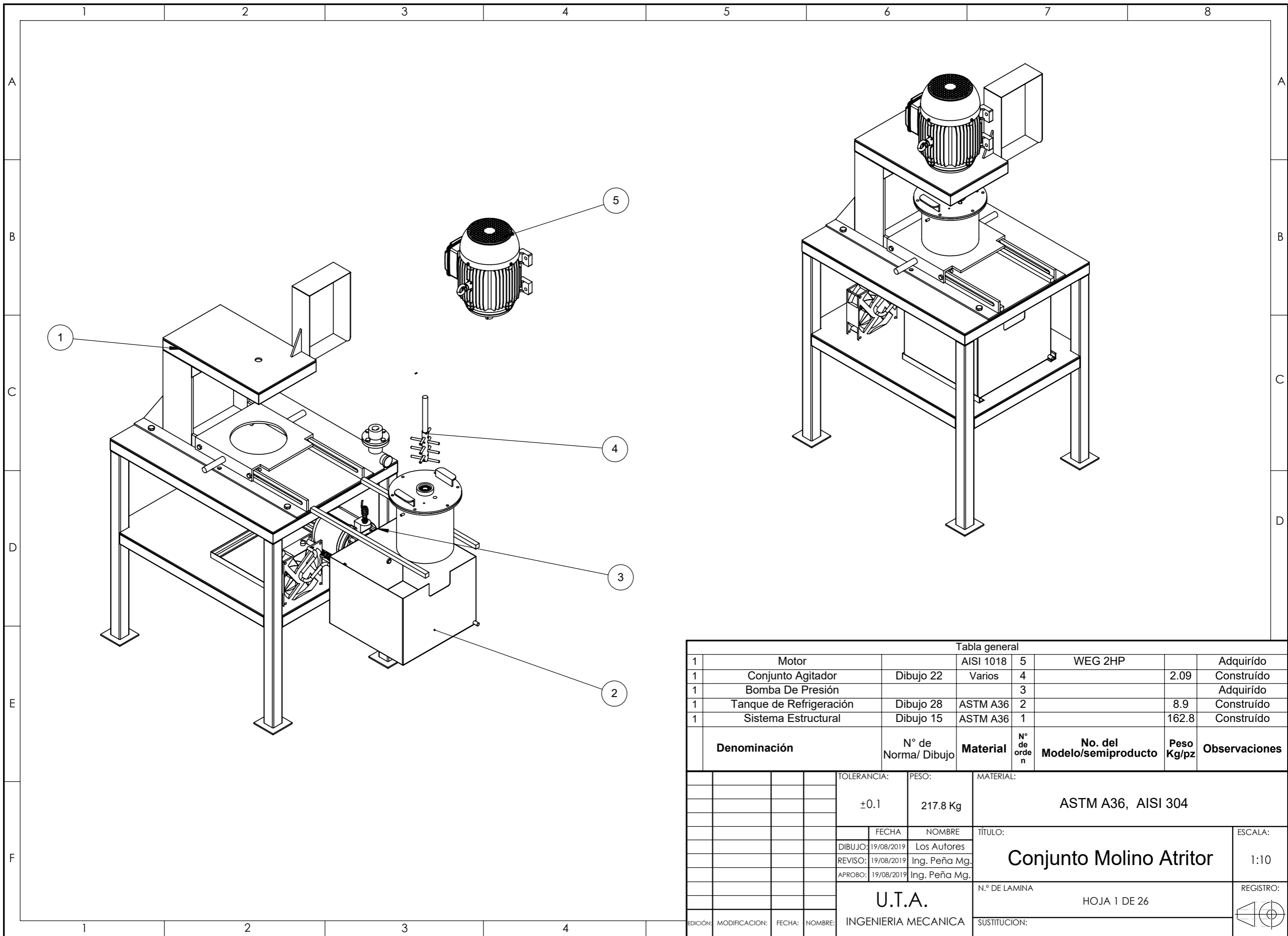
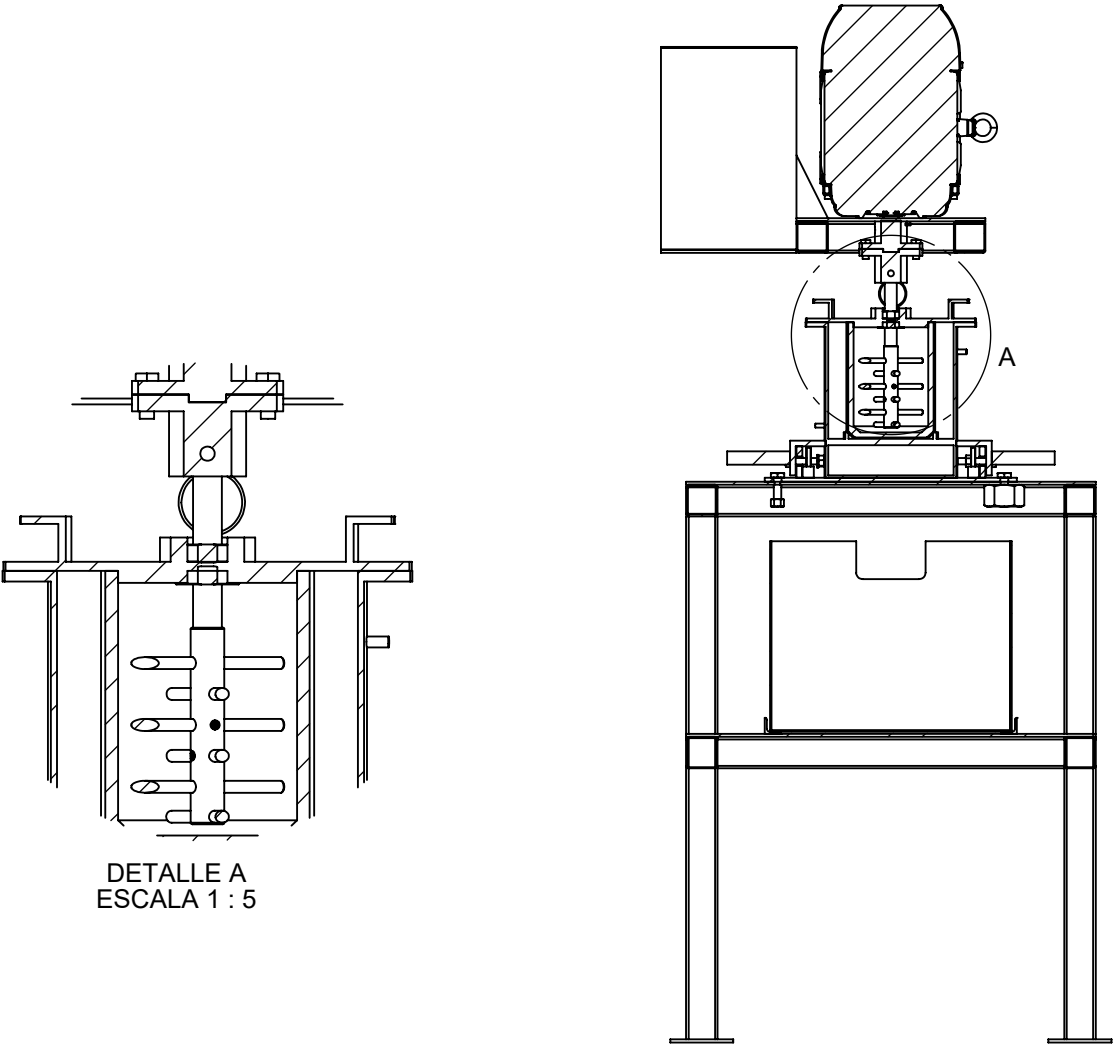
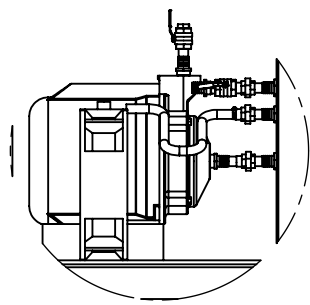


Tabla general							
1	Motor	AISI 1018	5	WEG 2HP		Adquirido	
1	Conjunto Agitador	Dibujo 22	Varios		2.09	Construido	
1	Bomba De Presión					Adquirido	
1	Tanque de Refrigeración	Dibujo 28	ASTM A36	2	8.9	Construido	
1	Sistema Estructural	Dibujo 15	ASTM A36	1	162.8	Construido	
Denominación		N° de Norma/ Dibujo	Material	N° de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
					ASTM A36, AISI 304		
		TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
		±0.1	217.8 Kg				
		FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:	
		DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores	Conjunto Molino Atritor		1:10	
		REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
		APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
		U.T.A.		N.º DE LAMINA		REGISTRO:	
		INGENIERIA MECANICA		HOJA 1 DE 26			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			



DETALLE A
ESCALA 1 : 5



DETALLE B
ESCALA 1 : 10

A
B
C
D
E

1 2 3 4

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 217.8 Kg	MATERIAL: ACERO A36, ACERO INOXIDABLE AISI304	
						TÍTULO: Molino Atritor en Corte	ESCALA: 1:10
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 2 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

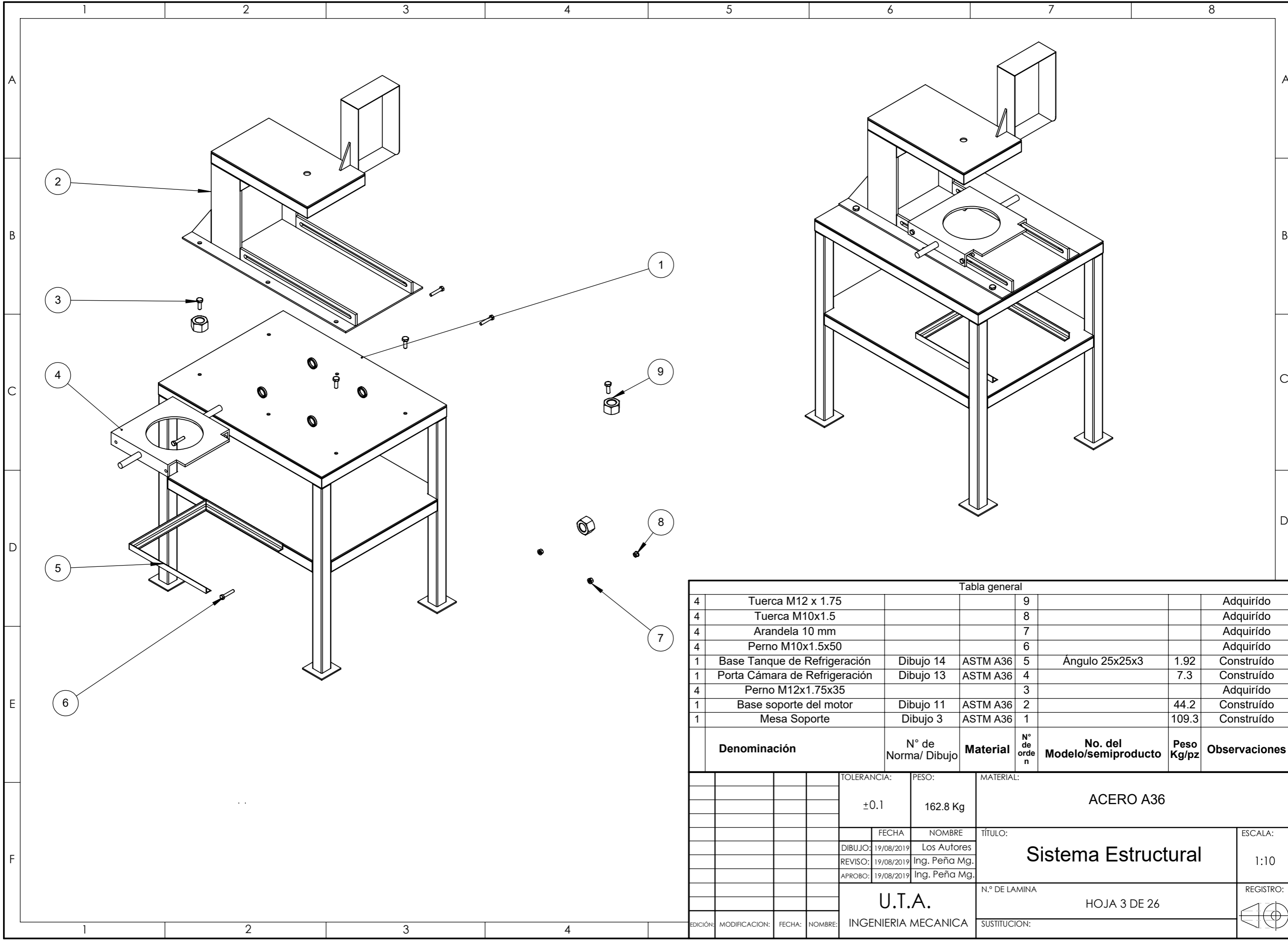


Tabla general								
4	Tuerca M12 x 1.75			9		Adquirido		
4	Tuerca M10x1.5			8		Adquirido		
4	Arandela 10 mm			7		Adquirido		
4	Perno M10x1.5x50			6		Adquirido		
1	Base Tanque de Refrigeración	Dibujo 14	ASTM A36	5	Angulo 25x25x3	1.92 Construido		
1	Porta Cámara de Refrigeración	Dibujo 13	ASTM A36	4		7.3 Construido		
4	Perno M12x1.75x35			3		Adquirido		
1	Base soporte del motor	Dibujo 11	ASTM A36	2		44.2 Construido		
1	Mesa Soporte	Dibujo 3	ASTM A36	1		109.3 Construido		
Denominación		N° de Norma/ Dibujo		Material	N° de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
				ACERO A36				
		TOLERANCIA: ±0.1		PESO: 162.8 Kg				
				MATERIAL:				
				FECHA		NOMBRE		TÍTULO:
				DIBUJO: 19/08/2019		Los Autores		ESCALA:
				REVISO: 19/08/2019		Ing. Peña Mg.		1:10
				APROBO: 19/08/2019		Ing. Peña Mg.		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA		REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 3 DE 26		
				EDICIÓN:		SUSTITUCION:		
				MODIFICACION:				
				FECHA:				
				NOMBRE:				

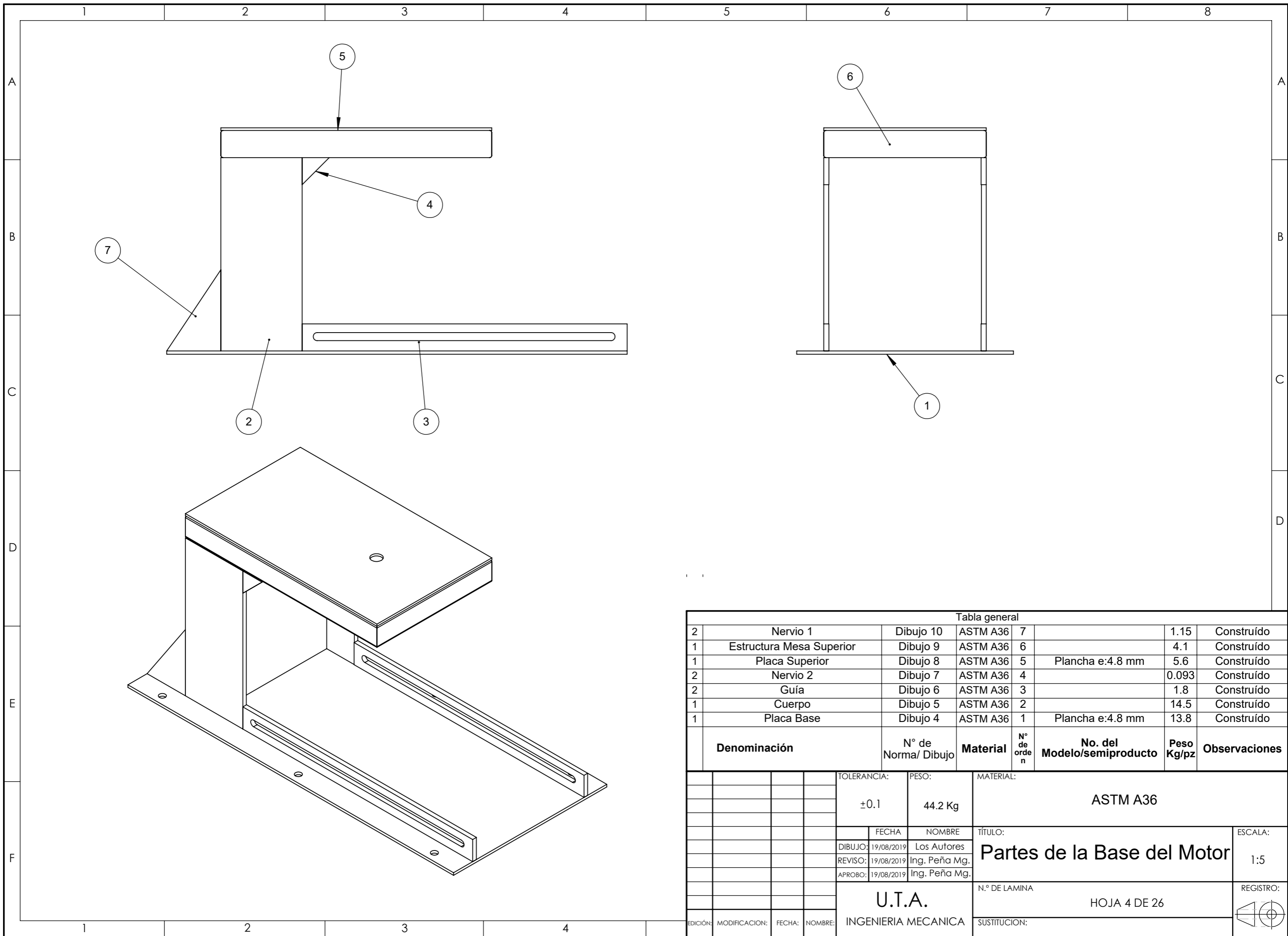


Tabla general							
2	Nervio 1	Dibujo 10	ASTM A36	7		1.15	Construido
1	Estructura Mesa Superior	Dibujo 9	ASTM A36	6		4.1	Construido
1	Placa Superior	Dibujo 8	ASTM A36	5	Plancha e:4.8 mm	5.6	Construido
2	Nervio 2	Dibujo 7	ASTM A36	4		0.093	Construido
2	Guía	Dibujo 6	ASTM A36	3		1.8	Construido
1	Cuerpo	Dibujo 5	ASTM A36	2		14.5	Construido
1	Placa Base	Dibujo 4	ASTM A36	1	Plancha e:4.8 mm	13.8	Construido
Denominación		N° de Norma/ Dibujo	Material	N° de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
		TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
		±0.1	44.2 Kg	ASTM A36			
		FECHA	NOMBRE	TÍTULO:			ESCALA:
		DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores	Partes de la Base del Motor			1:5
		REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
		APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
		U.T.A.		N.º DE LAMINA		REGISTRO:	
		INGENIERIA MECANICA		HOJA 4 DE 26			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

1

2

3

4

A

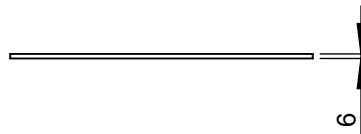
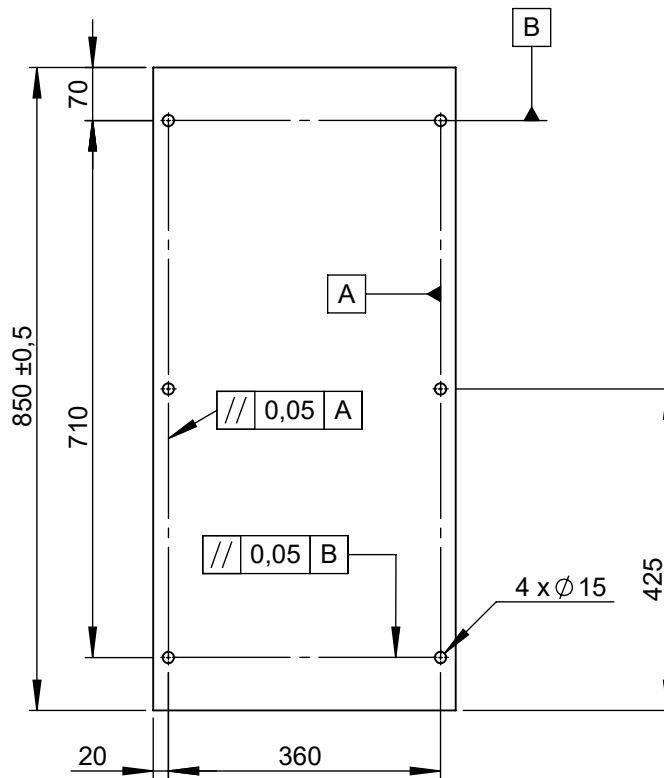
B

C

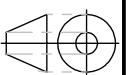
D

E

N6 AMOLADO- PULIDO



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	13.8 Kg	ASTM A36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.	N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				U.T.A.			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



1

2

3

4

A

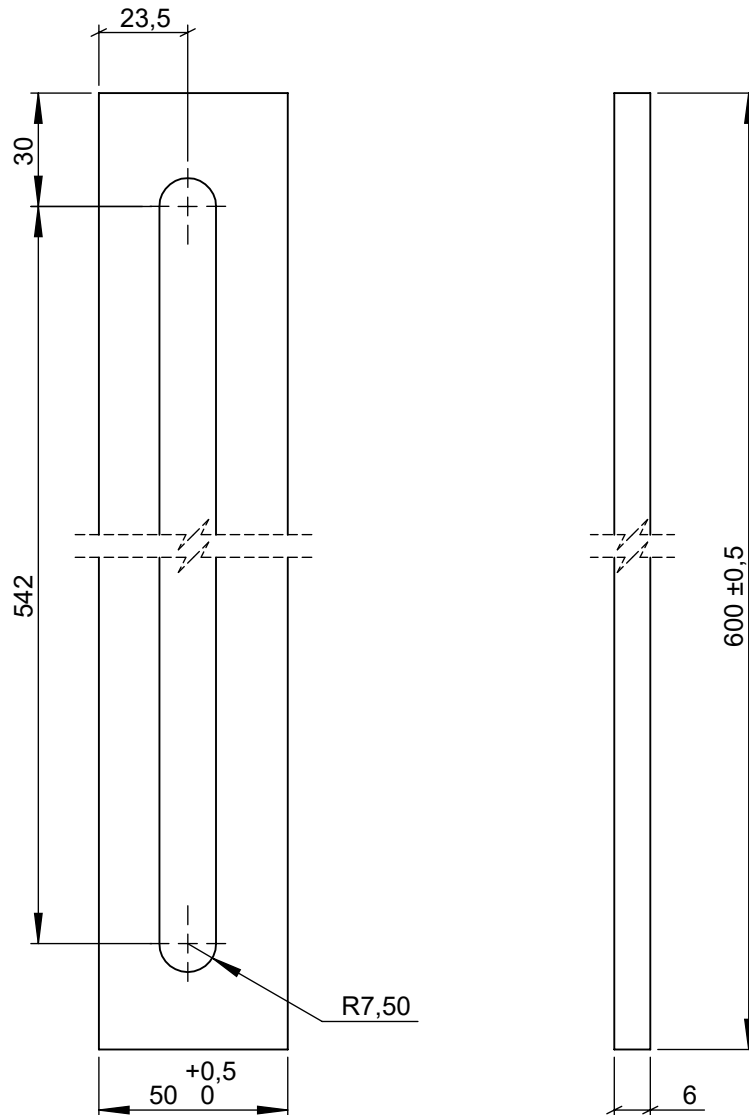
N6 AMOLADO- PULIDO

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1.8 Kg	MATERIAL: ASTM A36	
						TÍTULO: Guía	ESCALA: 1:2
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 8 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

A

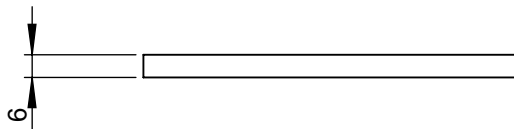
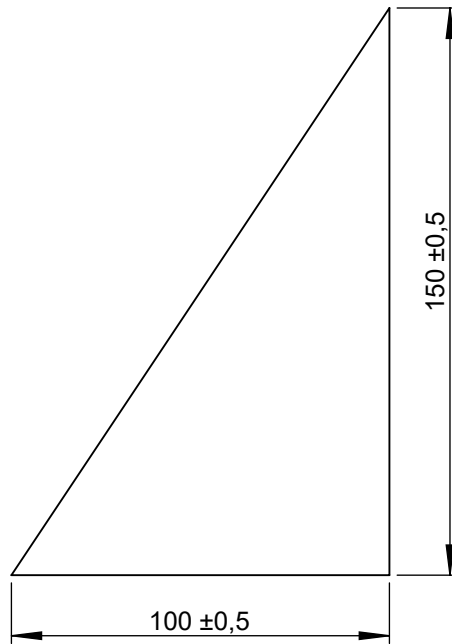
B

C

D

E

N7 FRESADO



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 0.093 Kg	MATERIAL: ASTM A36	
						TÍTULO: Nervio 2	ESCALA: 1:2
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 9 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

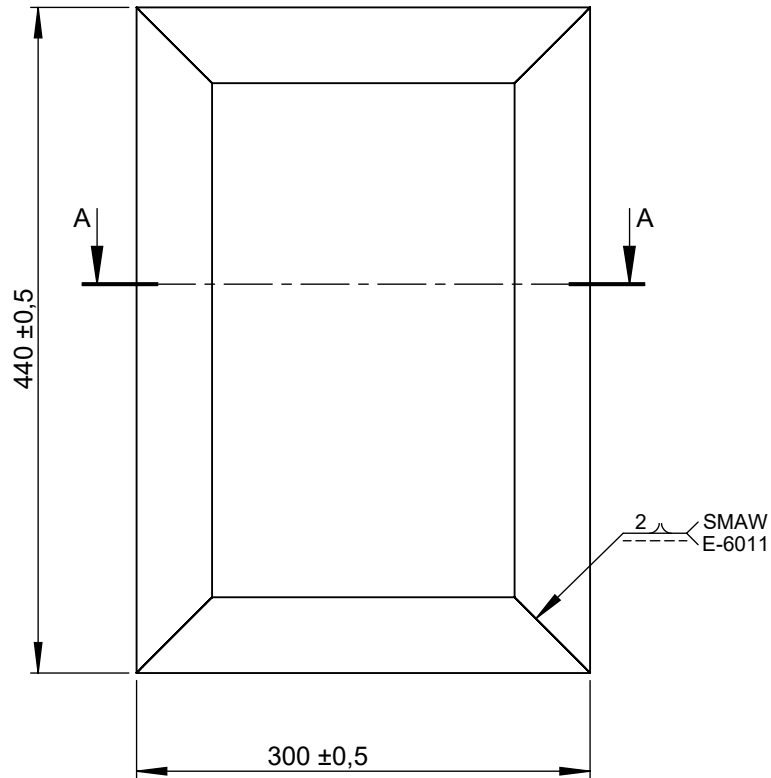
3

4

A

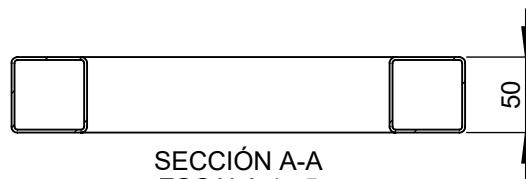
N6
AMOLADO- PULIDO

B



C

D



E

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 4.1 Kg	MATERIAL: ASTM A36	
						TÍTULO: Estructura Mesa Superior	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 11 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

A

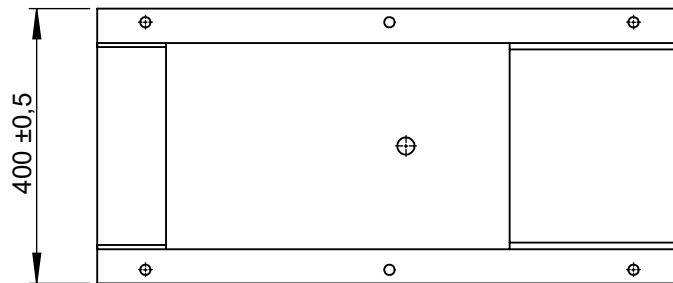
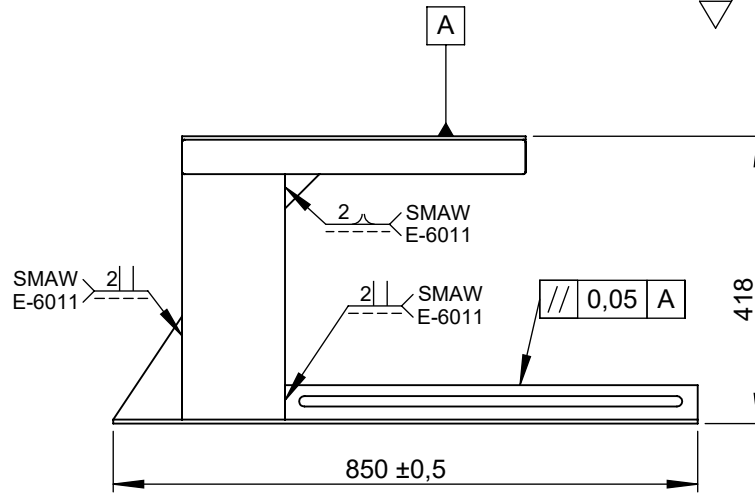
B

C

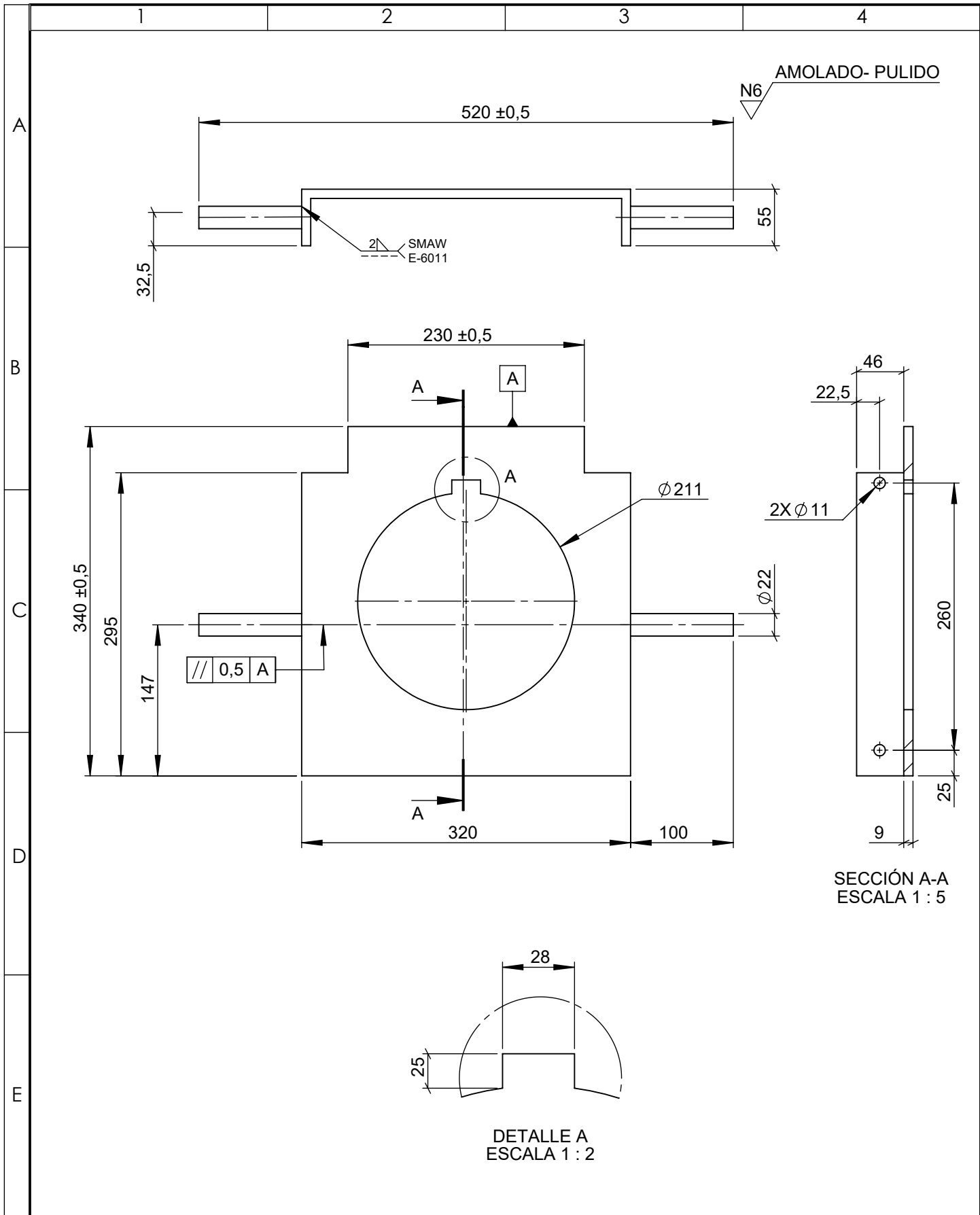
D

E

N6 AMOLADO- PULIDO



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 44.2 Kg	MATERIAL: ASTM A36		
						TÍTULO: Base soporte del motor	ESCALA: 1:10	
				FECHA	NOMBRE			
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores			
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.			
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 13 DE 26	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

DETALLE A
ESCALA 1 : 2

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 7.3 Kg	MATERIAL: ASTM A36	
						TÍTULO: Porta Cámara de Refrigeración	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 14 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

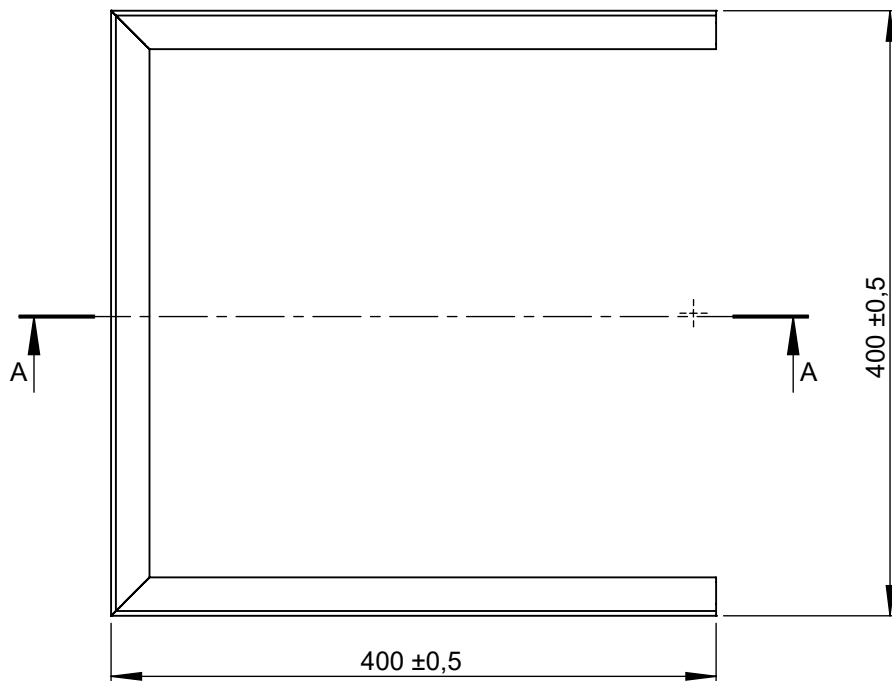
3

4

A

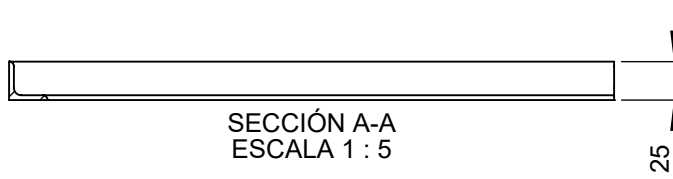
N6 AMOLADO- PULIDO

B



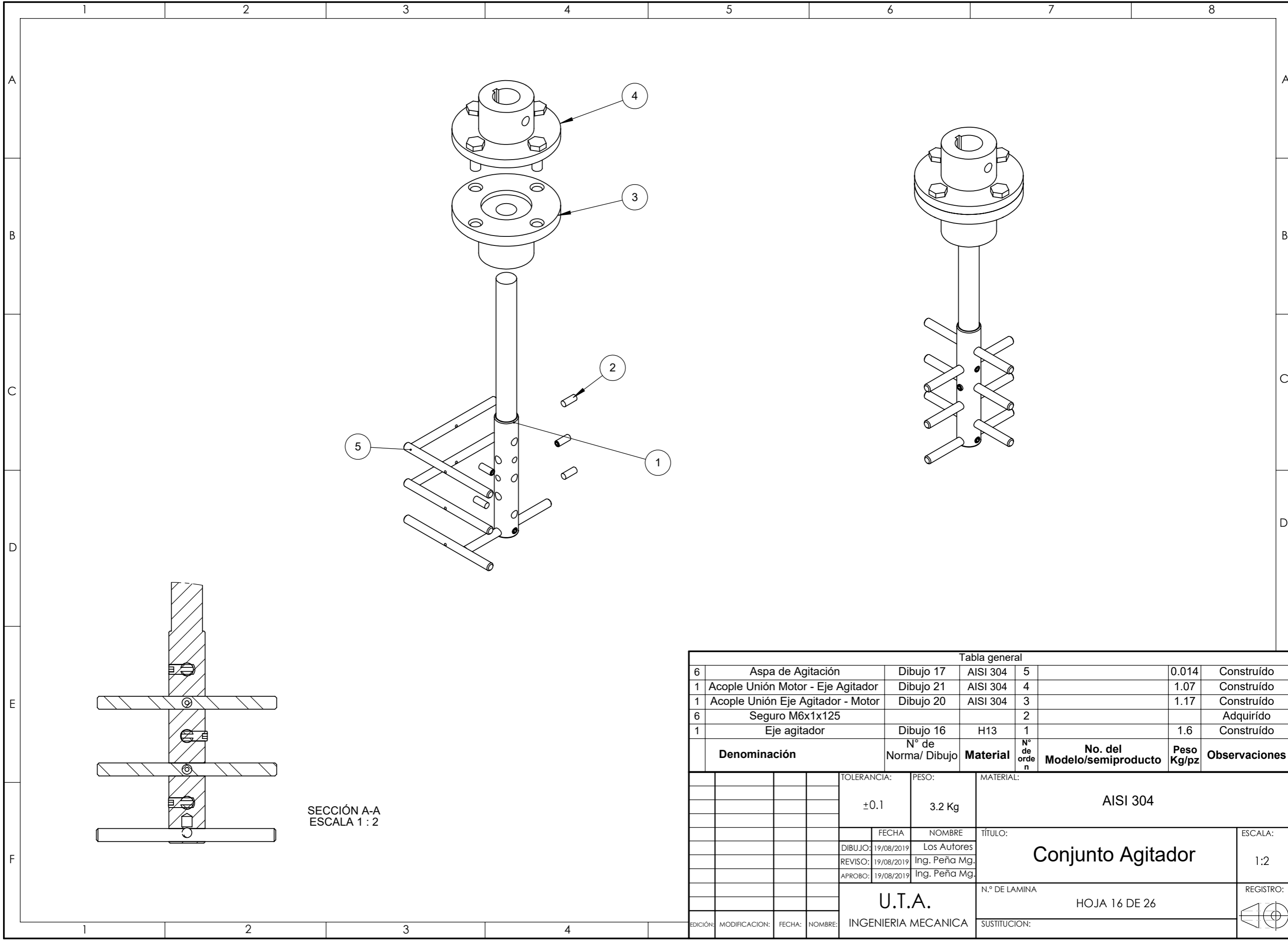
C

D



E

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1.92 Kg	MATERIAL: ASTM A36	
						TÍTULO: Base Tanque de Refrigeración	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 15 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

Tabla general						
Denominación	N° de Norma/ Dibujo	Material	N° de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
6	Aspa de Agitación	Dibujo 17	AISI 304	5	0.014	Construido
1	Acople Unión Motor - Eje Agitador	Dibujo 21	AISI 304	4	1.07	Construido
1	Acople Unión Eje Agitador - Motor	Dibujo 20	AISI 304	3	1.17	Construido
6	Seguro M6x1x125			2		Adquirido
1	Eje agitador	Dibujo 16	H13	1	1.6	Construido

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:		
±0.1		3.2 Kg		AISI 304		
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:		ESCALA:
DIBUJO: 19/08/2019		Los Autores		Conjunto Agitador		1:2
REVISO: 19/08/2019		Ing. Peña Mg.				
APROBO: 19/08/2019		Ing. Peña Mg.				
U.T.A.				N.º DE LAMINA		REGISTRO:
INGENIERIA MECANICA				HOJA 16 DE 26		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:		

1


2

3

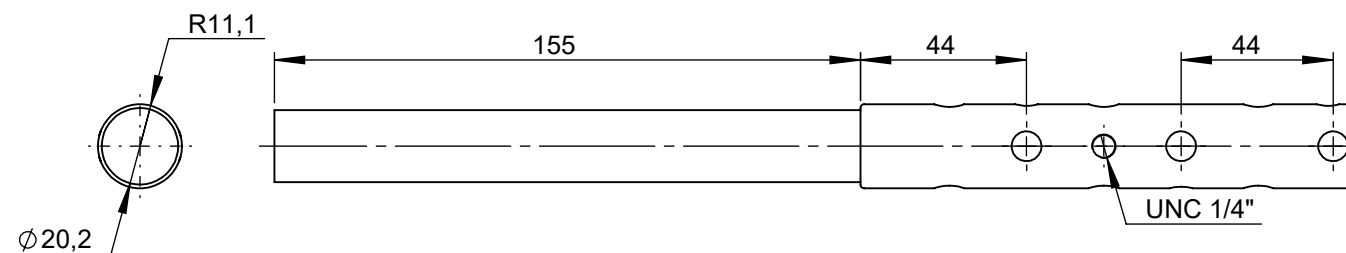
4

A

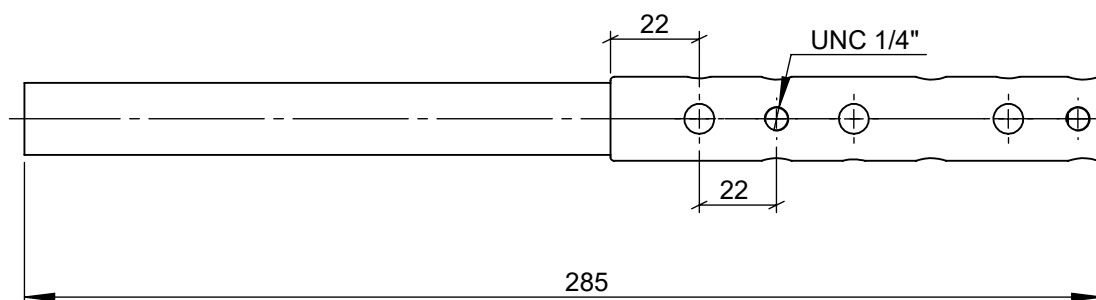
N7 TORNEADO



B



C



D

E

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1.6 Kg	MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AISI304		
						TÍTULO: Eje Agitador	ESCALA: 1:5	
				DIBUJO:	19/08/2019		Los Autores	
				REVISO:	19/08/2019		Ing. Peña Mg.	
				APROBO:	19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 17 DE 26	REGISTRO: 	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		

1

2

3

4

A

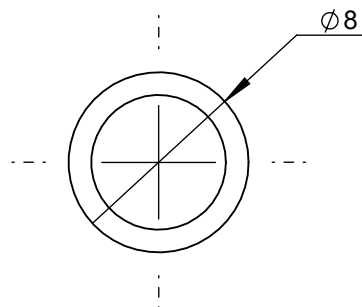
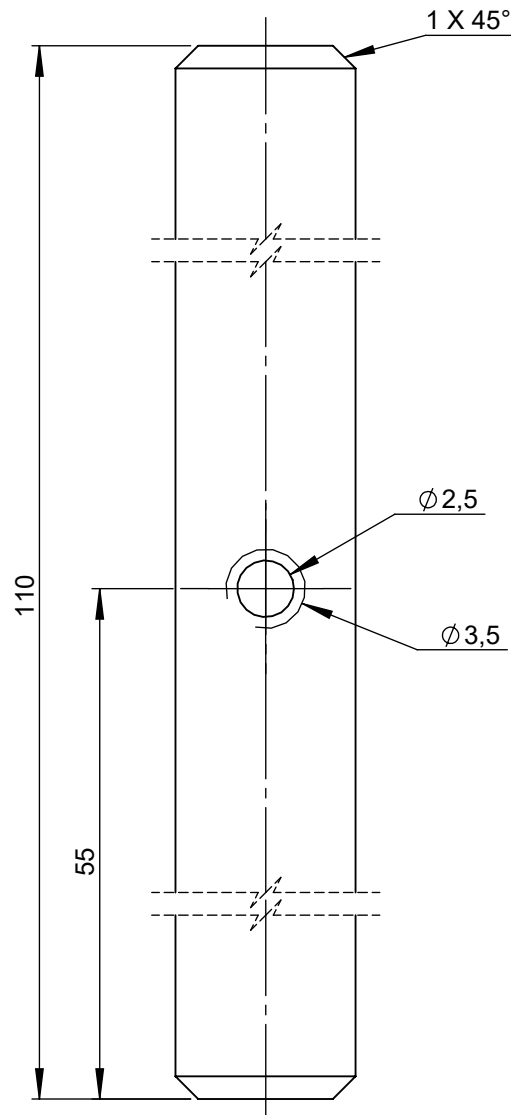
B

C

D

E

TORNEADO



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 0.014 Kg	MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AISI304	
						TÍTULO: Aspa de Agitación	ESCALA: 2:1
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 18 DE 26	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

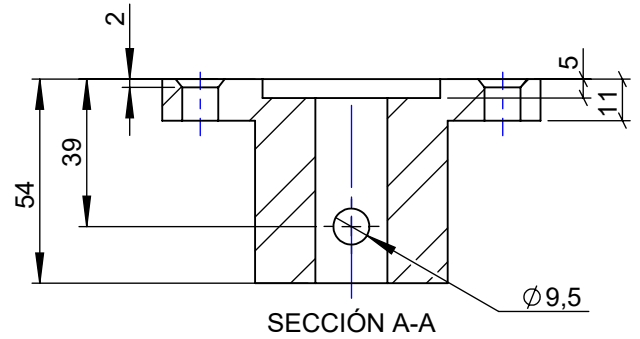
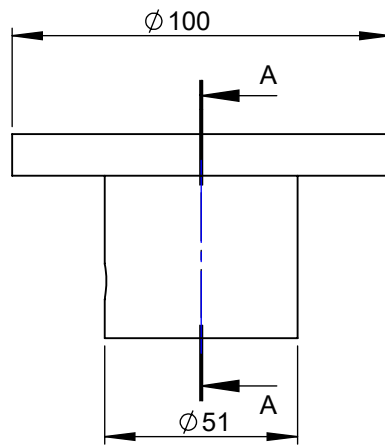
2

3

4

N7 TORNEADO

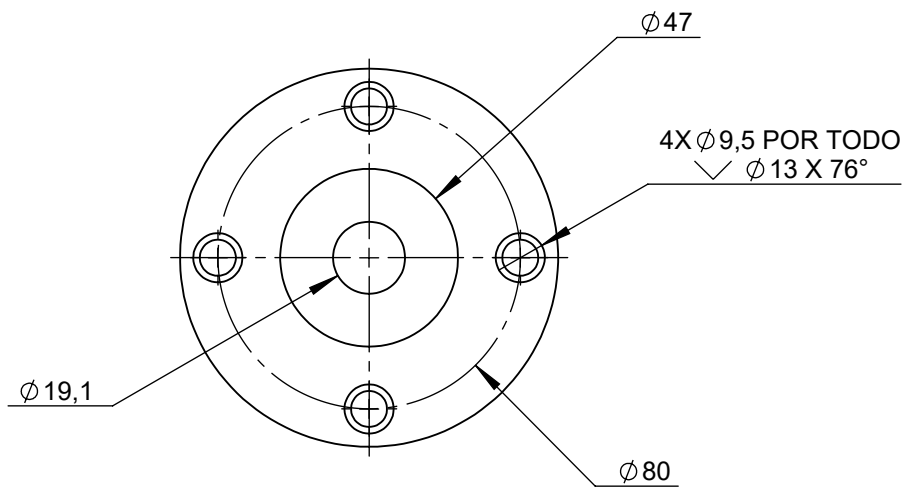
A



B

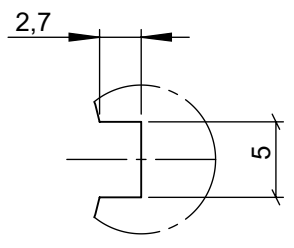
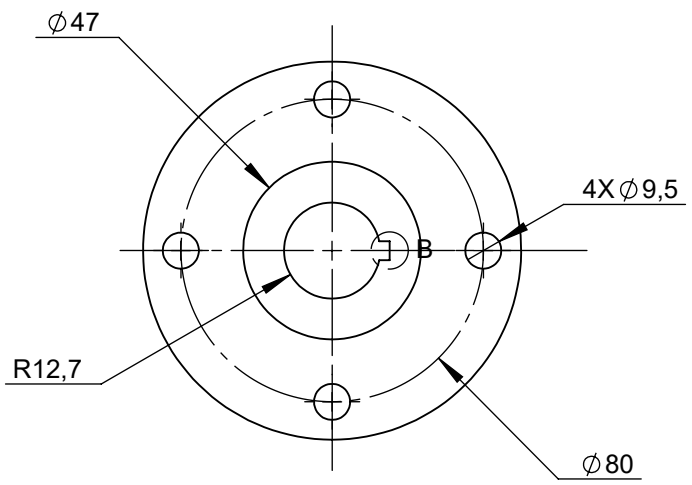
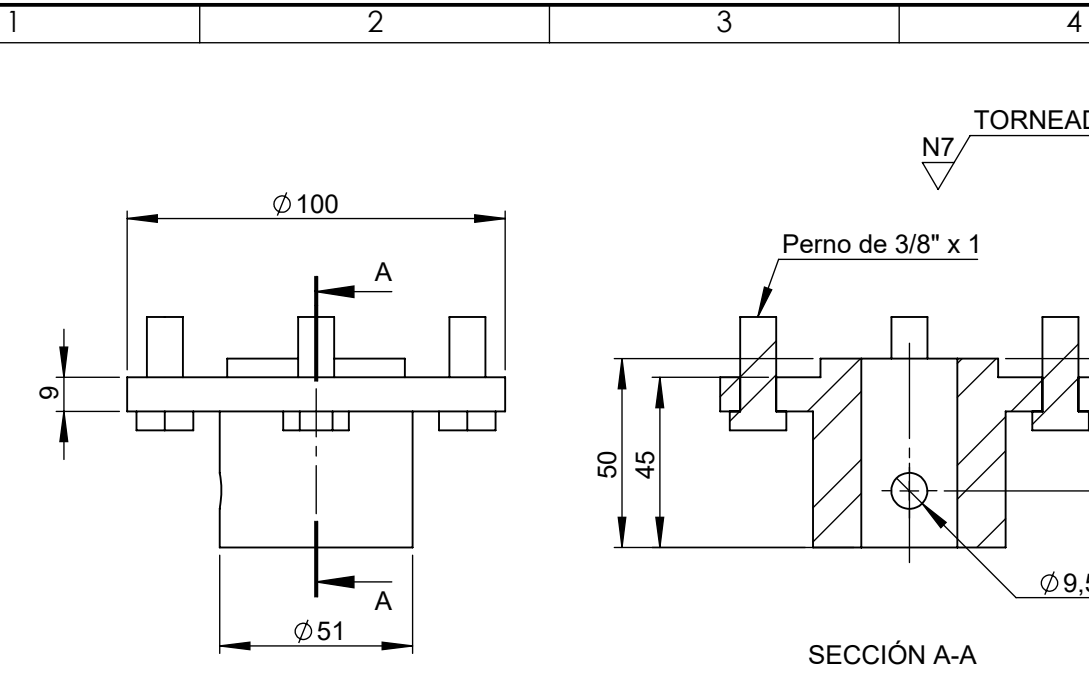
C

D



E

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				± 1	1.17 Kg	AISI 304	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores	Acople Unión Eje Agitador - Motor	1:2
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	1.07 Kg	AISI 304	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores		
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.	N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				U.T.A.			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	

A
B
C
D
E

1 2 3 4

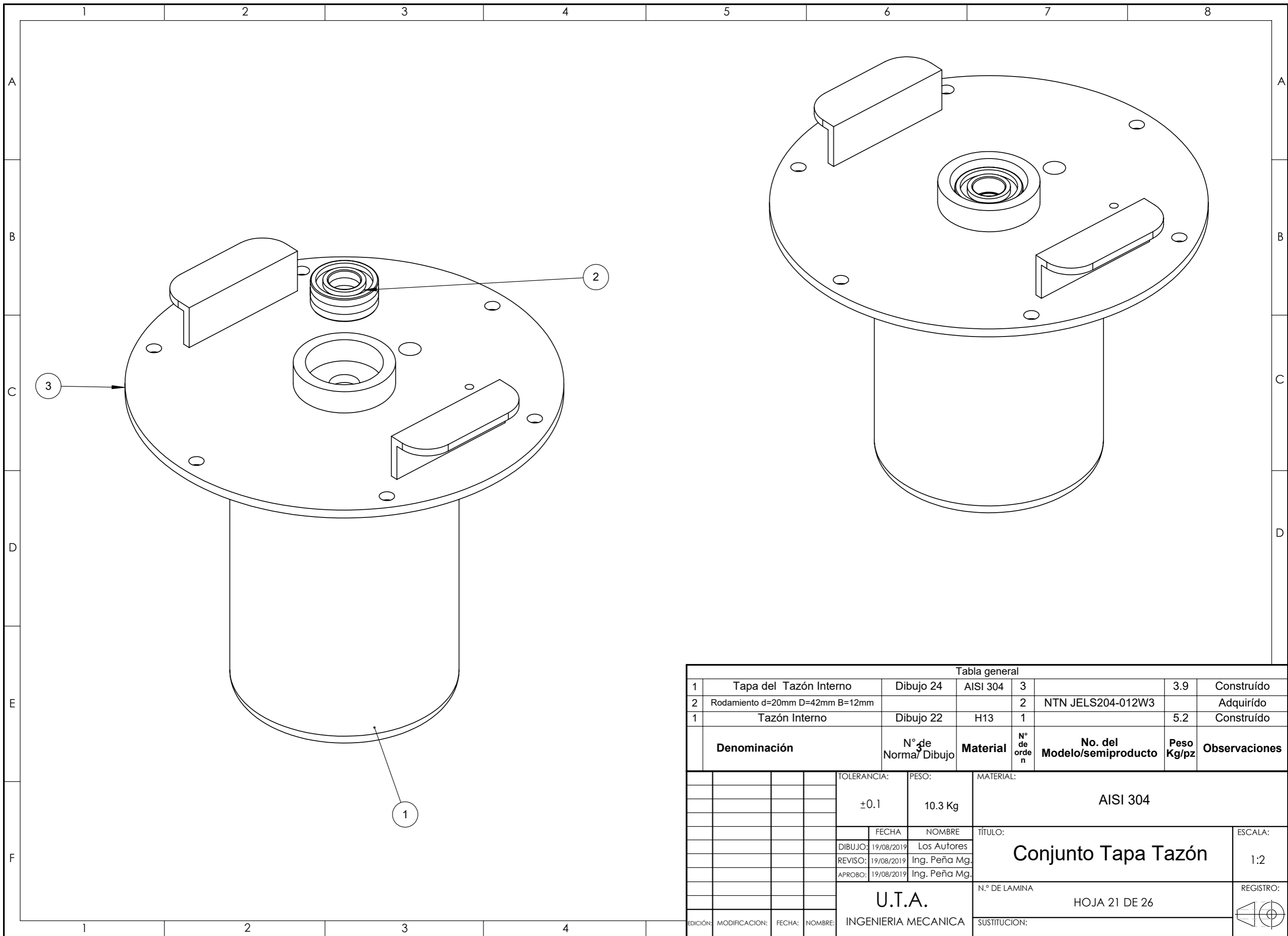


Tabla general							
1	Tapa del Tazón Interno	Dibujo 24	AISI 304	3	3.9	Construído	
2	Rodamiento d=20mm D=42mm B=12mm			2	NTN JELS204-012W3	Adquirido	
1	Tazón Interno	Dibujo 22	H13	1	5.2	Construído	
Denominación		N° de Norma/ Dibujo	Material	N° de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
		TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
		±0.1	10.3 Kg	AISI 304			
		FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:	
		DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores	Conjunto Tapa Tazón		1:2	
		REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
		APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
		U.T.A.		N.º DE LAMINA		REGISTRO:	
		INGENIERIA MECANICA		HOJA 21 DE 26		◀ ⊕	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

1

2

3

4

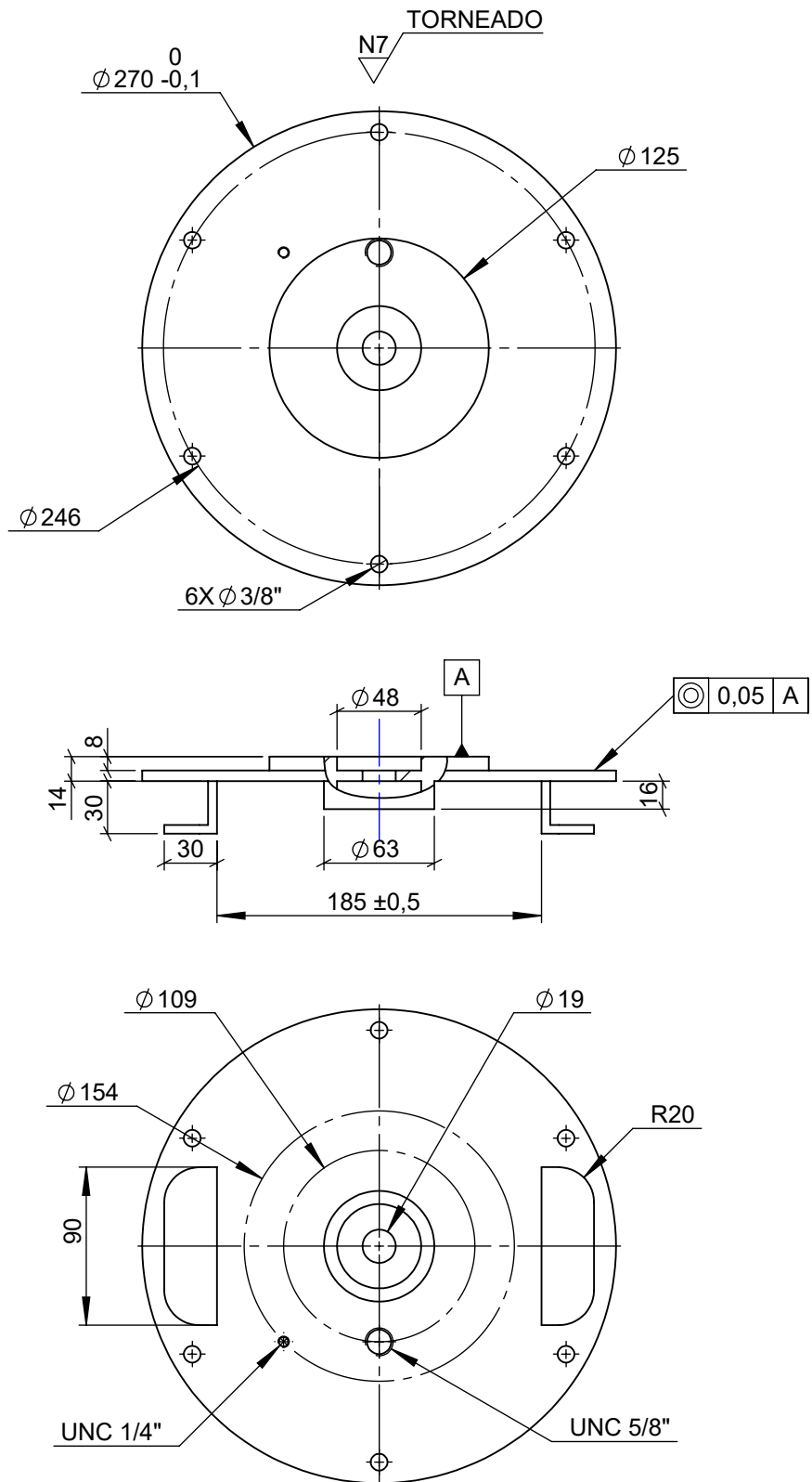
A

B

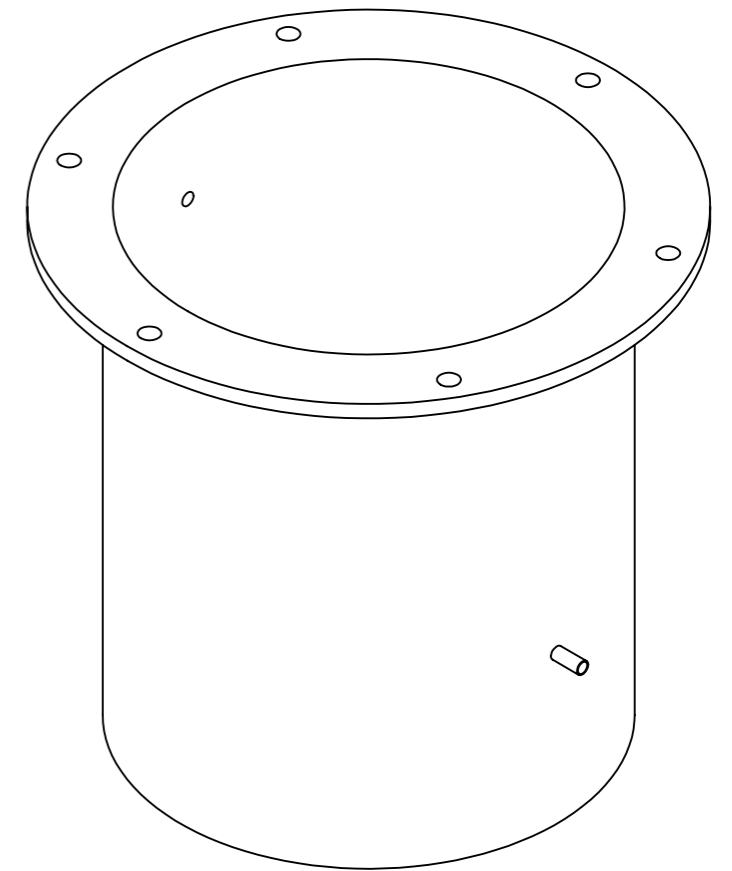
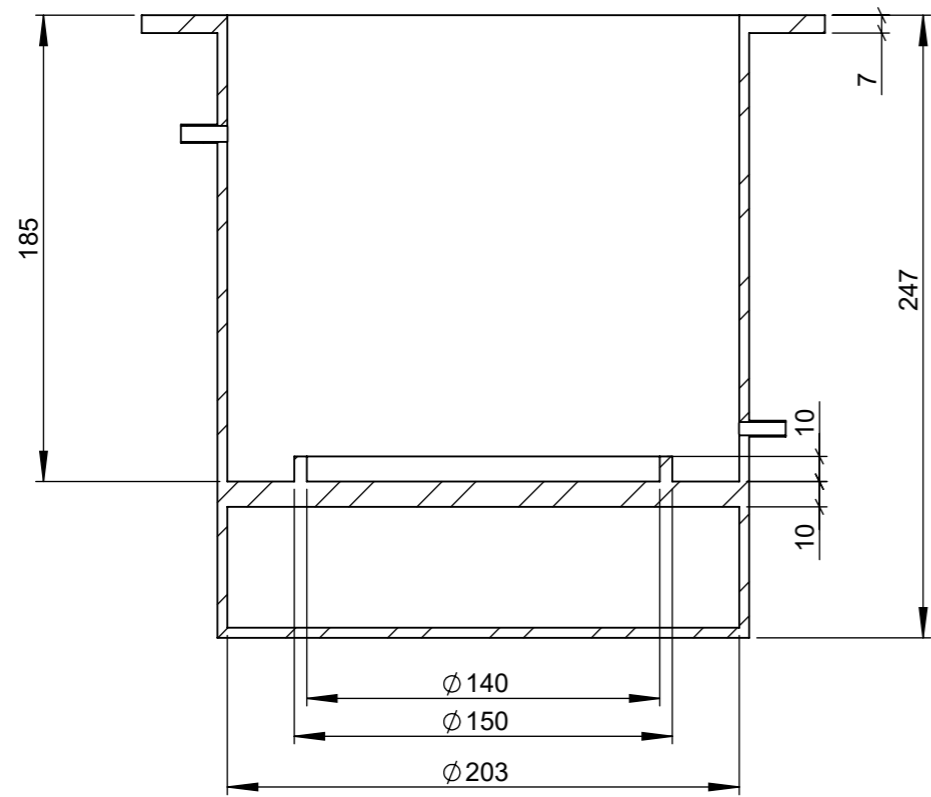
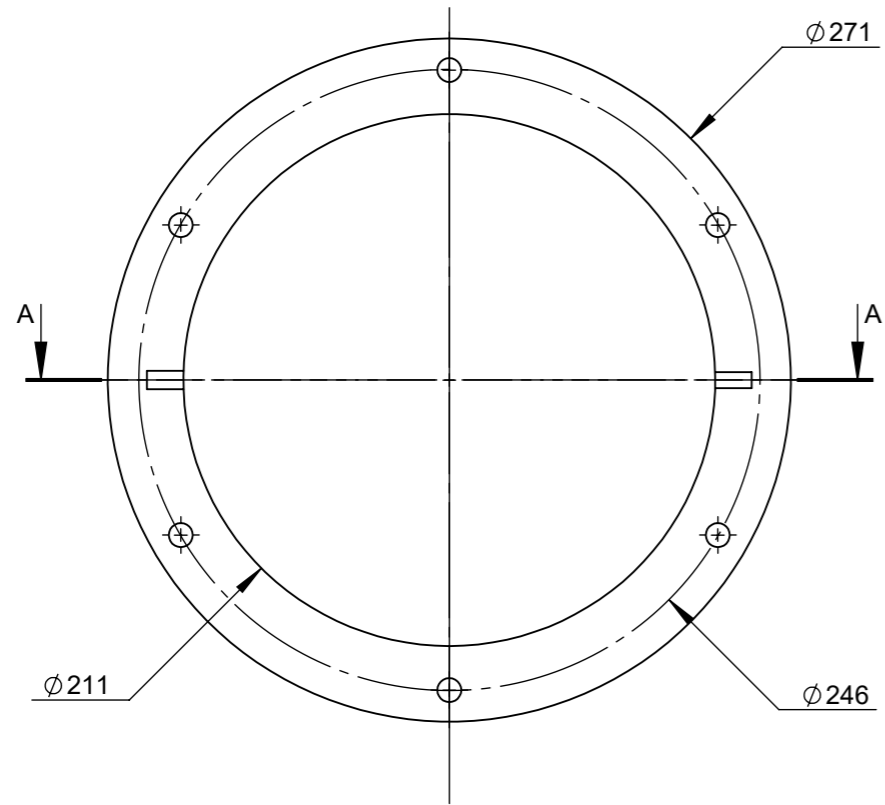
C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 3.9 Kg	MATERIAL: AISI 304		
						TÍTULO: Tapa del Tazón Interno	ESCALA: 1:5	
				FECHA	NOMBRE			
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores			
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.			
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.			
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
						INGENIERIA MECANICA		HOJA 23 DE 26
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:				



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±0.1	8.7 Kg	ASTM A36			
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:			ESCALA:
				DIBUJO: 19/08/2019	Los Autores	Cámara de Refrigeración			1:2
				REVISO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
				APROBO: 19/08/2019	Ing. Peña Mg.				
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	HOJA 24 DE 26		REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:						

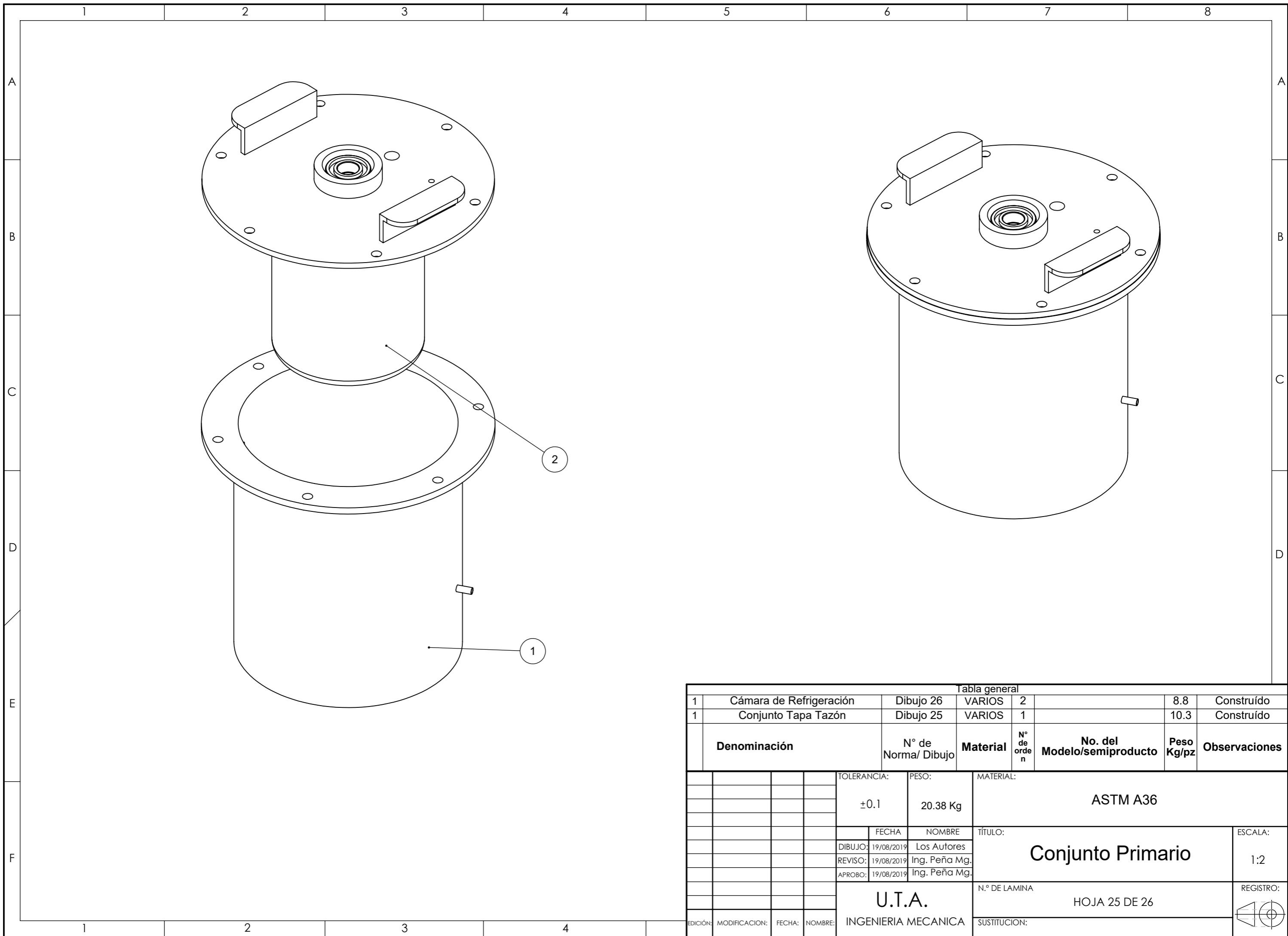
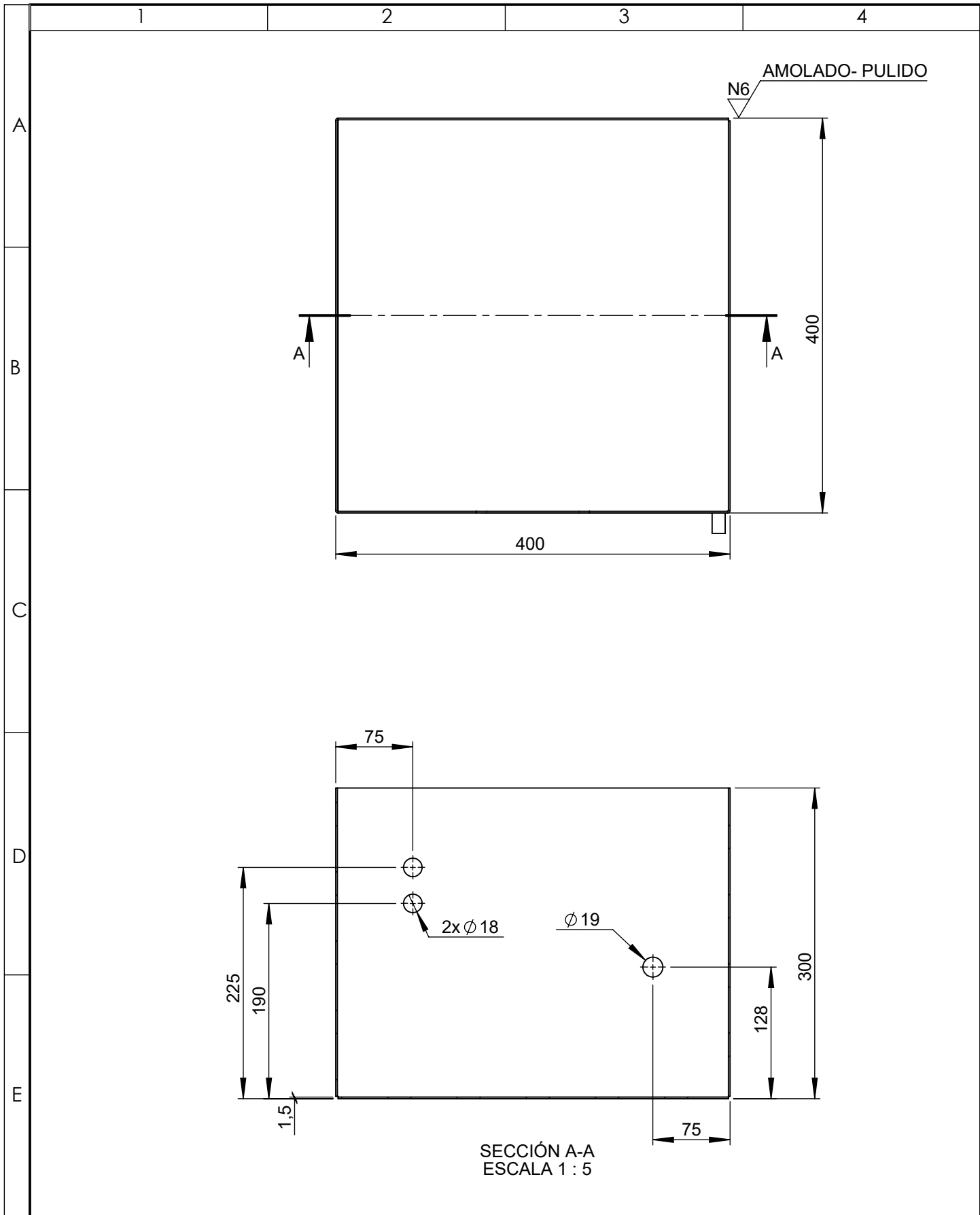


Tabla general							
Denominación	N° de Norma/ Dibujo	Material	N° de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones	
1	Cámara de Refrigeración	Dibujo 26	VARIOS	2	8.8	Construido	
1	Conjunto Tapa Tazón	Dibujo 25	VARIOS	1	10.3	Construido	
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:			
±0.1		20.38 Kg		ASTM A36			
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:			ESCALA:
DIBUJO: 19/08/2019		Los Autores		Conjunto Primario			1:2
REVISO: 19/08/2019		Ing. Peña Mg.					
APROBO: 19/08/2019		Ing. Peña Mg.					
U.T.A.				N.º DE LAMINA		REGISTRO:	
INGENIERIA MECANICA				HOJA 25 DE 26			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 8.9 Kg	MATERIAL: ASTM A36		
						TÍTULO: Tanque de Refrigeración	ESCALA: 1:5	
				DIBUJO:	FECHA:		NOMBRE:	
				REVISO:	19/08/2019		Ing. Peña Mg.	
				APROBO:	19/08/2019	Ing. Peña Mg.		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 26 DE 26	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		