

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**OPTIMIZACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA MECÁNICO
DE AGITACIÓN DE LA SALMUERA EN EL
PROCESAMIENTO DE LA ACEITUNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. Luis Beltran Quispe Candia

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“OPTIMIZACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA MECÁNICO
DE AGITACIÓN DE LA SALMUERA EN EL
PROCESAMIENTO DE LA ACEITUNA”**

Trabajo Tesis sustentado el 05 de octubre de 2016, estando integrado el jurado calificador por:

PRESIDENTE


.....
Ing. Victor Juan Malpartida Arrieta

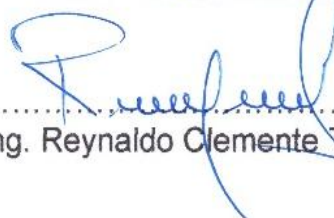
SECRETARIO


.....
Mg. Avelino Godofredo Pari Pinto

VOCAL


.....
Dr. Jesús Plácido Medina Salas

ASESOR


.....
Ing. Reynaldo Clemente Telles Ríos

DEDICATORIA:

A mis queridos padres; Roberto Quispe Maquera y Josefa Candia Mamani, que con su ayuda invaluable pude realizar mi sueño, ser Ingeniero; por su amor, comprensión y consejos.

AGRADECIMIENTO:

Primeramente, agradezco a Dios, quien me ha dado la vida; por estar conmigo en cada momento.

Le doy gracias a mis padres, hermanos y amigos, por apoyarme en todo momento y brindarme su amor y amistad.

De igual manera agradecer al Ing. Cesar Hualpa Choquecota y a mi tío Alipio Chino Candía, por su visión crítica y sus consejos que me ayudaron finalizar este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	
RESUMEN	
CONTENIDO	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ESTUDIO METODOLOGICO DEL PROBLEMA	
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.4.1 Justificación teórica	5
1.4.2 Justificación practica	6
1.4.3 Justificación social	6
1.4.4 Justificación económica	7
1.5 OBJETIVOS	7
1.5.1 Objetivo general	7

1.5.2 Objetivos específicos	7
1.6 HIPÓTESIS	8
1.7 VARIABLES	8
1.8 ESPECIFICACIONES DE NORMAS EXISTENTES	9
1.8.1 Normas aplicadas al diseño de elementos de máquinas y materiales industriales	9
1.8.2 Normas aplicadas para fabricación de maquinaria alimentaria y sanitaria.	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN DE LA SALMUERA Y FERMENTACIÓN DE LA ACEITUNA	11
2.1.1. Descripción del proceso de fermentación de la aceituna	12
2.1.1.1 Inmersión de salmuera	12
2.1.1.2. Fermentación	12
2.1.1.3. Preparación de la salmuera	13
2.2 AGITACIÓN	15
2.2.1 Propósitos de la agitación	15
2.2.2. Equipos de agitación	16
2.2.3 Dimensionamiento y relación de escala para tanques agitadores	18
2.2.4. Impulsores	20

2.2.4.1	Agitadores de hélice	22
2.2.4.2	Agitador de paletas	23
2.2.4.3	Agitador de turbina	25
2.2.5.	Patrones de flujo	26
2.2.5.1	Prevención de vórtices	29
2.2.6.	Número de flujo del impulsor	31
2.2.7.	Consumo de potencia	33
2.2.7.1	Correlaciones de potencia	33
2.2.7.2	Cálculo de consumo de potencia	36
2.2.8.	Números adimensionales	38
2.2.8.1	Número de Reynolds	38
2.2.8.2	Número de potencia	39
2.3.	CRITERIOS, DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EJE	40
2.3.1	Cálculo y estimación de la potencia requerida	41
2.3.2	Cálculo del momento torsor	42
2.3.3	Cálculo de momento flector	46
2.3.4	Diseño del eje	48
2.3.5	Dimensionamiento del eje	49
2.3.6	Diseño de ejes para el esfuerzo	50
2.4	DEPOSITOS CILINDRICOS ABIERTOS CONTENIENDO LIQUIDOS	51

2.5 ELEMENTO MECÁNICO FLEXIBLE	54
2.5.1 Correas	54
2.5.2 Correas trapezoidales en “V”	56
CAPÍTULO III: ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	57
3.1 ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN DE LA SALMUERA	57
3.1.1 Métodos de preparación de la salmuera	57
3.1.1.1 Agitación manual	57
3.1.1.2 Agitación mediante malla sujeta al recipiente	58
3.1.1.3 Agitación mediante un equipo de agitación mecánica	59
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE AGITACIÓN	60
3.2.1 Recipiente o tanque agitador	60
3.2.2 Sistema de transmisión	61
3.2.2.1 Eje propulsor	61
3.2.2.2 Paletas	62
3.2.2.3 Soporte o chumacera	62
3.2.2.4 Faja de transmisión	62
3.2.2.5 Poleas	63
3.2.2.6 Motor de accionamiento	63
3.2.2.7 Otros elementos complementarios	63

3.2.3 Estructura de soporte	64
3.2.4 Evaluaciones preliminares	65
3.3 METODOS DE OPTIMIZACIÓN	66
3.3.1 Optimización del recipiente de agitación	67
3.3.2 Optimización del eje propulsor	67
3.3.3 Optimización de las paletas o turbina	68
3.3.4 Optimización estructural del sistema de agitación	69
3.4 ANALISIS EXPERIMENTAL	69
3.4.1 Balance de masa	69
3.4.2 Cálculo del tiempo de preparación de la salmuera	71
3.4.2.1 Tiempo de preparación manual de la salmuera	71
3.4.2.2 Tiempo de preparación mecánica de la salmuera	72
3.4.3 Relaciones de potencia de arrastre y diámetro del impulsor	74
3.5 ANALISIS PRESUPUESTAL	77
3.5.1 Costo del sistema de agitación	78
CAPÍTULO IV: DISEÑO MECANICO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN	81
4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL RECIPIENTE	81
4.1.1 Parámetros iniciales de diseño del recipiente	82
4.1.2 Selección de material	82

4.1.3	Espesor del recipiente de agitación	84
4.1.4	Cálculo del tamaño óptimo del recipiente	86
4.1.5	Cálculo de la altura total del tanque	87
4.2.	DISEÑO DEL AGITADOR MECÁNICO	89
4.2.1	Consideraciones para el diseño	90
4.2.2	Consideraciones para la construcción del impulsor	90
4.2.2.1	Selección del impulsor	90
4.2.2.2	Cálculo de las dimensiones principales del impulsor	92
4.3	CÁLCULO DE LAS PLACAS DEFLECTORAS O BAFLES	93
4.4.	CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR EL TANQUE DE AGITACIÓN	94
4.4.1	Selección del flujo a trabajar	95
4.4.2	Selección de la velocidad angular	95
4.4.3	Cálculo del número de Reynolds	95
4.4.4	Número de potencia (N_p)	97
4.4.5	Cálculo de la potencia de arrastre consumida por la propela	99
4.4.6	Selección del motor eléctrico	100
4.5	CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	100
4.5.1	Cálculo de la transmisión por fajas en “V”	101
4.6	CALCULO DE ESFUERZOS EN EL EJE	104

4.6.1 Cálculo del momento torsor	106
4.6.2 Cálculo del momento flector	107
4.6.3 Cálculo y diagramas de cargas	108
4.7 CÁLCULO DEL EJE DEL IMPULSOR	111
4.7.1 Verificación del material del eje por cálculo de esfuerzos	113
4.7.2 Cálculo de la chaveta del eje	114

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO I

ANEXO II

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Aceituna negra y verde	11
Figura 2. Tanque típico de agitación.	17
Figura 3. Relaciones para el diseño de un tanque	19
Figura 4. Impulsor de flujo axial y de flujo radial tipo Rushton	21
Figura 5. Patrón de flujo generado por una turbina axial, derecha: patrón de flujo generado por una turbina radial	21
Figura 6. Tipos de agitadores de paletas	24
Figura 7. Agitadores para líquidos de viscosidad moderada	26
Figura 8. Componentes de la velocidad de un fluido en un tanque agitado	27
Figura 9. Patrón de flujo turbulento con una turbina de flujo radial en un tanque sin deflectores	28
Figura 10. Agitador con el eje del impulsor no centrado	29
Figura 11. Agitador con el eje del impulsor horizontal	30
Figura 12. Tanque agitador con cuatro placas deflectoras	31
Figura 13. Numero de potencia N_p en función del Reynolds Re	36
Figura 14. Fuerzas aplicadas sobre los ejes	42

Figura 15. Trabajo del eje	43
Figura 16. Momento torsor y fuerza tangencial	45
Figura 17. Cálculo del momento flector	47
Figura 18 Cálculo de recipientes cilíndricos de pared delgada	52
Figura 19. Agitador manual	58
Figura 20. Agitador mediante malla sujeta al tanque	59
Figura 21. Agitación mediante equipo de agitador	60
Figura 22. Estructura del agitador	64
Figura 23. Vista del agitador encontrado	66
Figura 24. Paleta del agitador encontrado	68
Figura 25. Potencia de arrastre vs diámetro de propela I	76
Figura 26. Potencia de arrastre vs diámetro de propela II	77
Figura 27 Recipiente de agitación	89
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje propulsor	107
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del eje	109
Figura 30. Diagrama de fuerzas cortantes	110
Figura 31. Diagrama de momento flector	110

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relaciones de diseño para el dimensionamiento de un tanque único.	20
Tabla 2. Valores de las constantes K_T y K_L para tanques con cuadro deflectores	38
Tabla 3. Inspección técnica del equipo encontrado	65
Tabla 4. Balance de masa	70
Tabla 5. Tiempo de preparación manual de la salmuera	72
Tabla 6. Tiempo de preparación mecánica de la salmuera	73
Tabla 7. Relación de potencia de arrastre y diámetro del impulsor I	74
Tabla 8. Relación de potencia de arrastre y diámetro del impulsor II	75
Tabla 9. Costo de materiales del sistema de agitación	78
Tabla 10. Costo de accesorios	79
Tabla 11. Costo de mano de obra	80
Tabla 12. Costo de fabricación total del sistema de agitación	80
Tabla 13. Propiedades de la resina poliéster con fibra de vidrio	84
Tabla 14. Número de potencia de varias propelas	98

ANEXO I

1. Factores de servicio para transmisión por faja en V
2. Selección de la sección de faja en V
3. Diámetro exterior mínimo para poleas en fajas en V
4. Poleas de aluminio, catálogo de Ducasse Comercial Ltda.
5. Longitud de faja y factor por longitud de Faja.
6. Factor por ángulo de contacto
7. Potencia que pueden transmitir las fajas sección "A"
8. Potencia adicional por relación de transmisión
9. Calidades de las planchas de acero inoxidable
10. Chavetas paralelas DIN 6885

ANEXO II

1. Plano del sistema mecánico de agitación.
2. Plano de despiece del agitador mecánico.
3. Plano agitador mecánico.
4. Plano del recipiente de agitación.
5. Plano de la estructura.
6. Plano de los ejes de transmisión e impulsor.
7. Plano del impulsor de palas inclinadas
8. Plano de la polea conductora
9. Plano de la polea conducida

ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (American Society of Testing and Materials)
AISC	Instituto Americano de la Construcción (American Institute of Steel Construction).
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
°C	Grados Celcius
HP	Caballos de potencia
h	Horas
kg	Kilogramos
kg/m ³	Kilogramos por metros cubicos
kW	Kilowatts
MPa	Mega Pascales
m	Metro
mm	Milímetros
m/s	Metros por segundo
m ²	Metros cuadrados
N	Newton
N-m	Newton-metro

rev/min	Revoluciones por minuto
rev/min	Revoluciones por minuto
GPa	Giga Pascales
cm	centímetros
V	Voltios
AISI	Instituto americano del hierro y el acero
mm	Milímetros
kg/m.s	Kilogramo por metro segundo
pulg	Pulgadas
SAE	Sociedad Americana de Ingenieros (American Society of Engineers)
rad/s	Radianes por segundo

SIMBOLOGÍA

D_i	Diámetro interno del recipiente
H_i	Altura del recipiente
D_p	Diámetro de propela o impulsor
t_p	Espesor del propulsor
H_p	Altura del propulsor por encima del fondo del tanque
B_w	Ancho de las placas deflectoras
N_p	Número de potencia
Re	Número de Reynolds
\dot{N}	Revoluciones por minutos
ρ	Densidad del líquido
μ	Viscosidad cinemática
ω	Velocidad angular
M_t	Momento torsor o torque
P'	Potencia de arrastre de la propela
F	Fuerza tangencial
v	Velocidad
r	Radio de la fecha
\dot{W}	Trabajo de fecha

M_f	Momento flector
L_e	Longitud de eje
E	Módulo de elasticidad.
I	Inercia
y_{max}	Deflexión máxima.
N_f	Factor de seguridad.
S_y	Esfuerzo de fluencia
d	Diámetro de eje
σ_{max}	Esfuerzo flector máximo
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo
$^{\circ}\text{Be}$	Grados Baumé
V_D	Volumen de diseño del recipiente
D_m	Diámetro medio
H_1	Altura del líquido en el recipiente de operación
H_v	Altura del volumen vacío del recipiente
m_{gt}	Relación de transmisión
HP_d	Potencia de diseño
f_s	Factor de servicio de las máquinas.
L	Longitud de la correa.
C	Distancia de entre centros
D	Diámetro de la polea conducida

d	Diámetro de la polea conductora
K_L	Factor de corrección por longitud de faja
K_θ	Factor de corrección por ángulo de contacto.
N	Número de fajas
N_s	Potencia absorbida por la máquina.
P	Potencia.
γ	Peso específico.

RESUMEN

La presente tesis, muestra las consideraciones básicas para optimizar un sistema de agitación para la dilución del cloruro de sodio (NaCl) en agua (H_2O), como parte de la planta o bodega de procesamiento de aceitunas, negocio del Sr. Alipio Chino Candía, ubicada en la Av. Ejercito s/n, distrito y provincia de Tacna, perteneciente al sector agroindustrial de la región de Tacna. El incremento de la producción de la aceituna en los últimos años, demanda de máquinas y equipos para el procesamiento de este producto, de los cuales esta propuesta de optimización es alentada y justificada.

El trabajo está basado en analizar y determinar la mejor solución para un equipo de agitación encontrado, que tiene el objetivo de preparar la salmuera, el cual se encontró con serios problemas de operatividad y eficiencia en mezcla y agitación, con este trabajo de tesis se optimiza; rediseñando el agitador mecánico y el recipiente de agitación, que permite que el proceso de preparación de la salmuera, sea eficiente y operativo, de este modo disminuir el tiempo preparación de la salmuera.

Con el análisis de los resultados experimentales se identifica la mejor solución al problema planteado, dentro de este trabajo se encuentran parámetros de diseño para tanques agitadores, números adimensionales utilizados en mezcla, ecuaciones matemáticas que gobiernan el comportamiento de los fluidos, análisis de esfuerzos, los cuales permiten el desarrollo del presente estudio.

INTRODUCCIÓN

La principal región productora de aceitunas en el Perú es Tacna, en el año 2014 en Tacna se produjeron 115 351 toneladas de aceitunas, dicha producción representó el 76 % del total. La agroindustria, es un sector muy importante en la economía de la región, el procesamiento de la aceituna ha llevado al productor o empresario a utilizar herramientas que permitan generar mayor rentabilidad industrializando su producción.

Para la optimización del proceso de agitación, se rediseña y modifica el equipo encontrado en la planta de procesamiento de la aceituna, el cual tiene deficiencias técnicas de diseño y agitación eficiente. Para preparar la salmuera, que es la solución indispensable para la fermentación de la aceituna, se siguen recomendaciones, procedimientos y normas establecidas por diferentes entidades. Se detalla los cálculos realizados para la optimización del recipiente y del agitador mecánico, haciendo referencia a manuales, bibliografía y catálogos de compañías extranjeras que producen los implementos. Por lo tanto, el presente trabajo de optimización es una propuesta interesante, para analizar y determinar la mejor solución del problema.

El primer capítulo, contiene las generalidades, como son la descripción, formulación justificación del problema, asimismo, las limitaciones, hipótesis e identificación de variables. El capítulo II, trata sobre el marco teórico de referencia de proyecto, sirviendo de base para el diseño y análisis de optimización del sistema de agitación, teniendo en cuenta las consideraciones generales de diseño, selección de elementos de máquinas, mientras que en el capítulo III, se describe el análisis e identificación de la mejor solución, para la optimización del sistema de agitación.

De otro lado, en el capítulo IV, se aborda el diseño y selección de los elementos que conforman este sistema de agitación. Se determina el material de fabricación del recipiente, condiciones de operación del recipiente y cálculo del tamaño óptimo del recipiente. Se elige el sistema de transmisión por medio de correas y poleas para la transmisión de potencia, cálculo del diámetro del eje impulsor, se realiza cálculo de los momentos flector y torsor, selección y dimensionamiento de las paletas del impulsor. Finalmente, se puntualizan las conclusiones y recomendaciones, incluyéndose los anexos I y II

CAPÍTULO I

ESTUDIO METODOLOGICO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se pretende solucionar con el desarrollo del presente estudio, es optimizar el equipo de agitación encontrado en la bodega de fermentación de la aceituna de una empresa mencionada anteriormente, con la instalación de placas deflectoras en el recipiente de agitación y rediseñar el eje propulsor del sistema de agitación para la disolución de cloruro de sodio en agua, el equipo existente, tiene un bajo rendimiento cuando está operativo y carece de consideraciones técnicas de diseño en las paletas propulsoras, la velocidad de mezcla y dimensionamiento del eje.

La empresa dedicada al procesamiento de la aceituna está realizando esta actividad de agitación manualmente o utilizando este equipo existente, el cual tiene las siguientes deficiencias detectadas:

- Las palas del propulsor o agitador, no son las adecuadas para este proceso de agitación.

- El propulsor está sujeto al eje, por lo tanto, no es fácil su desmontaje y mantenimiento.
- La velocidad de agitación no es controlada y el recipiente no cuenta con placas deflectoras, que eviten vórtices o remolinos.
- El tiempo de agitación manual es demasiado y la mano de obra que puede ser aprovechada para otros fines, los cuales generan pérdidas de costos de producción para la empresa.

1.2. DELIMITACION DEL PROBLEMA

Entendiendo el problema, se delimita el presente estudio en el sentido espacial, temporal, social y conceptual. Los cuales dan límites que permiten especificar en términos concretos nuestras áreas de interés en la presente investigación, establecer su alcance y decidir las fronteras para el presente estudio.

El área geográfica o espacial de la ejecución y análisis del presente trabajo, es en el distrito de La Yarada Los Palos, provincia y región de Tacna. Específicamente el lugar del desarrollo de la tesis, está ubicado en la Av. Ejército s/n, (carretera La Costanera) distrito de Tacna, negocio del

Sr. Alipio Chino Candia, en ese lugar se encontró el equipo de agitación, para el presente estudio.

La recopilación de la información se realizó del 2014 hasta 2016, en el periodo de cosecha de la aceituna, tiempo en el cual el trabajo es intenso, además, cabe resaltar que, el índice de la producción de la aceituna depende del factor climatológico de cada año. En el aspecto social y conceptual, se delimita en cuanto al alcance que se tiene para el presente estudio, la teoría y la experiencia hacen que el presente estudio pueda coadyuvar a la optimización del equipo de agitación para la preparación de la salmuera.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿De qué manera el rediseño del eje propulsor y la instalación de placas deflectoras o pantallas, optimizará técnicamente el funcionamiento del sistema de agitación mecánica para preparar la salmuera?

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Justificación teórica

La ejecución del presente proyecto tiene el objetivo de coadyuvar con el desarrollo agroindustrial que se viene dando en la región de Tacna, con la producción de la aceituna, y movido por el interés de investigar sobre los sistemas de agitación mecánica, aplicativo para las asignaturas: Teoría de Máquinas y Mecanismos, Diseño de Máquinas y Mecánica de Fluidos.

1.4.2. Justificación práctica

El objeto de este proyecto, es optimizar el sistema de agitación para la preparación de la salmuera, mediante el rediseño del eje propulsor e instalaciones de placas deflectoras, el cual aportará beneficio como: eficiencia en la preparación de la salmuera. Con este aporte ayudar a los operarios en la agitación.

1.4.3. Justificación social

La optimización en este proyecto en la planta de procesamiento de la aceituna, justifica en la preparación de la salmuera de manera eficiente, con una buena calidad de proceso y seguridad para los empleados. Se

desea con este proyecto estimular la vocación industrial y emprendedora, para la población agroindustrial de la aceituna en Tacna.

1.4.4. Justificación económica

La aplicación de este proyecto en la planta de maceración de la Aceituna, contribuirá mayor productividad, economizará en la preparación de la salmuera y costo de mano de obra.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Optimizar técnicamente el funcionamiento del Sistema Mecánico de Agitación de la Salmuera en el Procesamiento de la Aceituna, con el rediseño del equipo agitador, la instalación de placas deflectoras y obtener una mezcla eficiente.

1.5.2. Objetivos específicos

- Seleccionar un agitador apropiado para el proceso de preparación de la salmuera y sea desmontable.

- Diseñar una estructura con soporte deslizante para el equipo de agitación.
- Neutralizar los remolinos o vórtices generados en el recipiente de agitación y obtener una mezcla o agitación eficiente.
- Reducir el tiempo del proceso de preparación de la salmuera.

1.6. HIPÓTESIS

El rediseño del eje propulsor, agitador y la instalación de placas deflectoras en el recipiente de agitación para la dilución del cloruro de sodio en agua, optimiza técnicamente el funcionamiento del sistema de agitación.

1.7. VARIABLES

Las variables se definen en dos tipos: variables independientes, que son nuestros factores de análisis y las variables dependientes, que son los indicadores del resultado.

a) Variable independiente

- Rediseño del eje propulsor, equipo agitador y la instalación de placas deflectoras en el recipiente de agitación para la dilución del cloruro de sodio en agua.

b) Variable dependiente

- Optimiza técnicamente el funcionamiento del sistema de agitación.

1.8. ESPECIFICACIONES NORMATIVAS EXISTENTES

Se presenta a continuación las normas aplicadas al diseño de máquinas, materiales y normas relacionadas con productos alimentarios.

1.8.1. Normas aplicadas al diseño de elementos de máquinas y materiales industriales.

- AISI: Instituto Americano del Hierro y El Acero (*American Iron and Steel Institute*).
- AISC: Instituto Americano de la Construcción (*American Institute of Steel Construction*).

- ANSI: Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales (American National Standards Institute), estándar para la fabricación de flechas o ejes.
- AWS: Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
- DIN EN 4017: Tornillos tuercas y arandelas.
- IEC: Comisión Internacional Electrotécnico (International Electrotechnical Commissions).
- SAE: Sociedad Americana de Ingenieros (American Society of Engineers), estándar para fabricar flechas o ejes.

1.8.2. Normas aplicadas para fabricación de maquinaria alimentaria y sanitaria.

- AWS D18.3:2 005, Especificación para la soldadura de tanques, recipientes y otros equipos de aplicación sanitaria.
- Norma para la sal de calidad alimentaria (CODEX STAN 150-1 985)
- Resolución Ministerial N° 1653-2 002-SA/DM, Artículo 25,
- Reglamento Sanitario de Funcionamiento de Autoservicios de Alimentos y Bebidas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN DE LA SALMUERA Y FERMENTACIÓN DE LA ACEITUNA

La aceituna es una drupa carnosa, más o menos alargada según la variedad, de color verde, que cambia de morado a negro cuando está madura, alcanzando un peso medio comprendido entre 1,5 y 12g aproximadamente.



Figura 1. Aceituna negra y verde

Fuente: <http://delsurperu.com/productos/aceituna>, 2016.

2.1.1. Descripción del proceso de fermentación de la aceituna

2.1.1.1. Inmersión en Salmuera

Una vez en los recipientes de fermentación, se les añade la salmuera, en la que permanecen hasta su comercialización. La norma más general empleada ha sido la utilización de una salmuera de 10 – 12 °Be, que desciende a la mitad, al equilibrarse, posteriormente se iba añadiendo sal hasta alcanzar valores de 8 a 10 °Be

2.1.1.2. Fermentación

En el proceso de fermentación se extrae los azúcares de la pulpa, convirtiéndose la salmuera inicial en un caldo de cultivo, donde se desarrollan microorganismos que van a inducir una fermentación láctica, produciéndose ácido láctico y dióxido de carbono que se desprende a partir de estos azúcares. La fermentación dura de dos a tres meses dependiendo de las condiciones ambientales y es en esa etapa donde se desarrollan sus características sensoriales dependiendo de las condiciones ambientales y perdiendo el sabor amargo que inicialmente tiene.

En este tipo de preparación también es necesario realizar el control de la fermentación mediante la evolución periódica de la acidez y pH, concentración de sal y azúcares reductores, asimismo en esta etapa se necesita de la salmuera. En el proceso de fermentación de las aceitunas negras tiene un tiempo de 3 o 4 meses dependiendo de la temperatura ambiental, llegando a un pH final de 3,5 unidades y 8 °Bé.

2.1.1.3. Preparación de la salmuera

Para la preparación de la salmuera se verifica la concentración de la sal, es efectuada por el método densímetro, con el densímetro Baumé, este instrumento nos servirá para medir el grado de salinidad o concentración de sal en el agua. En el caso de la aceituna negra se ajusta a ocho (8) grados Baumé. Además, se necesita los siguientes insumos y recursos para el proceso de la fermentación.

- **Sal industrial:**

Se utiliza la sal industrial de la Sociedad Punta de Lobos (SPL) del tipo AB-020, importado de Chile, con una presentación

en sacos de 50 Kg con mínimo contenido de impurezas y con una duración indefinida.

- **Ácido Acético:**

Ácido acético glacial, con una pureza de 99 % de los laboratorios Nydia S.A.C, producto nacional, en presentaciones de galoneras (5L.) Se utiliza para darles mayor acidez a las salmueras.

- **Sorbato de potasio:**

Es usado como conservante natural que se presenta en forma de pequeños gránulos, no altera el sabor en los alimentos, producido por laboratorios Cargill Agrícola S.A. producción brasileña, envasadas en sacos de 25 Kg.

- **Ácido cítrico:**

De la marca Anhydrous, que ofrece en sacos sellados de 25 Kg. de capacidad, en forma de cristales incoloros o blancos, polvo

cristalino. Se trata de una sustancia inodora con un fuerte sabor ácido, muy soluble en agua, medianamente higroscópico, totalmente biodegradable.

2.2. AGITACIÓN

El éxito de muchas operaciones industriales depende de la efectiva agitación y mezcla de fluidos. Aunque con frecuencia se les confunde, la agitación y mezcla no son sinónimos. La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una manera específica, normalmente en un patrón circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. La mezcla es una distribución aleatoria, dentro y a través una de otra, de dos o más fases inicialmente separadas. Un material homogéneo simple, tal como un tanque lleno con agua fría, puede ser agitado, pero no puede ser mezclado mientras se le adhiere algún otro material

2.2.1. Propósitos de la agitación

El proceso de agitación en la industria tiene como objetivos más frecuentes:

- Suspensión de partículas sólidas.
- Mezclado de líquidos miscibles, por ejemplo, alcohol metílico y agua.

- Dispersión de un gas a través de un líquido en forma de pequeñas burbujas.
- Dispersión de un segundo líquido, inmiscible con el primero, para formar una emulsión o suspensión de gotas finas.
- Promoción de la transferencia de calor entre el líquido y un serpentín o encamisado.

2.2.2. Equipos de agitación

Los fluidos son agitados en tanques o recipientes, el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (la parte superior del recipiente puede estar abierta al ambiente o cerrada), y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. El cilindro debe presentar placas deflectoras, para evitar la formación de vórtices (remolinos). La altura del líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El agitador crea un tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente.

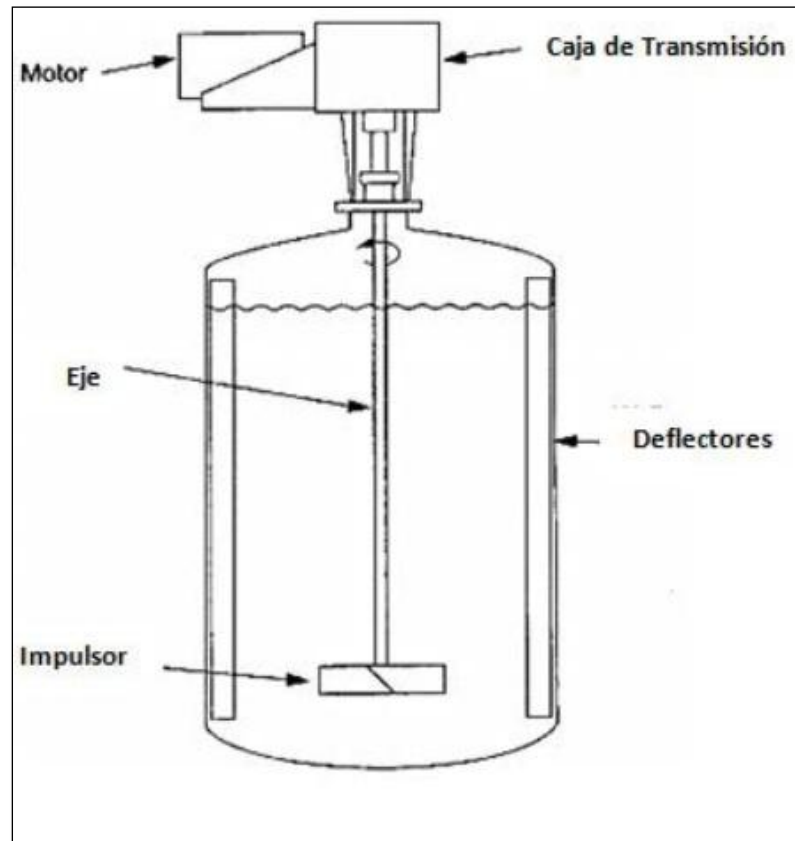


Figura 2. Tanque típico de agitación

Fuente: Handbook of Industrial Mixing, Edward L. Paul, Víctor A. Atiemo-Obeng y Suzanne M. Kresta, 2003.

a) Tanque

De fondo redondeado para evitar regiones donde no penetrarían corrientes de flujo, además de requerir de una menor energía en el funcionamiento. Cuando se utiliza un solo impulsor posicionado en el centro del tanque, tener un nivel de líquido igual

al diámetro es lo más óptimo; sin embargo, por consideraciones económicas y de fabricación, a menudo se dicta una mayor proporción de la profundidad con el diámetro.

b) Deflectores

Los deflectores previenen formación de vórtices (remolinos) y la rotación de la masa líquida en su conjunto. Cuatro deflectores equidistantes en un espacio circular es lo estándar, tener seis es un poco más efectivo, y tres apreciablemente menor; se puede colocar una mayor cantidad, pero esto solo depende de condiciones de diseño. Cuando el eje mezclador está situado fuera del centro (un cuarto a una mitad del radio del tanque) o posicionado horizontalmente, el patrón de flujo resultante tiene menos remolino, y los deflectores pueden ya no ser necesarios.

2.2.3. Dimensionamientos y relaciones de escala para tanques agitadores

En el diseño de sistemas de tanques agitadores se utilizan los siguientes parámetros para crear relaciones adimensionales para el escalamiento y el dimensionamiento (figura 3); el diámetro interno del

tanque, D_i y la altura, H_i ; el diámetro, D_p y el espesor, t_p , del propulsor; la altura del propulsor por encima del fondo del tanque, H_p ; y el ancho de la pantalla, B_w . Se supone que existen cuatro pantallas por tanque. La Tabla 1 resume las relaciones de diseño para el dimensionamiento de un tanque simple.

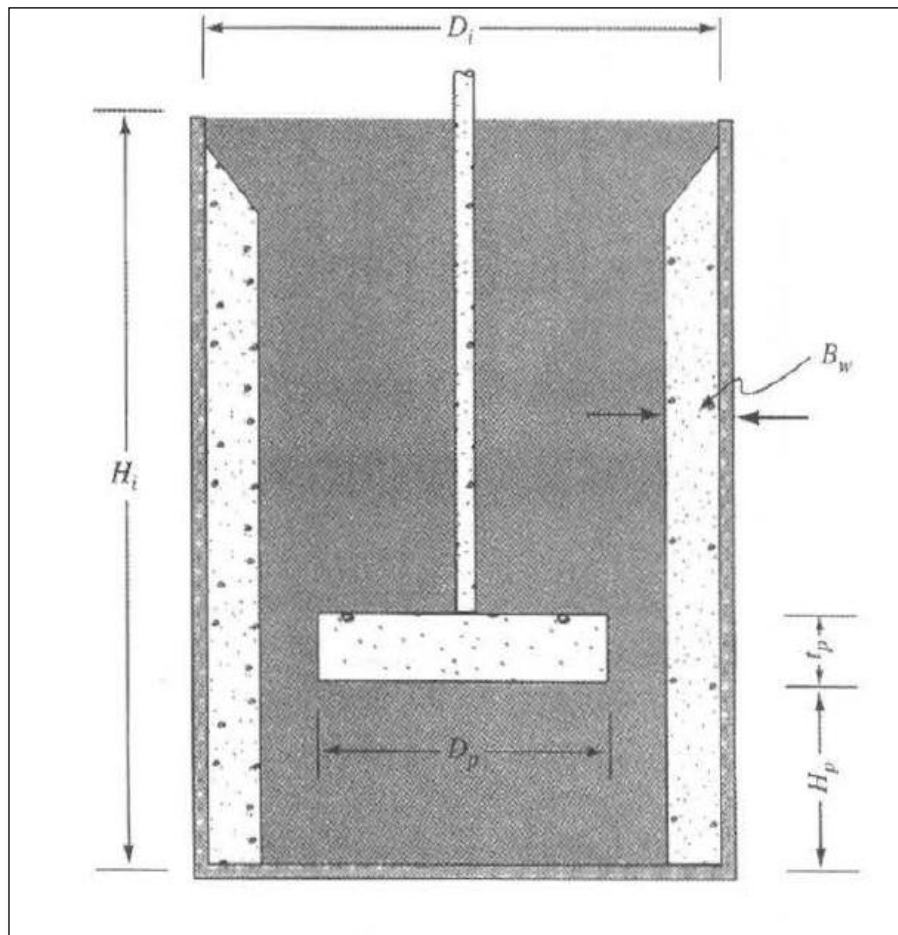


Figura 3. Relaciones para el diseño para el dimensionamiento de un tanque único.
Fuente: Mecánica de Fluidos. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Keith Bedford, 1990.

Tabla 1

Relaciones de diseño para el dimensionamiento de un tanque único

RELACIONES DE DISEÑO DEL RECIPIENTE

$0,2 < D_p/D_i < 0,5$ (flujo turbulento)

$0,7 < D_p/D_i < 1,0$ (flujo laminar)

$$B_w/D_i = 1/12$$

$$H_p/D_i = 1/3$$

$$H_p/D_i = 1$$

$$t_p/D_p = 1/5$$

Fuente: Mecánica de Fluidos. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Keith Bedford

2.2.4. Impulsores

Los agitadores de impulsor o rodete se dividen en dos clases. Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor se llaman impulsores de flujo axial; y aquellos que generan corrientes en dirección radial o tangencial se llaman impulsores de flujo radial. En las siguientes figuras 4 y 5, se muestra ejemplos de los tipos de agitadores y el patrón de flujo que originan.

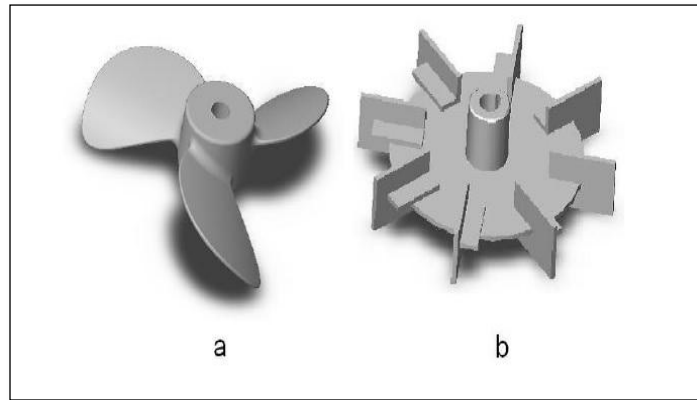


Figura 4. Impulsor de flujo axial (a), y de flujo radial tipo Rushton (b)

Fuente: Guardo, Alfredo "Simulación de una turbina radial mediante CFD FLUENT", tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, 2008.

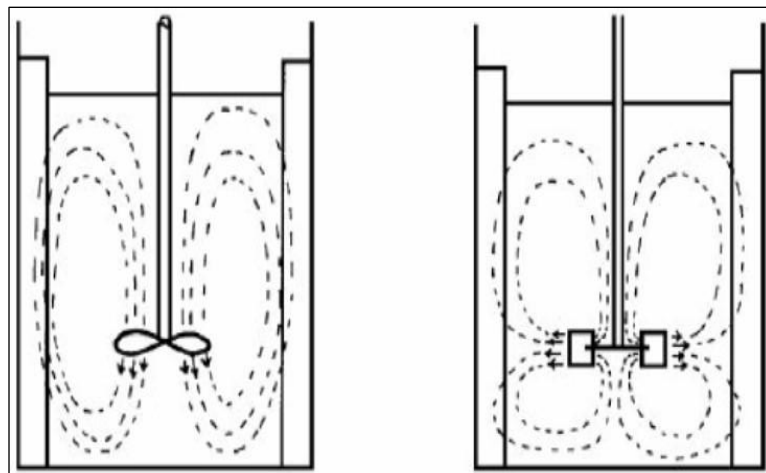


Figura 5. Patrón de flujo generado por una turbina axial, derecha: patrón de flujo generado por una turbina radial

Fuente: Guardo, Alfredo "Simulación de una turbina radial mediante CFD FLUENT", tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, 2008.

Existen tres tipos de agitadores más usados en la industria: de hélice, de paletas y de turbina. Cada uno de estos tipos comprende muchas variaciones y subtipos. En algunos casos son útiles agitadores especiales, pero con los tipos de agitadores mostrados se resuelve el 95 % de problemas de agitación fluidos.

2.2.4.1. Agitadores de Hélice

Los agitadores de hélice son agitadores de flujo axial, por lo general operan a altas velocidades y se emplean en líquidos poco viscosos. Las hélices más pequeñas, giran a una máxima velocidad rotacional, para velocidades de 1 150 o 1 750 rpm; Las grandes giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del impulsor, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque.

Los álabes de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño y de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección.

2.2.4.2. Agitadores de paletas

El más sencillo en cuanto a su geometría. Para problemas sencillos de agitación de fluidos, un agitador eficaz está formado por un impulsor de paleta plana, que gira sobre un eje vertical.

En el agitador el flujo de líquido tiene una componente radial grande en el plano de la paleta y también un gran tangencial. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Los agitadores de pala sencillos producen una acción de mezcla suave, que es con frecuencia la conveniente para el trabajo con materiales cristalinos frágiles. Son útiles para operaciones de simple mezcla, por ejemplo, la mezcla de líquidos miscibles o la disolución de productos sólidos. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas.

Las paletas se pueden adaptar a la forma del fondo del tanque, de manera que su movimiento pasa sobre la superficie del fondo con holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla.

Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar depósitos de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, pero no son buenos mezcladores.

La longitud del rodete o impulsor de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80 % del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud.

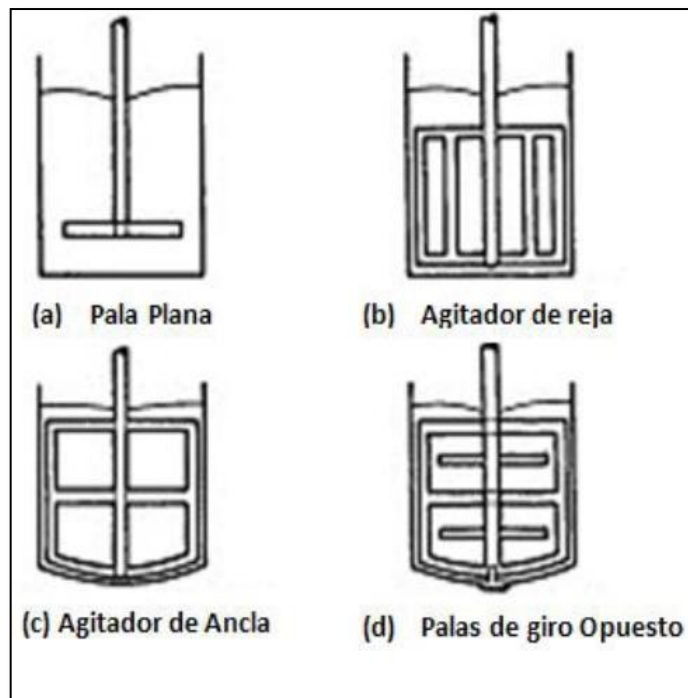


Figura 6. Tipos de agitadores de paletas

Fuente: Guardo, Alfredo "Simulación de una turbina radial mediante CFD FLUENT", tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, 2008.

2.2.4.3. Agitadores de turbina

Los agitadores de turbina son eficaces en intervalos de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado.

Las proximidades del impulsor se presentan zonas de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que deben evitarse por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

En cuanto a su diseño, la mayor parte de ellos se asemejan a agitadores múltiples y cortas paletas. Giran a elevadas velocidades sobre el eje vertical del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. Una turbina de pala inclinada (figura 7e) se emplea cuando la circulación global es importante. El rodete puede ser abierto, semi-cerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50 % del diámetro del tanque. El tipo de impulsor más representativo es el agitador de turbina semi-abierto,

conocido como agitador de disco con aletas (Turbina Rushton), que se emplea para dispersar o disolver un gas en líquido.

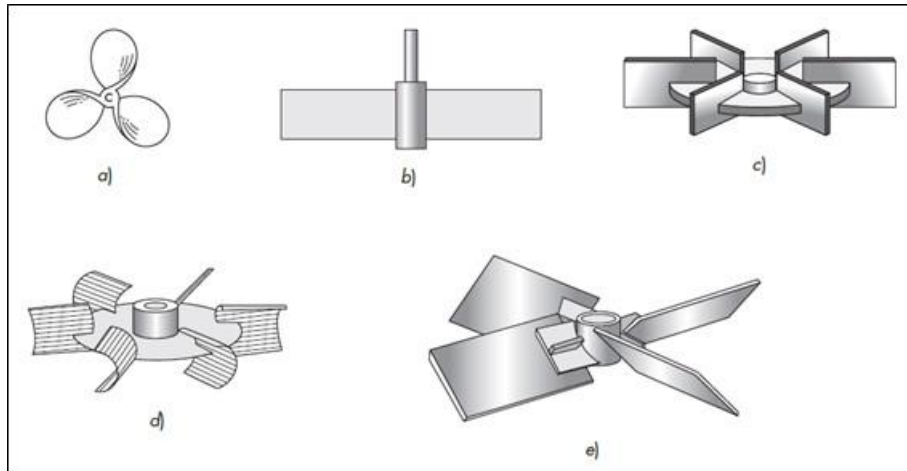


Figura 7. Agitadores para líquidos de viscosidad moderada:

a) Hélice marina b) turbina de pala recta c) turbina de disco o rodete semiabierto d) agitador de pala cóncava o rodete cerrado e) turbina de pala inclinada.

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química. Warren L. McCabe, Julian C. Smith y Peter Hariott, 2007.

2.2.5. Patrones de flujo

La forma en que se mueve un líquido en un tanque agitado depende de muchas cosas: del tipo de impulsor, de las características del líquido, especialmente su viscosidad; así como del tamaño y las proporciones del tanque, deflectores y el agitador. La velocidad del líquido en cualquier punto del tanque tiene tres componentes, y el patrón de flujo global en el

mismo depende de las variaciones en estos tres componentes de velocidad de un punto a otro. (figura 8)

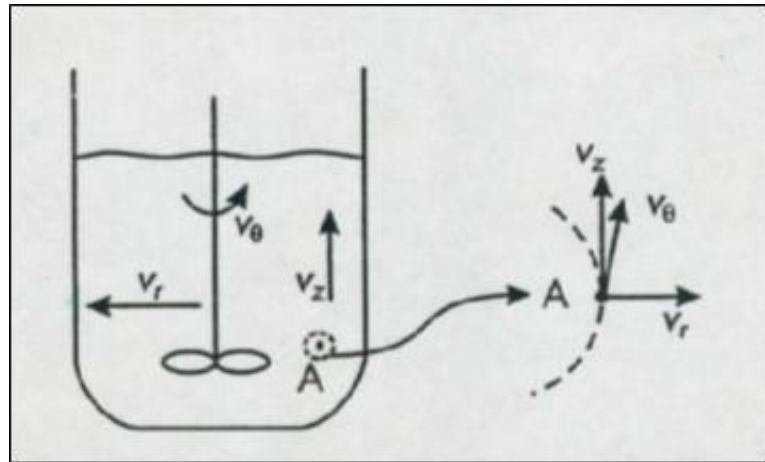


Figura 8. Componentes de la velocidad de un fluido en un tanque agitado: V_r componente radial, V_z componente longitudinal y V_θ componente rotacional.

Fuente: Operaciones de transferencia de cantidad de movimiento, Universidad Nacional de Misiones, Ing. Valeria Trela y Ing. Jorge Huk, 2015.

El primer componente de la velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del impulsor. El segundo componente es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. El tercer componente es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangente a la trayectoria circular alrededor del eje. En el caso usual de un eje vertical, los componentes radial y tangencial están en un plano horizontal, mientras que el componente longitudinal es vertical. Los componentes radial y longitudinal son útiles y proveen el flujo necesario para la acción de mezclado. Cuando el eje es

vertical y se localiza al centro del tanque, el componente tangencial es generalmente desventajoso para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en el líquido, como se ilustra en la figura 8 para una turbina de pala planas. Exactamente el mismo patrón de flujo se observa con un agitador o turbina de pala inclinada.

La turbulencia perpetúa la estratificación en varios niveles sin que exista flujo longitudinal entre ellos. Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga; desde ahí caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente, en vez de mezcla se produce la acción contraria, o sea, concentración.

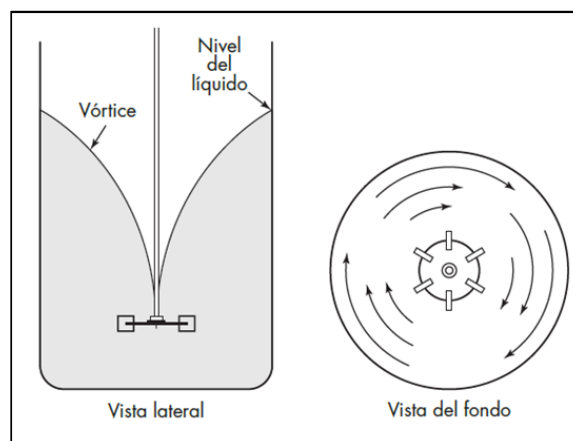


Figura 9. Patrón de flujo turbulento con una turbina de flujo radial en un tanque sin deflectores. (Según Oldshue.)

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química. Warren L. McCabe, Julian C. Smith y Peter Hariott, 2007.

2.2.5.1. Prevención de vórtices

Un vórtice es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. La componente tangencial del flujo sigue una trayectoria circular alrededor del eje, lo que crea un vórtice o remolino en la superficie del fluido. Esto puede evitarse por los siguientes métodos:

a) Impulsor separado del centro del tanque

Para tanques pequeños se puede posicionar el impulsor no centrado o desalineado del centro del tanque, como se muestra en la figura 10.

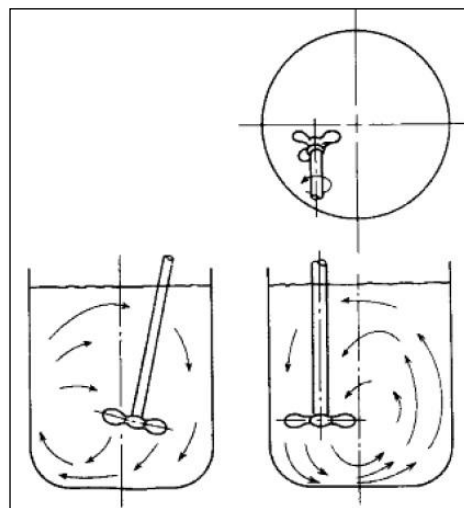


Figura 10. Agitador con el eje del impulsor no centrado

Fuente: Guardo, Alfredo "Simulación de una turbina radial mediante CFD FLUENT", tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, 2008.

En tanques medianamente grandes, el agitador puede montarse en la parte lateral del tanque, con el eje en un plano horizontal, pero formando un cierto ángulo con el radio, según se indica en la figura 11.

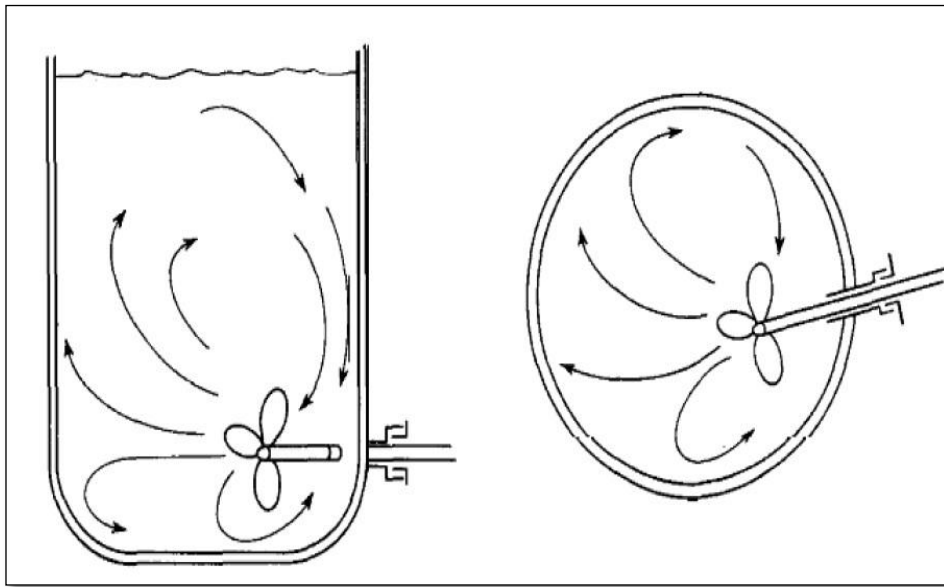


Figura 11. Agitador con el eje del impulsor horizontal

Fuente: Guardo, Alfredo "Simulación de una turbina radial mediante CFD FLUENT", tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, 2008.

b) Placas deflectoras

En los tanques de gran tamaño, con agitadores verticales, el mejor método existente es instalar placas deflectoras, que impiden el flujo rotacional, sin afectar al flujo radial y longitudinal. Un método

sencillo y eficaz de prevenir los remolinos, se consigue instalando placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En la figura 12 se representan placas deflectoras de este tipo, y el tipo de flujo. Excepto en tanques muy grandes, son suficientes cuatro placas deflectoras, para evitar los remolinos y la formación de vórtice

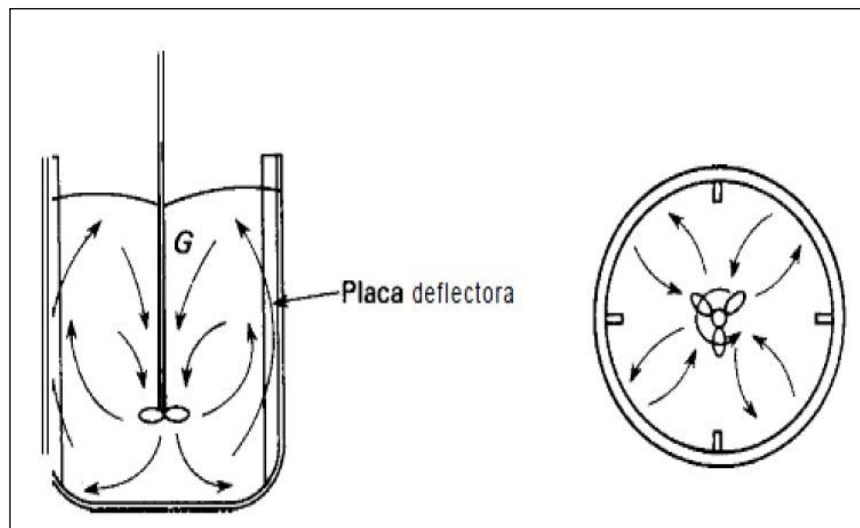


Figura 12. Tanque agitador con cuatro placas deflectoras

Fuente: Guardo, Alfredo "Simulación de una turbina radial mediante CFD FLUENT", tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, 2008.

2.2.6. Número de flujo del impulsor

Conocido como capacidad de bombeo, es un número adimensional que representa una idea del caudal que atraviesa en plano del impulsor. Un

agitador de turbina o de hélice es, en esencia, un impulsor de bomba que funciona sin carcasa y con flujos de entrada y salida no dirigidos. Las relaciones que controlan el funcionamiento de las turbinas son similares a las de las bombas centrífugas.

Para impulsores de flujo axial, tales como las turbinas de palas inclinadas, hélices marinas o turbinas de palas afiladas, que es la velocidad de descarga en dirección vertical medida inmediatamente debajo del impulsor. El número de flujo N_q se considera constante.

$$N_q = \frac{q}{nD_p^3} \quad [1]$$

Para el diseño de tanques agitados con deflectores se recomiendan los siguientes valores:

Para hélice marinas (paso cuadrado) $N_q = 0,5$

Para turbinas 4 palas con 45° $W/D_a = 1/6$ $N_q = 0,87$

Para turbina de disco $N_q = 1,30$

2.2.7. Consumo de potencia

Una consideración importante en el diseño de los tanques agitados es la potencia que se requiere para mover el impulsor. Cuando el flujo en el tanque es turbulento, la potencia necesaria se estima a partir del producto del flujo q generado por el impulsor y la energía cinética E_K por unidad de volumen de fluido.

$P = \text{Velocidad de flujo} \times \text{Energía cinética/Unidad de volumen}$

$$P = nD_p^3 N_q x E_K \quad [2]$$

2.2.7.1. Correlaciones de potencia

Para estimar la potencia que se requiere para hacer girar un impulsor dado con una velocidad determinada, es preciso disponer de correlaciones empíricas de la potencia (o del número de potencia) en función de otras variables del sistema. La forma de tales correlaciones se encuentra por análisis dimensional, en función de las medidas importantes del tanque y del impulsor, la distancia del impulsor desde el fondo del tanque, la profundidad del líquido, así como las dimensiones de las placas deflectoras

cuando se utilizan. Las variables que intervienen en el análisis son las medidas importantes del tanque y del impulsor, la viscosidad μ y la densidad ρ del líquido y la velocidad n . Es posible convertir todas las distintas medidas lineales en relaciones adimensionales, llamadas factores de forma.

Este grupo es proporcional al número de Reynolds calculado a partir del diámetro y de la velocidad periférica del impulsor. Ésta es la razón del nombre del grupo. A bajos números de Reynolds ($Re < 10$), el flujo viscoso prevalece en el tanque, y a $Re > 10\ 000$ el flujo es turbulento en todas partes. Existe una región de transición en los números de Reynolds intermedios.

El número de potencia N_p es análogo al factor de fricción o al coeficiente de arrastre. Es proporcional a la relación entre la fuerza de arrastre que actúa sobre una unidad de área del impulsor y la fuerza inercial. La fuerza inercial, a su vez, está asociada con el flujo de cantidad de movimiento correspondiente al movimiento global del fluido.

El número de Froude (Fr) es una medida de la relación entre la fuerza inercial y la fuerza gravitacional por unidad de área que actúa sobre el

fluido. Interviene en situaciones fluido dinámicas donde hay un movimiento de ondas significativo sobre la superficie del líquido. Es especialmente importante en el diseño de barcos. No es importante cuando se usan deflectores o cuando $Re < 300$. Los tanques sin deflectores rara vez se utilizan con bajos números de Reynolds, y entonces el número de Froude no se incluye en las siguientes correlaciones.

En la figura 13 se muestran las gráficas típicas del N_p en función del Re para tanques con deflectores ajustados con impulsores localizados centralmente.

La turbina inclinada con cuatro palas colocadas en un ángulo de 45° de inclinación registra aproximadamente 70 % de la potencia que la turbina estándar a bajos números de Reynolds, pero solamente alrededor de 20 % a altos números de Reynolds.

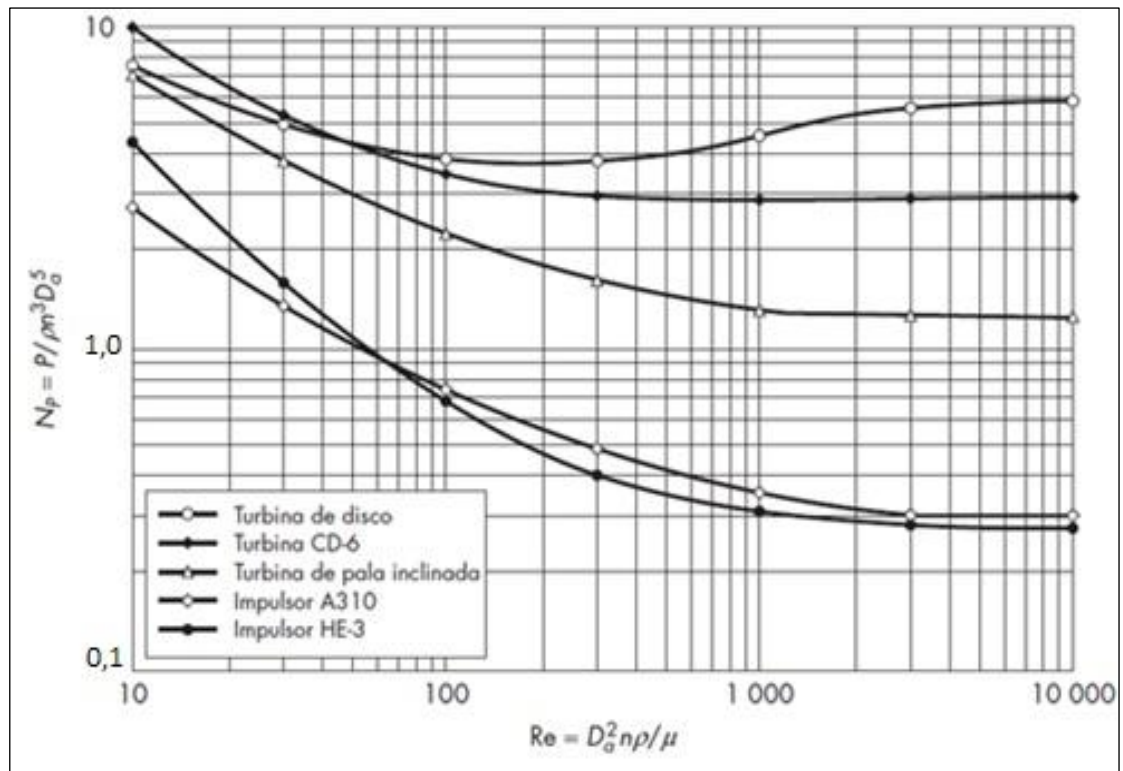


Figura 13. Número de potência N_p em função do número de Reynolds Re para turbinas e impulsores de alta eficiência.

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química. Warren L. McCabe, Julian C. Smith y Peter Hariott, 2007.

2.2.7.2. Cálculo de consumo de potencia

La potencia comunicada al líquido se calcula mediante la siguiente relación:

$$P' = N_p \times \rho \times \dot{N}^3 \times D_p^5 \quad [3]$$

Para números de Reynolds bajos, las líneas de Np contra Re coinciden para un tanque con o sin placas deflectoras, y la pendiente de la línea en coordenadas logarítmicas es -1 . Por lo tanto, $Np = \frac{K_L}{Re}$

Esto conduce a:

$$P' = K_L \mu \dot{N}^2 D_p^3 \quad [4]$$

El flujo es laminar en este intervalo, y la densidad no es más un factor. La ecuación (4) se utiliza cuando Re es menor de 10.

En tanques con placas deflectoras, para números de Reynolds superiores a aproximadamente 10 000, el número de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad ya no influye. En este intervalo, el flujo es totalmente turbulento y la formula se transforma a:

$$Np = K_T \quad [5]$$

De la cual

$$P' = K_T \mu \dot{N}^2 D_p^3 \quad [6]$$

En la tabla 2 se dan los valores K_T y K_L de las constantes para varios tipos de impulsores y tanques.

Tabla 2

Valores de las constantes K_L y K_T para tanques que tienen cuatro deflectores en la pared del tanque, cuya anchura es igual a 10 % del diámetro del tanque

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1,0	41	0,32
Paso 1,5	48	0,87
Turbina		
Disco de seis palas	65	5,75
Seis palas inclinadas 45°	-	1,63
Cuatro palas inclinadas 45°	44,5	1,27
Paleta plana, dos palas	36,5	1,70
Impulsor HE-3	43	0,28
Cinta helicoidal	52	-
Ancla	300	0,35

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química. Warren L. McCabe, Julian C. Smith y Peter Hariott

2.2.8. Números adimensionales

2.2.8.1. Número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds representa una medida de la magnitud relativa de los esfuerzos inerciales con respecto a los esfuerzos viscosos, es decir controla los efectos de la viscosidad; si Reynolds es pequeño, se

tiene flujo con una viscosidad dominante, lo que nos indica que, en el movimiento de las partículas, la dirección de la velocidad es gobernada por la viscosidad, el nombre que recibe este flujo es laminar.

Entonces, podemos decir que el Re es usado para determinar si el flujo es Laminar o Turbulento, se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{nD_p^2 \rho}{\mu} \quad [7]$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

n = Frecuencia.

D_p = Diámetro del impulsor.

ρ = Densidad del fluido.

μ = Viscosidad del fluido.

2.2.8.2. Número de potencia (Np)

Este número adimensional se encarga de establecer la relación existente entre el consumo de potencia generado por el impulsor, sobre la densidad del líquido, la velocidad de rotación del impulsor al cubo y su

diámetro a la cinco. Es decir, la razón de fuerzas externas implicadas en la agitación a fuerzas inerciales por unidad de volumen del fluido. Este número adimensional es resultado del esfuerzo necesario del impulsor para contrarrestar la fricción generada entre el fluido en movimiento y que retorna debido a las paredes tanto laterales y del fondo del tanque, así como la resistencia producida por los deflectores.

El cálculo se realiza con la fórmula:

$$Np = \frac{P}{\rho \dot{N}^3 D_p^5} \quad [8]$$

Donde:

Np = Número de potencia adimensional.

P = Potencia de arrastre de la propela.

\dot{N} = Frecuencia.

D_p = Diámetro del impulsor

ρ = Densidad del fluido.

2.3. CRITERIOS, DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EJE

Para el cálculo de un eje vertical se puede tomar como arreglo típico de un eje en voladizo. Las cargas hidráulicas en el eje son el resultado de

la torsión necesaria para girar el rotor y sistemas aleatorios o cargas hidráulicas laterales en impulsor. Para calcular el tamaño del diámetro del eje se utiliza la potencia del impulsor, par de torsión y las fuerzas hidráulicas y por lo tanto el tamaño de un eje dentro de los límites de tensión admisible.

2.3.1 Cálculo de la potencia requerida

Para el cálculo de la potencia de la propela P' , que representa la tasa de energía de disipación dentro del líquido. La potencia transmitida depende de la carga de mezcla en el agitador. Como esta carga se aumenta, la potencia a suministrar por el motor se aumenta. La potencia entregada al agitador se calcula a partir de la ecuación [9]. Sin embargo, la potencia nominal del motor P' es la que tiene que entregar la potencia P al agitador más la consideración de las pérdidas en la caja de engranajes, cojinetes y sellos.

$$P' = Np \times \rho \times \dot{N}^3 \times D_p^5 \quad [9]$$

Donde:

P' = Potencia de arrastre consumida por la propela (Watts)

Np = Número de potencia adimensional

ρ = Densidad final de la mezcla (kg/m^3)

$\dot{N} / 60 =$ Velocidad angular (rev/s)

$D_p =$ Diámetro del impulsor (m)

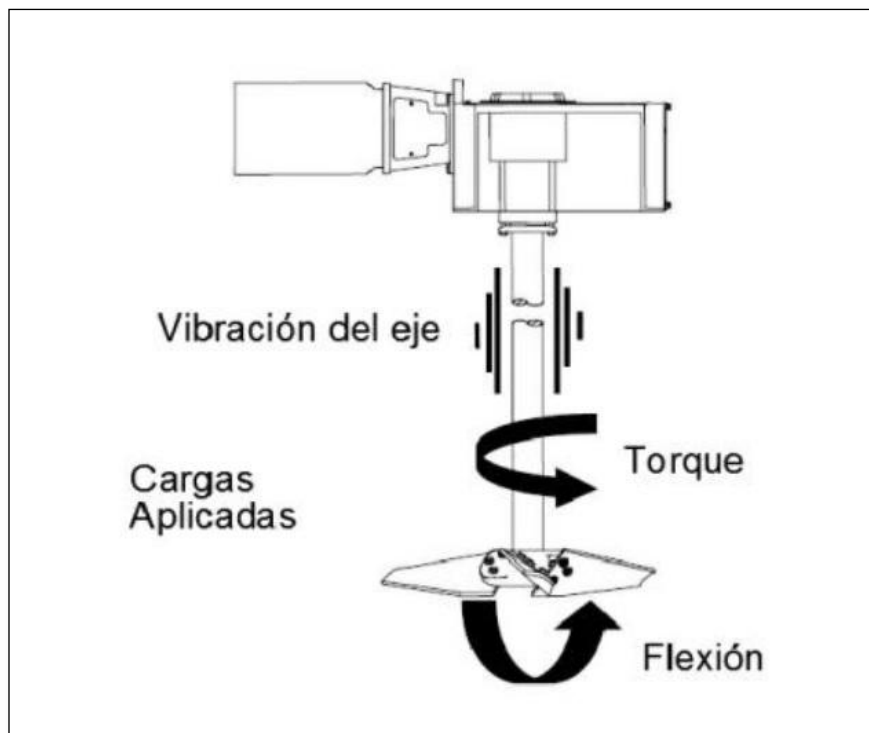


Figura 14. Fuerzas aplicadas sobre los ejes

Fuente: Handbook of Industrial Mixing, Edward L. Paul, Victor A. Atiemo-Obeng y Suzanne M. Kresta, 2003.

2.3.2 Cálculo del momento torsor

En aplicaciones prácticas son frecuentes los casos en que un momento torsor actúa simultáneamente, siendo este constante a lo largo del

eje ya que este es producido por una fuerza tangencial ubicada a una distancia r (radio del impulsor), ver Fig.14.

Por lo general, la velocidad angular de una máquina rotativa se expresa en rpm (revoluciones por minuto) y se denota por \dot{N} . Note que la velocidad es la distancia recorrida por unidad de tiempo y que la distancia angular recorrida es cuando se realiza cada revolución a $2\pi\dot{N}$, la velocidad angular de la maquina rotatoria es $\omega = 2\pi\dot{N}$ rad/min o $\omega = (2\pi \dot{N})$ rad/s.

Se considerar que una fuerza constante F que actúa en la dirección tangencial sobre la superficie exterior de una flecha de radio r que gira a una velocidad angular $\dot{\theta}$ (rpm). Note que el trabajo W es la fuerza multiplicada por la distancia y que la potencia P es el trabajo realizado por unidad de tiempo y, por lo tanto, la fuerza multiplicada por la velocidad

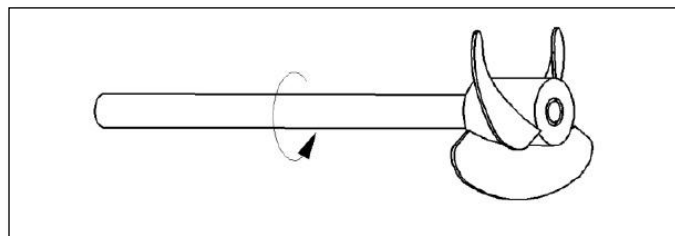


Figura 15. Trabajo del eje

Fuente: CENGEL, YUNUS y CIMBALA, JHON Mecánica de fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006.

$$\dot{W}_{flecha} = F \cdot v = F \cdot r \cdot \omega = M_t \cdot \omega \quad [10]$$

Donde:

\dot{W}_{flecha} = Trabajo de la flecha

F = Fuerza N.

v = Velocidad m/s.

r = radio m.

ω = velocidad angular en rad/s.

M_t = Momento torsor (torque) Nm.

$$\omega = 2\pi\dot{N}/60 \quad [11]$$

\dot{N} = Revoluciones por minuto rev/min.

ω = velocidad angular en rev/s.

Por lo tanto, la potencia transmitida por una flecha que gira a un rpm (\dot{N}) bajo la influencia de un momento aplicada de torsión M_t es:

$$P' = M_t \times \omega = M_t \times (2\pi \cdot \dot{N}/60) \quad [12]$$

$$M_t = \frac{P'}{\omega} = \frac{P'}{(2\pi \frac{N}{60})} \quad [13]$$

Donde:

P = Potencia, watts.

M_t = Momento torsor (torque) N.m.

ω = Velocidad angular, rev/s.

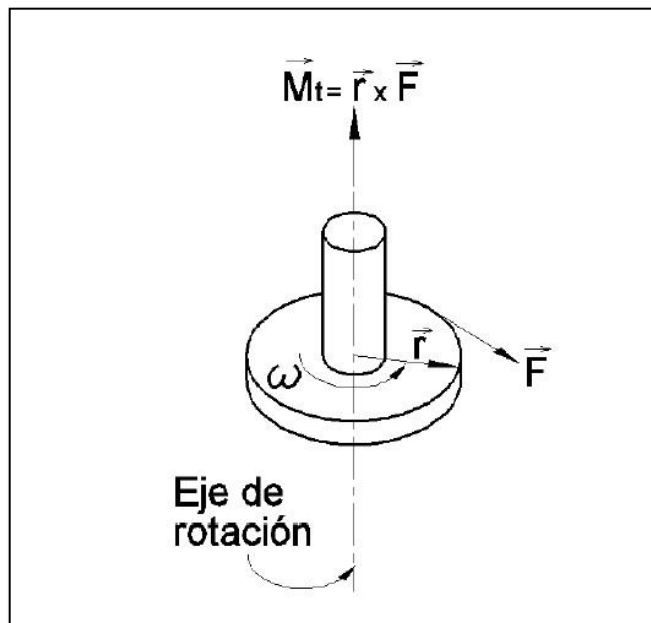


Figura 16. Momento torsor y fuerza tangencial

Fuente: CENGEL, YUNUS y CIMBALA, JHON Mecánica de fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006.

$$\frac{Mt}{r} = F \quad [14]$$

Donde:

F = Fuerza tangencial N.

r = Radio de la propela m.

Se debe seleccionar un factor conveniente para el torque, aumentar la carga torsional que resista esta masa que reacciona frente al torque, y asegurando que falle por la parte más débil y menos costosa, siempre protegiendo el eje.

2.3.3 Cálculo del momento flector

Con el diagrama de cuerpo libre de la Fig. 17 y el eje como condición de viga en voladizo, se encuentran por sumatoria de momentos y de fuerzas los correspondientes valores.

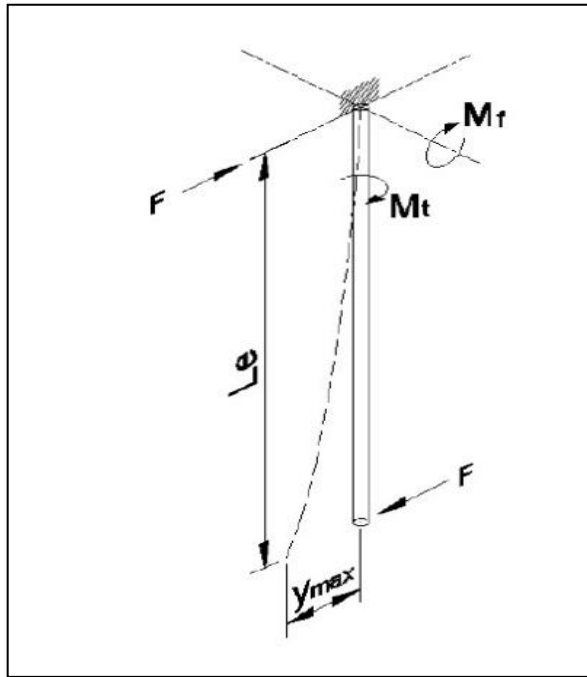


Figura 17. Cálculo del momento flector

Fuente: CENGEL, YUNUS y CIMBALA, JHON Mecánica de fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006.

$$M_f = F \cdot L_e \quad [15]$$

M_f = Momento flector (flexión) Nm.

F = Fuerza N.

L_e = Longitud de eje m.

La deflexión máxima ocurre y está dada en L_e máximo

$$y_{\max} = \frac{F.L_e^3}{3E.I} \quad [16]$$

Donde:

y_{\max} = Deflexión máxima (m)

F = Fuerza (N)

I = Inercia (m³)

E = Módulo de elasticidad (GPa)

Le = Longitud de eje (m)

2.3.4 Diseño del eje

Los esfuerzos sobre el eje se evalúan en los sitios potencialmente críticos. Por lo general, estas ubicaciones se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flector es grande, donde el par de torsión está presente, y donde existen concentraciones de esfuerzos.

Aplicando el teorema de Distorsión Von Mises para materiales dúctiles en este caso acero se resuelve la siguiente fórmula para diseño de ejes:

$$d = \left(\frac{16N_f}{\pi S_y} \left\{ (4M_f^2 + 3M_t^2)^{0,5} \right\} \right)^{1/3} \quad [17]$$

Donde:

d = Diámetro de eje m.

N_f = Factor de seguridad para el cálculo del diámetro.

M_f = Momento flector (flexión) Nm.

M_t = Momento torsor (o torque) Nm.

S_y = Esfuerzo de fluencia MPa.

2.3.5 Dimensionamiento del eje

El dimensionamiento del eje se lleva a cabo para un diámetro de eje en configuración de barra redonda, el cual se la ha calculado bajo las propiedades características del material y evaluado los esfuerzos y velocidades críticas. Al valor obtenido se le debe considerar que sea un diámetro estándar comercial, y comparando el valor de inercia correspondiente al diámetro calculado se selecciona el diámetro equivalente en estándares comerciales de barras redondas o tuberías

2.3.6 Diseño de ejes para el esfuerzo

No es necesario evaluar los esfuerzos en todos los puntos de un eje; es suficiente hacerlo en unas cuantas ubicaciones potencialmente críticas. Por lo general, estas ubicaciones se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzo. Por comparación directa de diferentes puntos a lo largo del eje, pueden identificarse unas cuantas ubicaciones críticas sobre las cuales puede basarse el diseño.

Un diagrama de cuerpo libre del eje permite determinar el par de torsión en cualquier sección. Con frecuencia, el par de torsión es relativamente constante en un estado de operación estable. El esfuerzo cortante debido a la torsión será mayor en superficies exteriores. Los momentos flexionantes sobre un eje pueden determinarse mediante diagramas de cortante y momento flector.

El cálculo de los valores de esfuerzos de momento flector para verificar la resistencia del material.

$$\sigma_{\max} = \frac{32M_f}{\pi d^3} \quad [18]$$

Donde:

σ_{\max} = Esfuerzo flector máximo MPa

D = Diámetro de eje m.

M_f = Momento flector (flexión) Nm.

$$\tau_{\max} = \frac{16M_t}{\pi d^3} \quad [19]$$

Donde:

D = Diámetro de eje m.

τ_{\max} = Esfuerzo cortante máximo MPa

M_t = Momento torsor (o torque) Nm.

2.4 DEPÓSITOS CILÍNDRICOS ABIERTOS CONTENIENDO LÍQUIDOS

Sea un depósito cilíndrico abierto de radio R que contiene un líquido de peso específico γ , suspendido de su parte superior. En este caso

$\rho_m = \infty$ y $\rho_t = R$. La tensión circunferencial se obtiene mediante la aplicación de la ecuación de Laplace

$$\frac{\sigma_t}{r} = \frac{p}{e}$$

$$\sigma_t = \frac{pR}{e}$$

Pero en este caso p varía en función de la cota y

$$p = \gamma(h - y)$$

Sustituyendo en la ecuación de Laplace, obtenemos

$$\sigma_t = \frac{\gamma(h - y)R}{e}$$

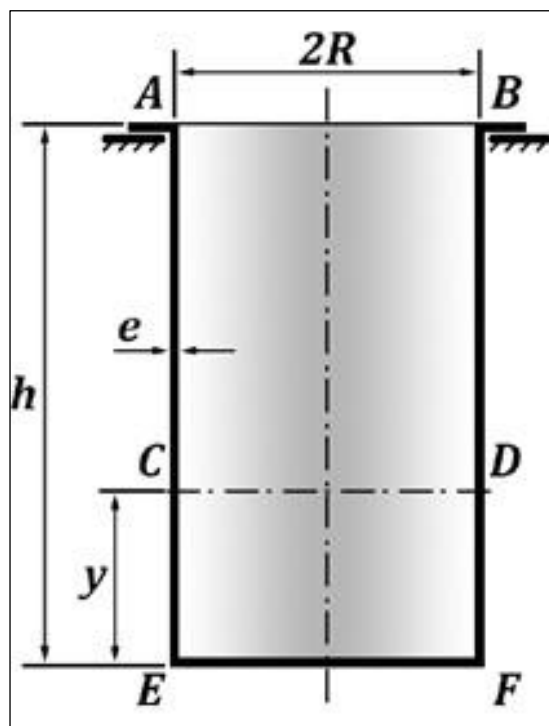


Figura 18. Cálculo de recipientes cilíndricos de pared delgada

Fuente: http://www.academia.edu/11042045/TEMA_VI_C%C3%A1lculo_de_recipientes_de_pared_delgada_1_Introducci%C3%B3n_Envolvente_s_de_peque%C3%B1o_espesor, 2016.

Es decir, la tensión circunferencial varía de forma lineal. El valor máximo se presenta en la parte inferior del depósito ($y = 0$)

$$\sigma_{t_{\max}} = \frac{\gamma h R}{e} \quad [20]$$

$$2\pi R e \sigma_m = P_z + P_l = \gamma (v_{ABCD} + v_{CDEF})$$

Donde:

P_l : Peso del líquido contenido por debajo del plano de corte

P_z : Fuerza resultante de la presión existente en el plano de corte.

Si A es el área de la intersección de la envolvente con el plano de corte, en el caso de líquidos:

$$P_z = \gamma h A$$

Donde γ es el peso específico del líquido y h es la distancia a la superficie libre.

Por lo tanto:

$$\sigma_m = \frac{\gamma h R}{2e} \quad [21]$$

La tensión meridiana es constante en todo el depósito.

Al no existir tensiones tangenciales sobre las caras del elemento considerado, las tensiones σ_m y $\sigma_{t_{m\acute{a}x}}$ son principales. A lo largo del espesor, entre las paredes interior y exterior de la envolvente, existe otra tensión principal que varía entre los valores $-p$ y 0 , Pero al tratarse de una envolvente de pared delgada, las tensiones meridiana y circunferencial son mucho mayores que p , por lo que se prescinde de esta última en comparación a las dos primeras, es decir, se considera igual a cero. Por lo tanto, el material de la envolvente se encuentra en un estado tensional plano. Así, se aplica el criterio de plasticidad de Von Mises, se obtiene

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_m^2 + \sigma_t^2 - \sigma_m \sigma_t)} < \sigma_u \quad [22]$$

2.5 ELEMENTO MECÁNICO FLEXIBLE

2.5.1 Correas

Las correas se utilizan para transmitir, mediante un movimiento de rotación, potencia entre árboles normalmente paralelos, entre los cuales no es preciso mantener una relación de transmisión exacta y constante. El hecho de no poder exigir una relación de transmisión exacta y constante se debe a que en estas transmisiones hay pérdidas debido al deslizamiento

de las correas sobre las poleas. Dicho deslizamiento no es constante, sino que varía en función de las condiciones de trabajo, es decir, de los valores de par transmitido y de la velocidad de la correa.

Las transmisiones por medio de correas son denominadas de tipo flexible pues absorben vibraciones y choques de los que sólo tienden a transmitir un mínimo al eje arrastrado. Son estas transmisiones adecuadas para distancias entre ejes relativamente grandes, actuando bajo condiciones adversas de trabajo (polvo, humedad, calor, etc.), son además silenciosos y tienen una larga vida útil sin averías ni problemas de funcionamiento. Las correas de ordinario se utilizan para transmitir potencia entre dos ejes paralelos. Las correas tienen las siguientes características.

- Se utilizan para largas distancias entre centros.
- Debido al deslizamiento de las correas, la razón de velocidades angulares no es constante.
- En correas planas, puede obtenerse el efecto de embrague trasladando la correa de una polea suelta a otra conectada.
- En correas trapezoidales se puede obtener alguna variación en la razón de velocidades angulares mediante una polea con lados apretados por un muelle.

- Se necesita algún ajuste de la distancia entre centros.
- La relación de velocidades angulares se puede cambiar mediante el empleo de poleas escalonadas.

2.5.2 Correas trapezoidales en “V”

Hechas generalmente con tejido de algodón o nylon, impregnadas con caucho. En contraste con las correas planas, las correas trapezoidales pueden ser utilizadas con poleas más pequeñas, acanaladas y distancias más cortas.

Además, se pueden utilizar varias de ellas con una sola polea acanalada. Son continuas, eliminándose así las juntas que debe hacerse en las correas planas. Según las normas ISO las correas trapezoidales se dividen en dos grandes grupos: las correas de secciones con los perfiles clásicos Z, A, B, C, D y E, y las correas estrechas de secciones SPZ, SPA, SPB Y SPC.

CAPÍTULO III

ANALISIS E IDENTIFICACION DE LA SOLUCION

3.1. ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN DE LA SALMUERA

3.1.1. Métodos de preparación de la salmuera

En el distrito de La Yarada Los Palos, hay tres métodos para la preparación de la salmuera en las bodegas de fermentación de la aceituna, en la empresa donde se ejecuta el proyecto, se realiza dos métodos; la agitación manual y mecánica, esta última de manera deficiente

3.1.1.1. Agitación manual

Esta agitación es característica en empresas de baja cantidad de procesamiento de la aceituna y de aquellas que tienen gran cantidad de procesamiento de aceituna y no están utilizando un agitador mecánico.



Figura 19. Agitador manual

Fuente: Recopilación propia, 2016

3.1.1.2. Agitación mediante malla sujeta al recipiente

Este método consiste en utilizar una malla sujeta al tanque de preparación y la sal es vertida sobre la malla, y con una bomba hidráulica se inyecta agua sobre la sal para disolverla.

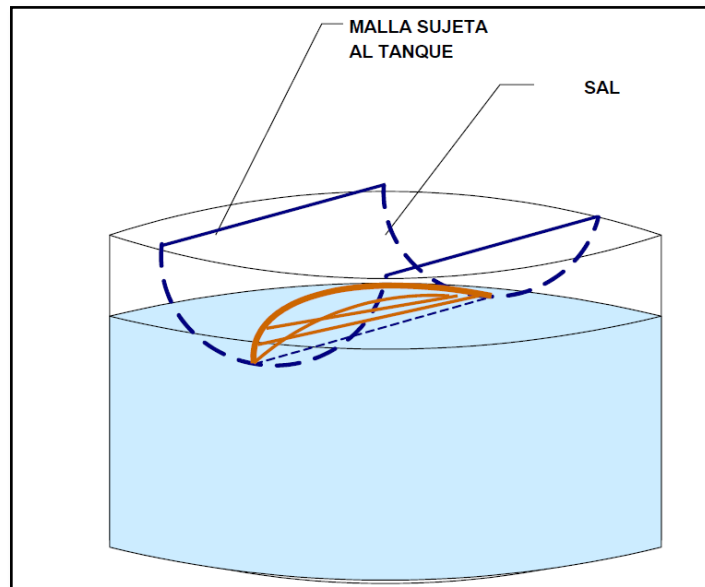


Figura 20. Agitación mediante malla sujeta al tanque

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.1.1.3 Agitación mediante un equipo de agitación mecánica

Este equipo es la novedad en los últimos años para la preparación de la salmuera, sin embargo, se detectó que este equipo ha sido fabricado sin orientaciones técnicas de diseño y no tiene buen rendimiento.



Figura 21. Agitación mediante equipo de agitación

Fuente: Recopilación propia, 2016.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE AGITACIÓN

En esta parte del capítulo, se detalla los elementos que componen el sistema de agitación mecánica que se encontró en la bodega de procesamiento de aceituna, lo que consideramos como objetivo se optimizará.

3.2.1 Recipiente o tanque mezclador

Este recipiente vertical cilíndrico cónico sirve para la dilución de la sal con agua. En el centro del tanque se ubica un eje con impulsor tipo

paleta. La capacidad del tanque de agitación es mayor a la capacidad de mezcla, la capacidad nominal de agitación es de $1,6 \text{ m}^3$. El material de fabricación del recipiente es de poliéster y fibra de vidrio, de 3 mm de espesor y no contiene placas deflectoras.

3.2.2 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión es mediante faja o correa de tipo V con poleas de aluminio; las cuales transmitirán la potencia entregada por el motor eléctrico al eje del impulsor y esta es aprovechada por el impulsor para la agitación. Se reduce la velocidad angular mediante este sistema de transmisión y tener mayor torque.

3.2.2.1 Eje propulsor

El eje de propulsor está en posición vertical, en el extremo superior, está conectado a una polea de 101,6 mm (4 pulg), para sujetar el eje propulsor a la estructura se utiliza dos chumaceras, en el extremo inferior del eje se encontró 2 placas con forma de paletas unidos al eje macizo mediante soldadura.

3.2.2.2 Paletas

El impulsor del agitador encontrado, comprende de dos paletas paralelas al eje axial de 2,54 cm de diámetro, que están soldadas. Sus dimensiones son de 12 cm de largo y 2,5 cm de ancho, formando un diámetro de impulsor 7,5 cm y tiene un espesor de 3 mm. Esta disposición de las paletas no cumple técnicamente para una eficiente agitación o mezcla para este proceso de dilución. Este agitador se encuentra a 7 cm del fondo del recipiente.

3.2.2.3 Soporte o chumacera

El tipo de soporte es de pie, el cual aloja al rodamiento Y, con su respectivo manquito. Estos elementos están sujetos a la estructura del agitador de acero inoxidable, mediante pernos.

3.2.2.4 Faja de transmisión

La correa de transmisión es de tipo V, es del tipo: A41 13x1041 Li/1070LdL = L, tiene una relación de transmisión de 1,6 y la distancia entre ejes es de 43 cm.

3.2.2.5 Poleas

Son dos poleas, la polea motriz o conductora es de 6,35 cm (2,5 pulg) de diámetro, y la polea conducida es de 10,16 cm (4 pulg). Los cuales transmiten la potencia entregada por el motor eléctrico, mediante la faja, al eje del agitador. El material de fabricación de las poleas es de aluminio, para la sujeción a los ejes se utilizan las chavetas rectangulares.

3.2.2.6 Motor de accionamiento

Es un motor eléctrico de tipo jaula ardilla, esta importante máquina de marca RIVAL, es de 0,746 kW (1 HP) de potencia, 1 720 RPM, 60 Hz y es de conexión monofásica 220 V. Su carcasa con patas para la fijación a la estructura, la punta del eje es para arriba y de 2,54 cm (1 pulg) de diámetro.

3.2.2.7 Otros elementos complementarios

Se verificó que hay 4 pernos de sujeción del motor de accionamiento con la estructura y 4 pernos para sujetar a dos soportes o chumaceras de pie.

3.2.3 Estructura de soporte

La estructura está fabricada totalmente de acero estructural, esta sostiene al motor y al eje propulsor mediante los soportes de pie, en los cuales se utilizaron pernos para su sujeción. Esta estructura es la que va montada al recipiente de agitación, cuenta con dos topes con la misma medida del diámetro del recipiente, para evitar el deslizamiento del equipo de agitación. El material utilizado es acero inoxidable en calidad AISI 304, tubería rectangular de 50 x 25 mm y 60 x 30 mm.



Figura 22. Estructura del agitador

Fuente: Recopilación propia, 2016.

3.2.4 Evaluaciones preliminares

En esta etapa se realizó la inspección técnica a la máquina encontrada, como lo indica la tabla 3:

Tabla 3

Inspección técnica del equipo encontrado

INSPECCIÓN TÉCNICA	
Elementos	Dimensiones
Velocidad del motor eléctrico	1 720 RPM
Velocidad en el eje de transmisión	1 075 RPM
Diámetro de la polea motriz o conductora	6,35 cm (2,5 pulg)
Diámetro de la polea conducida	10,16 cm (4 pulg)
Distancia entre ejes	0,43 m
Tipo de correa	A 41
Longitud del eje de transmisión	1,55 m
Diámetro de la propela	7,5 cm
Diámetro mayor del recipiente	1,41 m
Diámetro menor del recipiente	1,25 m
Altura del recipiente	1,19 m
Potencia del motor eléctrico	0,746 kW (1 HP)

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Vista del agitador encontrado

Fuente: Recopilación propia, 2016.

3.3 MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN

El presente trabajo de estudio está orientado a optimizar y mejorar técnicamente el funcionamiento de este sistema de agitación, finalmente realizar el rediseño del mismo. La dilución de la sal grueso AB 020 con agua, tiene el objetivo de obtener una solución química que sirve para la fermentación de la aceituna.

3.3.1 Optimización del recipiente de agitación

Al recipiente de agitación le corresponde 4 baffles o placas deflectoras que están distribuidas a 90° respecto al centro, para evitar la aparición de vórtices y mejorar la eficiencia de la mezcla o agitación. Estas placas son del mismo material del recipiente. Asimismo, para evitar remolinos se reduce la velocidad angular con la que gira el eje propulsor.

3.3.2 Optimización del eje propulsor

El eje de transmisión del agitador mecánico existente está unido al impulsor mediante soldadura, lo cual no permite el desmontaje para su mantenimiento. Se rediseña el eje del impulsor y se sujeta la turbina en el extremo inferior del mismo mediante chavetas. Se calcula el diámetro correcto y la longitud apropiada del eje propulsor. Para el mantenimiento y montaje del eje impulsor, se separa del eje de transmisión mediante una brida fija circular, lo cual permite que el operador pueda desmontar y montar el eje impulsor.

3.3.3 Optimización de las paletas o turbina

Se encontró en la máquina de agitación una propela inadecuada, el cual no permite la agitación eficiente, sin embargo, se seleccionó el tipo de agitador o impulsor correcto para el proceso de dilución, según el tipo de flujo requerido para este proceso, se selecciona un impulsor de turbina de cuatro (4) paletas e inclinadas a 45° y el diámetro del impulsor será mayor al anterior. Con estas modificaciones se obtiene flujos axiales y radiales, los cuales son recomendados para este tipo de agitación o mezcla de líquido – sólido.



Figura 24. Paleta del agitador encontrado

Fuente: Recopilación propia, 2016.

3.3.4 Optimización estructural del sistema de agitación

La estructura del agitador como se describió anteriormente, no tiene un soporte de apoyo en la superficie (suelo), lo que dificulta al operador en el montaje o instalación del agitador sobre el recipiente de agitación. Para mejorar este equipo de agitación en su operación e instalación, se coloca soportes tubulares en las cuatro esquinas de la estructura con sus respectivas ruedas con freno.

3.4 ANALISIS EXPERIMENTAL

3.4.1 Balance de masa

Efectuada por el método densímetro, con el densímetro Baumé, se realiza un balance de masa para la fermentación de la aceituna, para precisar la concentración deseada, el cual se determina con la siguiente fórmula.

$$Kg_{SAL} = \frac{(^{\circ}Be_f - ^{\circ}Be_i) \times 1,25 \times V}{100} \quad [23]$$

Donde:

Kg_{SAL} : Cantidad de sal a añadir. (X)

$°Be_f$: °Be a los que se quiere llegar

$°Be_i$: °Be inicial (obtenido de la lectura)

1,25: Constante.

V : Volumen de Solución

Tabla 4

Balance de masa

BALANCE DE MASA	
Volumen del recipiente de fermentación (m ³)	3,5
Variedad de aceituna negra	Sevillana
Peso de aceituna (kg)	2 300
Cantidad de Salmuera (m ³)	1,2
Salinidad (°Bé)	8,0-10
Ph	3,5

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Cálculo del tiempo de preparación de la salmuera

Para calcular el tiempo de preparación de la salmuera, se analizó y midió el tiempo de operación de la agitación y preparación de los insumos a mezclar. Con una bomba de centrifuga se llena agua al recipiente de agitación, simultáneamente se agrega cloruro de sodio, o sal industrial. En las siguientes tablas se observan los ingredientes para la preparación de la salmuera y cálculos experimentales del tiempo de agitación manual y mecánica.

3.4.2.1 Tiempo de preparación manual de la salmuera

El recipiente de agitación tiene diámetro mayor y menor de 1,41m y 1,25m respectivamente, de altura de 1,2 m. La altura de líquido agitado es 1,1 m, la herramienta de agitación es un palo y con un barrote delgado de madera de 20 cm, forman una "T", unidos mediante clavos.

Tabla 5*Tiempo de preparación manual de la salmuera*

TIEMPO DE PREPARACIÓN MANUAL DE LA SALMUERA	
Volumen del recipiente agitado (m ³)	1,6
Volumen de trabajo (m ³)	1,3
Cantidad de personas	1
Cantidad de agua (m ³)	1,3
Cantidad de NaCl (kg)	187
Temperatura (K)	291,15 (18 °C)
Salinidad (°Bé)	10
velocidad de rotación manual (rpm)	40
Tiempo de llenado de agua y sal (h) sin bomba	2
Tiempo de agitación (min)	20
Tiempo total de preparación de la salmuera (min)	140

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2 Tiempo de preparación mecánica de la salmuera

El recipiente de agitación tiene un diámetro promedio de 1,30 m y de altura de 1,2 m. La altura de líquido agitado es 0,8 m medida que es menor a la altura del líquido agitado manualmente. Esta agitación tiene las

siguientes deficiencias: se genera vórtice forzado y el 40 % de la sal no es disuelta, porque la fuerza centrífuga del agitador lo aleja a la sal en el fondo redondeado del recipiente.

Tabla 6

Tiempo de preparación mecánica de la salmuera

TIEMPO DE PREPARACIÓN MECÁNICA DE LA SALMUERA	
Volumen del recipiente agitador (m ³)	1,6
Volumen de trabajo (m ³)	1
Potencia del motor (HP)	1
Diámetro del agitador (cm)	7,5
Cantidad de agua (m ³)	1
Cantidad de NaCl (kg)	187
Temperatura (K)	291,15 (18 °C)
Salinidad (°Bé)	10
Altura del propulsor del fondo del tanque (cm)	7
velocidad de agitación (rpm)	1 075
Tiempo de llenado de agua y sal (h) sin bomba	2
Tiempo de agitación (min)	5
Tiempo total de preparación de la salmuera (min)	125

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Relaciones de potencia de arrastre y diámetro del impulsor.

Con impulsor de 4 palas inclinadas a 45° y la fórmula de número de potencia, ecuación [9] se analizó la relación.

Tabla 7

Relación de potencia de arrastre y diámetro del impulsor

RELACIÓN DE POTENCIA DE ARRASTRE Y DIÁMETRO DEL IMPULSOR		
Densidad final del fluido (kg/m ³)	1 200	
Número de potencia	1,27	
Velocidad de rotación (rev/seg) (662 rpm)	11,033	
Díámetro del impulsor (m)	Potencia de arrastre (w)	Potencia de arrastre (HP)
0,12	50,93	0,07
0,14	110,08	0,15
0,16	214,62	0,29
0,18	386,75	0,52
0,2	654,96	0,88
0,22	1 054,82	1,41
0,24	1 629,75	2,18
0,26	2 431,83	3,26
0,28	3 522,54	4,72
0,3	4 973,61	6,66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8*Relación de potencia de arrastre y diámetro del impulsor*

RELACIÓN DE POTENCIA DE ARRASTRE Y DIÁMETRO DEL IMPULSOR		
Densidad final del fluido (kg/m ³)	1200	
Número de potencia	1,27	
Velocidad de rotación (rev/seg) (1075 rpm)	17,917	
Diámetro del impulsor (m)	Potencia de arrastre (w)	Potencia de arrastre (HP)
0,12	218,12	0,29
0,14	471,43	0,63
0,16	919,14	1,23
0,18	1 656,32	2,22
0,2	2 804,99	3,76
0,22	4 517,46	6,05
0,24	6 979,70	9,35
0,26	10 414,72	13,96
0,28	15 085,89	20,22
0,3	21 300,37	28,54

Fuente: Elaboración propia

Las tablas anteriores, muestran que, a mayor diámetro del impulsor, incrementa la potencia de arrastre y cuando la velocidad de giro disminuye, decrece la potencia de arrastre o consumo de potencia.

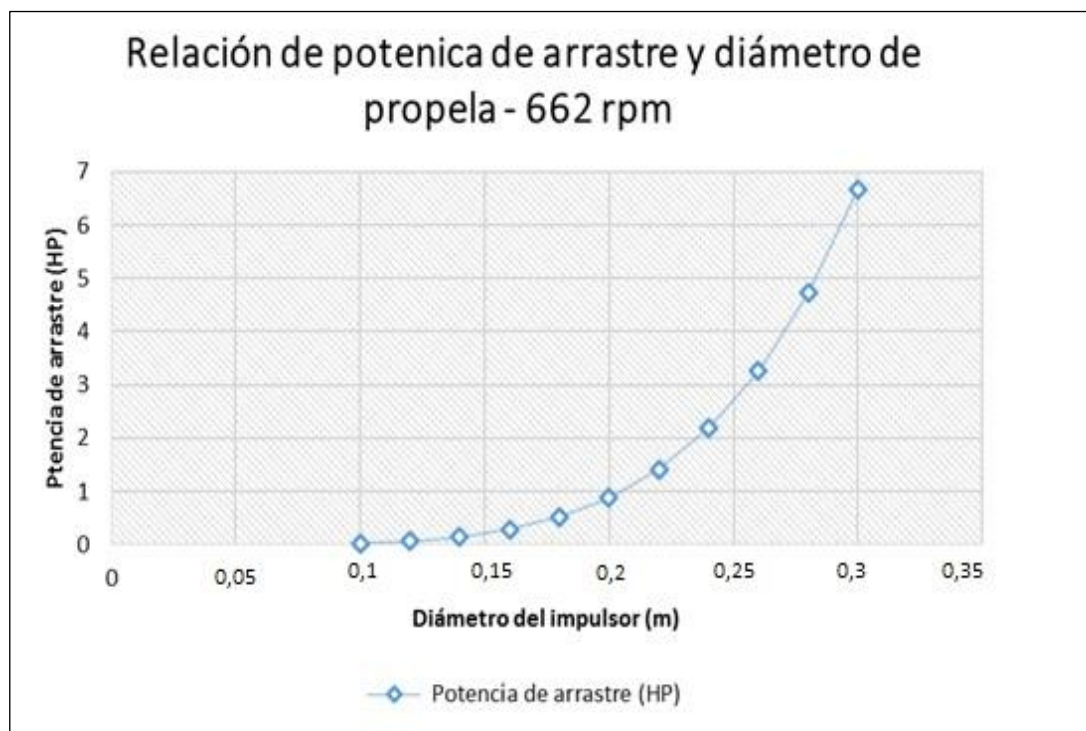


Figura 25. Potencia de arrastre vs diámetro del impulsor I

Fuente: Elaboración propia, 2016.

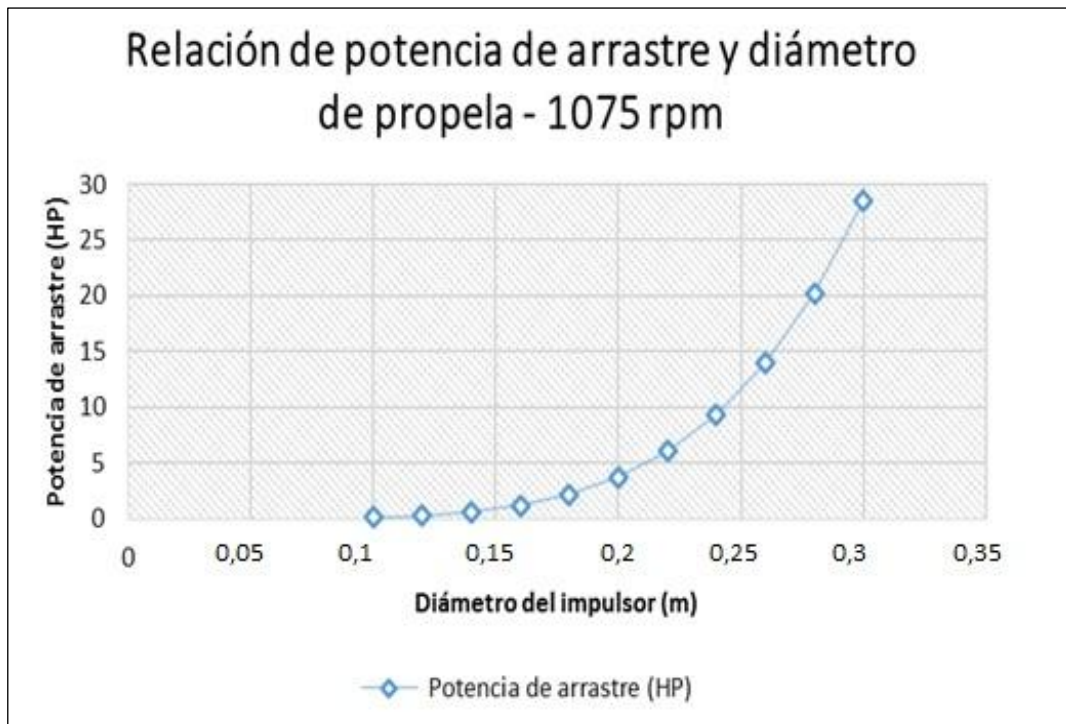


Figura 26. Potencia de arrastre vs diámetro de propela II

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.5 ANÁLISIS PRESUPUESTAL

A continuación, se detalla el costo para la fabricación del sistema de agitación que se propone, se indica el precio de los materiales, accesorios y la mano de obra.

3.5.1 Costo del sistema de agitación

En los siguientes cuadros se muestran los diferentes precios de los materiales de construcción de acero, elementos de máquina y la mano de obra para la construcción del sistema de agitación.

Tabla 9

Costo de materiales del sistema de agitación

Materiales sistema de agitación	Cant.	Costo unitario	Costo total
Tubo rectangular AISI 304 - 50 x 25 x 1.5mm	1	140	140
Tubo rectangular AISI 304 - 60 x 30 x 1.5mm	3	140	420
Plancha AISI 316L - 6 mm (1/4 pulg)	0,2	50	10
Barra redonda AISI 316L – D 25.4mm	0,4	80	32
Plancha AISI 316L - 4,7 mm (3/16 pulg)	0,2	60	12
		Total	S/. 614.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10*Costo de accesorios*

Accesorios	Cant.	Costo unitario	Costo total
Chumaceras o soporte de Pie SKF	2	125	250
Chaveta cuadrada 6x6x35mm	3	10	30
Pernos AISI 304 -D	10	1	10
Motor trifasico 220/380/440 V- 1,1 kW (1.5 HP) – 1 660 rpm	1	480	480
Arandelas AISI 304-D	12	0,5	6
Recipiente de agitacion	1	500	500
Poleas de 101,6 mm (4 pulg) y 63,6 mm (2,5 pulg)	2	30	60
Correas de Transmisión en V - A48	1	15	15
Rueda industrial	4	60	240
Total accesorios			S/. 1 591,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11*Costo de mano de obra*

Mano de Obra	Costo Total
Soldeo con aporte TIG 3 mm	S/. 80,00
Operarios 8hx1día	S/. 80,00
Corte de tubos y barras	S/. 80,00
Conexión de Instalaciones eléctricas	S/. 80,00
Supervisión 8hx1día	S/. 100,00
Otros	S/. 100,00
Total, mano de obra	S/. 520,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12*Costo de fabricación total del sistema de agitación*

MÁQUINA	COSTO FABRICACIÓN	UTILIDAD 30%	IGV 18%	COSTO DE VENTA
Sistema	S/. 2 725,00	S/. 817,50	S/. 490,50	S/. 4 033,00
Agitador				

Fuente: elaboración propia

Luego del análisis presupuestal realizado, se determinó el costo de venta del sistema de agitación para la preparación de la salmuera.

CAPÍTULO IV

DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

Para el diseño del sistema de agitación se toma las siguientes condiciones:

- La capacidad diaria (época de cosecha) de fermentación de la aceituna, requiere 1 500 litros de salmuera para sus procesos de maceración.
- Las propiedades físicas y químicas de los ingredientes a mezclar, en este caso, el cloruro de sodio, el agua y otros aditivos.
- Las condiciones de trabajo para el operario.

El recipiente de agitación propuesto es de 950 litros de capacidad nominal, construido de material de poliéster con fibra de vidrio.

4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL RECIPIENTE

El recipiente que se diseña es de capacidad 0,95 m³ nominal. La forma del recipiente tiene un cuerpo cilíndrico, fondo tipo toriesférico y no

contará con cabezal de cubierta. Se eligió el cuerpo vertical tipo cilíndrico cónico porque su simetría facilita una buena distribución de tensiones y nos permite un cálculo sencillo de las mismas, además de proporcionarnos varias aplicaciones y sencillez de construcción.

4.1.1 Parámetros iniciales de diseño del recipiente

A continuación, se describe los parámetros de diseño:

- Volumen de diseño = $0,95 \text{ m}^3$
- Efectos de corrosión
- Proceso fabricación con poliéster y fibra de vidrio
- Densidad de la salmuera = $1\,200 \text{ kg/m}^3$
- Densidad del agua = $1\,000 \text{ kg/m}^3$
- Viscosidad del agua = $0,001 \text{ kg/(m.s)}$
- Viscosidad de la mezcla o salmuera = $0,002 \text{ kg/(m.s)}$

4.1.2 Selección de material

La elección del material a utilizar en base a los siguientes factores:

- Las características corrosivas del fluido contenido en el recipiente.
- El costo y disponibilidad del material

El material para la construcción del recipiente de agitación es de resina de poliéster con fibra de vidrio, uno de los materiales compuestos más habituales, el procesado de este material se puede llevar a cabo a través de diferentes procesos. El proceso más habitual es el laminado a mano.

Para entender las propiedades finales del laminado, se tiene en cuenta las propiedades de la resina y de la fibra por separado, y el porcentaje de cada una de ellas que conseguimos en nuestro laminado. En el siguiente gráfico se observa cómo se comportarían las propiedades finales de la pieza, en función de las propiedades iniciales de las materias primas empleadas, para un porcentaje dado de resina y fibra.

Tabla 13

Propiedades de la resina poliéster con fibra de vidrio

Propiedades de la resina poliéster con fibra de vidrio	
Porcentaje de fibra en peso	20 – 70 %
Densidad (g/cm ³)	1,4 - 2,1
Resistencia a la Flexión	110 – 1 750
Resistencia a la Tracción (MPa)	60 – 1 200
Módulo de Tracción (MPa)	5,0 - 50
Resistencia a la compresión (MPa)	110 - 500

Fuente: <http://www.gazechim.es/blog/132-propiedades-resina-poliester-y-fibra-de-vidrio.html>, 2016.

4.1.3 Espesor del recipiente de agitación

El espesor del recipiente encontrado es de tres (3) mm, considerando los efectos causados por la corrosión y la fuerza que se genera en la pared de del recipiente, se incrementa el espesor del recipiente en dos (2) mm como margen de corrosión.

Entonces se verifica el espesor con el cálculo descrito en el acápite (2.4)

Utilizando las ecuaciones [20] y [21]

$$\sigma_{t_{\max}} = \frac{\gamma h R}{e}$$

$$\sigma_m = \frac{\gamma h R}{2e}$$

$$\sigma_{t_{\max}} = \frac{1\,000(1)(0,5)}{(0,005)}$$

$$\sigma_m = 1\,MPa$$

La tensión meridiana:

$$\sigma_m = \frac{1\,000(1)(0,5)}{2(0,005)}$$

$$\sigma_m = 0,5\,MPa$$

Finalmente, se aplica el criterio de plasticidad de Von Mises, ecuación [22]:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - \sigma_m \sigma_t} < \sigma_u$$

$$\sigma_e = \sqrt{(0,5)^2 + 1^2 - (0,5)(1)} < \sigma_u$$

$$\sigma_e = 0,86 \text{ MPa} < \sigma_u$$

σ_u : Resistencia a la tracción o límite elástico del material

$$\sigma_u = 60 \text{ MPa}$$

Se comprueba que el material del recipiente es lo suficientemente resistente a la presión interna.

4.1.4 Cálculo del tamaño óptimo del recipiente.

Una vez seleccionado el material de construcción, el margen por corrosión, se puede abordar el diseño mecánico del recipiente. La geometría que se adopta para el recipiente será aquella que minimice el problema de zonas no agitadas (zonas muertas), por lo que se instala fondos toriesféricos, lo cual facilita la agitación de la solución.

La relación óptima de la longitud del diámetro puede hallarse mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Volumen: } V_D = \pi \left(\frac{D_m}{2}\right)^2 H_1$$

$$V_D = 0,95 \text{ m}^3$$

$$H_1 = 1 \text{ m}$$

$$0,95 \text{ m}^3 = \pi \left(\frac{D_m}{2}\right)^2 1 \text{ m}$$

$$D_m = \sqrt{\frac{3,8}{\pi}}$$

$$D_m = 1,05 \text{ m}$$

El diámetro medio del recipiente es $D_m = 1,05 \text{ m}$. Por lo tanto, el diámetro mayor será de 1,1 m y diámetro menor o inferior es de 1 m, por tratarse un recipiente semicónico.

4.1.5 Cálculo de la altura total del tanque

La altura del líquido es aproximada igual al diámetro del tanque. Por criterio se asume que la altura del recipiente sea $H_1 = 1,1 \text{ m}$. El sistema de agitación no cuenta con estibación mecánica por lo tanto se recurre a estibadores manuales y para ello la altura de estibación será menor a altura media de los varones, recordando que los sacos de polipropileno de cloruro de sodio son de 50 kg. La altura a elevar de dichos sacos será 1,1 m del

nivel de terrero, altura máxima del recipiente de agitación, el cual no cuenta con cubierta o tapa.

$$H_1 + H_v = H_t$$

H_v = Altura del volumen vacío del recipiente.

H_1 = Altura del volumen de operación.

H_t = Altura total de diseño del recipiente

$$H_1 + H_v = H_t$$

$$1 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = H_t$$

$$H_t = 1,1 \text{ m}$$

El recipiente de agitación tiene 1,1m de altura total, en el proceso de la preparación de la salmuera se puede utilizar un taburete escalera, de tres gradas, el cual facilita al personal en agregar la sal industrial al recipiente de agitación. La altura del volumen vacío del recipiente, es relativo, conforme al requerimiento de cantidad de preparación de la salmuera, 10 cm de altura, del volumen que no es utilizado, previene el rebalse de la solución de agitación por medidas de seguridad.



Figura 27. Recipiente de agitación

Fuente: Recopilación propia, 2016.

4.2 DISEÑO DEL AGITADOR MECÁNICO

El diseño sistema de agitación dispone de un gran número de elecciones sobre el tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque, el número y dimensiones de las placas deflectoras, tipo de impulsor y sistema de transmisión por fajas y poleas, cada una de estas decisiones afecta a la velocidad de circulación del líquido y el consumo de potencia.

4.2.1 Consideraciones para el diseño

Para el diseño del sistema de agitación se realizará las siguientes consideraciones:

- Las características del agua y de la sal granulada.
- El tipo de flujo que se produce en el tanque, en este caso se asumirá un flujo turbulento.
- Realizado la selección del tipo de flujo se hallará la potencia de accionamiento para el cálculo del eje de rotación.
- Se utilizará un impulsor adecuado según el proceso que se realizará.
- Para hallar las dimensiones del eje impulsor se necesita tener los parámetros de diseño del tanque.

4.2.2 Consideraciones para la construcción del Impulsor

4.2.2.1 Selección del impulsor

Para la selección del impulsor, las bibliografías indican que si la relación de altura de líquido al diámetro ($\frac{H_l}{D_m}$) del recipiente es mayor que 1,25 entonces múltiples propelas son recomendadas para el proceso.

Calculando la relación:

Si, $\frac{H_l}{D_m} \geq 1,25$ el recipiente necesita varios impulsores.

Para el recipiente en propuesta es: $\frac{1}{1,05} = 1$ por lo tanto, solo es necesario una propela o impulsor a lo largo del eje. Los factores para la selección de impulsor para el sistema de agitación son: la viscosidad del fluido a mezclar o agitar, costo, velocidad y tipo de flujo requerido para nuestra carga.

Para este proceso de dilución se recomienda generar flujo axial y/o radial dentro del recipiente. Por lo tanto, se selecciona los impulsores de tipo paletas, la versión de hoja de pala inclinada a 45°, es normalmente usada para materiales de baja viscosidad. La relación del diámetro de la propela respecto al diámetro del recipiente se recomienda que sea de 1/3. El recipiente tiene 1 m de diámetro inferior, entonces el diámetro del impulsor puede ser 0,33 m

Para el presente sistema de agitación, del análisis de la tabla 7, el diámetro del impulsor seleccionado es de 0,2 m, que corresponde a una potencia de arrastre de 0,656 kW (0,88 HP), sin embargo, se eligió una potencia mayor a la calculada

4.2.2.2 Cálculo de las dimensiones principales del impulsor

De acuerdo a la tabla 1, se calcula las dimensiones de las palas.

D_p = Diámetro del rodete (mm)

t_p = Espesor de las paletas (mm)

D_m = Diámetro medio del tanque (mm)

H_p = Distancia o altura de la parte inferior del tanque al centro de las paletas de la propela (m).

D_i = Diámetro interno de recipiente (para este caso se tomará como dato el D_m)

Estos datos son puntos de partida para dimensionar el rodete:

$D_m = 1\ 050$ mm y $H_t = 1\ 100$ mm

Se halla " D_p ", de las fórmulas de la tabla 1

$$\frac{D_p}{D_m} = \frac{1}{3}$$

Entonces se desarrolla la fórmula que se tiene:

$$D_p = 300 \text{ mm}$$

Calculado " H_p ", se toma las fórmulas de la tabla 1

$$\frac{H_p}{D_p} = 1$$

Entonces se desarrolla la fórmula que se tiene:

$$H_p = 200 \text{ mm}$$

Para hallar “ t_p “ se usa la siguiente formula de la tabla 1

$$\frac{t_p}{D_p} = \frac{1}{5}$$

Entonces se desarrolla la formula y se tiene:

$$t_p = 40 \text{ mm}$$

4.3 CÁLCULO DE PLACAS DEFLECTORAS O BAFLES

El diseño de placas deflectoras sirve para evitar flujos turbulentos en rotación espiral de corrientes cerradas, este movimiento se llama vórtices o remolinos que se genera por el movimiento circular de las paletas del propulsor.

La viscosidad de la salmuera para el diseño es de 0,002 kg/ m.s, cuando el propulsor es usado para mezclar líquidos con viscosidades mayores a 20 kg/ m.s no es necesario utilizar bafles, por lo tanto, es conveniente colocar cuatro bafles en el recipiente de agitación.

En la tabla 1, se muestra deflectores montados en las paredes en posición vertical. Casi siempre basta con cuatro deflectores, que tengan anchura de cerca de 1/12 del diámetro del recipiente.

$$\frac{B_w}{D_m} = \frac{1}{12}$$

Sabemos que:

$$D_m = 1,05 \text{ m}$$

B_w = Ancho de las placas deflectoras

Por lo tanto, según la relación: $B_w = 83 \text{ mm}$

El espesor de las placas deflectoras, se considera similar al del recipiente $e = 6 \text{ mm}$.

4.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR EL TANQUE DE AGITACIÓN

Un factor trascendental en el diseño de un recipiente de agitación es la potencia para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, pero se tiene correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia.

4.4.1 Selección del flujo a trabajar

Según el proceso que va realizar el equipo de agitación, suspensión de sólidos en líquido, se recomienda flujo axial. El impulsor que se ha seleccionado, de paletas inclinadas a 45°, genera flujo axial cumpliendo el requerimiento.

4.4.2 Selección de la velocidad angular

De acuerdo a experiencias en procesos de suspensión o mezcla de sólidos en líquidos y teniendo en cuenta la viscosidad de la solución que no es muy elevada, se asume una velocidad angular de agitación de:

$$n = 662 \text{ rpm}$$

4.4.3 Cálculo del Número de Reynolds

Se halla el tipo de flujo que desarrolla en el recipiente de agitación cuando el impulsor esté a 662 rpm. Recordando que $Re > 10\,000$, se trata de flujo turbulento, entonces utilizamos la ecuación [8]. El cálculo del Número de Reynolds, nos permite definir qué tipo de flujo se desarrolla dentro del recipiente, una propiedad importante de los fluidos es la viscosidad, a causa de esta, es necesario ejercer una fuerza para obligar a una capa de fluido a deslizar sobre otra.

$$Re = \frac{D_p^2 n \rho}{\mu}$$

Datos:

Re= Número de Reynolds (adimensional)

$$\rho = 1\,200 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$D_a = 0,2 \text{ (m)}$$

$$\mu = 0,002 \text{ (kg/m.s)}$$

$$n = 11 \text{ (rev/s)}$$

Por lo tanto, N_{Re} es:

$$N_{Re} = 264\,800 \quad \text{Flujo turbulento}$$

En este tipo de flujo las partículas del fluido se mueven en trayectorias erráticas, es decir, en trayectorias muy irregulares sin seguir un orden establecido.

4.4.4 Número de potencia (Np)

Este número adimensional se encarga de establecer la relación existente entre el consumo de potencia generado por el impulsor, sobre la densidad del líquido, la velocidad de rotación del impulsor al cubo y su diámetro a la cinco. Es decir, la razón de fuerzas externas implicadas en la agitación a fuerzas inerciales por unidad de volumen del fluido.

Este número adimensional es resultado del esfuerzo necesario del impulsor para contrarrestar la fricción generada entre el fluido en movimiento y que retorna debido a las paredes tanto laterales y del fondo del tanque, así como la resistencia producida por los deflectores.

$$N_p = \frac{P}{\rho n^3 D_a^5}$$

Por lo tanto, se recurre a verificar la tabla 9

Tabla 14*Número de potencia de varias propelas*

Número de potencia de varias propelas bajo condiciones de flujo turbulento, estándar con cuatro baffles	
Tipo de propela	Np
Turbina de aspa Cóncava ó hueco	4,1
Ekato MIG- 3 aspas, relación D/T=0,7	0,55
Ekato intermedia- 2 aspa, relación D/T=0,7	0,61
Disco de alto efecto de corte a Re=10 000	0,2
Lightnin A310	0,3
Cheminer HE3	0,3
Las siguientes son todas para relaciones de: D=T/3, C=T/3, y aspas con espesor W=D/5	
Turbina de aspas inclinadas a 45°, 4 aspas	1,27
Turbina de aspas inclinadas a 45°, 6 aspas	1,64
Propela hélice marina (paso 1,0)	0,34
Propela hélice marina (paso 1,5)	0,62
Smith cóncava o hueco con 6 aspas	4,4

Fuente: Paul, Edward L. (edt) ; Kresta, Suzanne M. (edt) ; Atiemo ; obeng, Victor (edt). Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc, 2003.

El número de potencia (Np) seleccionado es de 1,27 correspondiente a la turbina de 4 palas inclinadas a 45°.

4.4.5 Cálculo de la potencia de arrastre consumida por la propela.

Para el cálculo de potencia del motor un factor importante es hallar la potencia de arrastre consumida por la propela seleccionada, a continuación, se presenta las relaciones de potencia y diámetro de la propela.

Para el cálculo de esta potencia teórica se tiene la ecuación [9]:

$$P' = N_p \rho N^3 D_a^5 \text{ (w)}$$

Datos:

$$P' = \text{(w)}$$

$$N_p = 1,27 \text{ (de acuerdo a la tabla 9)}$$

$$\rho = 1\,200 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$D_a = 0,2 \text{ (m)}$$

$$N = 11 \text{ (rev/s)}$$

Deduciendo la fórmula tenemos que "P":

$$P' = 655,02 \text{ W} = 0,66 \text{ kW} \text{ (0,88 HP)}$$

4.4.6 Selección del motor eléctrico

Teniendo la potencia de arrastre generado por el impulsor $P = 0,66$ kW (0,88 HP), se selecciona la potencia del motor para el presente proyecto de agitación. Se describe los siguientes factores de la selección realizada del motor eléctrico requerido:

- Potencia de selección 1,1 kW (1,5 HP)
- Velocidad (rpm) = 1 720
- Intensidad Nominal 220 V - 4P - 60 Hz
- Marca y modelo de carcasa: Delcrosa / Sh80x-4C
- Torque 6,3 N.m.
- Factor de servicio 4,15
- Peso 11,5 kg

4.5 CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Según las características de la estructura de diseño, se adopta un sistema de transmisión mediante fajas en "V" y poleas. La distancia entre centros para nuestro caso será 0,43 m

4.5.1 Cálculo de la transmisión por fajas en “V”

Reducción total: $m_{gt} = \frac{1720}{662} = 2,5$

a) Potencia de diseño: $HP_d = P FS$

Del anexo 1, el factor de servicio para agitadores de líquidos es 1,1.

$$HP_d = 0,88 \times 1,1 = 0,72 \text{ kW (0,968 HP)}$$

b) Selección de la faja:

Del anexo 2, con 1 720 rpm y 1,1 kW (1,5 HP)

Sección de la faja: Sección A

c) Relación de transmisión:

$$m_{gt} = 2,6 \text{ (tentativo)}$$

d) Diámetro de paso de las poleas:

Del anexo 3, se recomienda una polea de diámetro exterior mínimo de 60,9 mm (2,4 pulg)

Por lo tanto, se adopta una polea motriz de 63,5 mm (2,5 pulg)

$$2,6 \times 2,5 \text{ pulg} \rightarrow 165 \text{ mm (6,5 pulg)}$$

Seleccionando del catálogo de poleas, Ducasse Comercial Ltda., Anexo 4, elegimos poleas de perfil "A"; de 2,5 pulg y 6,5 pulg para polea conductora y conducida respectivamente.

Relación de transmisión correcta: $\frac{6,5}{2,5} = 2,6$

e) Longitud estándar de la faja:

La distancia entre centros, según la estructura será: $C = 430 \text{ mm}$

La longitud aproximada de la correa según la siguiente fórmula

es:

$$L = 2C + 1,65(d + D)$$

$$L = 2(430) + 1,65(63,5 + 165)$$

$$L = 2(430) + 377$$

$$L = 1\,237 \text{ mm} = 48,7 \text{ pulg}$$

Del anexo 5, tenemos la longitud estándar más próxima que es de $1\,252 \text{ mm (49,3 pulg)}$

Entonces corresponde una correa A 48.

f) Factores de corrección:

Por ángulo de contacto: Del anexo 6,

$$\frac{D - d}{C} = \frac{6,5 - 2,5}{16,93} = 0,236$$

$$0,20 - 0,97$$

$$0,236 - X$$

$$0,3 - 0,96$$

Interpolando $X = 0,966$

$$K_{\theta} = 0,966$$

Por longitud de faja: Utilizando el anexo 5, se determina el factor de corrección por longitud " K_L ", para faja A 48 es 0,93.

Potencia por faja: se determina la potencia que puede transmitir la faja seleccionada, haciendo uso del anexo 7

$$1\ 750 - 0,98$$

$$\frac{HP}{faja} = 0,98$$

Potencia adicional:

Para elegir la potencia adicional recurrimos al anexo 8

$$HP_{ad} = \frac{0,01618 \times 1\ 720}{100} = 0,278$$

$$\frac{HP}{faja} = \left[\left(\frac{HP}{FAJA} \right)_{tabla} + HP_{ad} \right] K_{\theta} K_L$$

$$\frac{HP}{faja} = [0,98 + 0,278] 0,966 \times 0,93$$

$$\frac{HP}{faja} = 1,13$$

g) Número de fajas:

$$N = \frac{2}{1,13} = 1,76$$

h) Conclusión: Usar 2 fajas A 48, con poleas de 63,5 mm (2,5 pulg) y 165 mm (6,5 pulg)

4.6 CÁLCULO E IDENTIFICACIÓN DE ESFUERZOS

El proceso de la preparación de la salmuera somete al agitador y sus partes a soportar la acción de varios esfuerzos y cargas exteriores. Estas sollicitaciones determinarán los tamaños y dimensiones adecuados de los elementos que lo componen.

- a) **Compresión:** Cuando el agitador está en funcionamiento, este ejerce un empuje sobre el fluido, generándose un esfuerzo axial cuyo sentido resulta contrario al flujo del fluido y en la dirección del eje de rotación.

- b) **Tracción:** Esfuerzo al que es sometido el eje del agitador por el peso propio del impulsor. El esfuerzo axial es absorbido por tracción o compresión por el eje, donde los soportes y sus pernos deben ser capaces de soportar dichos esfuerzos.

- c) **Torsión:** Al girar el agitador se producen esfuerzos perpendiculares a las palas los que genera un momento par sobre el eje

- d) **Flexión:** El eje se encuentra fijo unido al acoplamiento y chumacera del eje de transmisión, provocando en su extremo libre un esfuerzo de pandeo al producirse el giro.

4.6.1 Cálculo del momento torsor

Se realizará el cálculo del momento torsor para determinar el diámetro del eje, para ello se utiliza la ecuación [12]:

$$P = M_t \times \omega$$

Se necesitan los siguientes parámetros:

M_t : Momento Torsor en el eje de transmisión (N.m)

P: Potencia del motor (kW)

N: rpm

Datos:

$P = 1,1$ kW (1,5 HP)

$N = 662$ rpm (velocidad angular del eje del impulsor)

Se reemplaza los datos, que se tiene:

$$P = M_t \times \frac{2\pi N}{60}$$

$$1\,118,5 = M_t \times \frac{2\pi 662}{60}$$

$$M_t = 16,13 \text{ N.m}$$

4.6.2 Cálculo del momento flector

Con diagrama de cuerpo libre de la figura 28 y el eje como condición de viga en voladizo, se encuentran por sumatoria de momentos y de fuerzas los correspondientes valores.

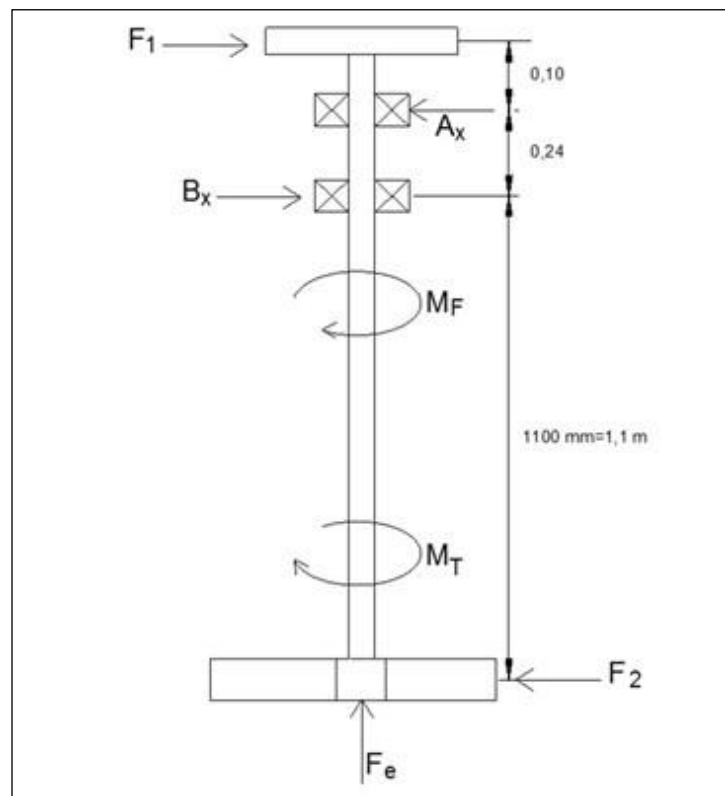


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje propulsor

Fuente: Elaboración propia, 2016.

La longitud del eje es de 1,44 m. Antes de calcular el momento flector que existe en el eje, se halla la fuerza tangencial actuado en el rodete, el radio del rodete es 0,1 m.

Sabiendo que el momento torsor es: 16,13 N.m.

$$M_t = r \times F_t$$

$$16,13 = 0,1 \times F_t$$

$$F_t = 161,3 \text{ N}$$

Ahora el momento flector en el extremo del eje:

$$M_f = F_t \times L_e$$

$$M_f = 161,3 \times 1,1$$

$$M_f = 177,43 \text{ N.m}$$

4.6.3 Cálculo y diagrama de cargas

Las fuerzas F_1 y F_2 son datos que se puede calcular mediante la ecuación [13].

$$M_t = 16,13 \text{ N.m}$$

$$M_t = F_1 \times 0,083m$$

$$16,13 \text{ N} \cdot \text{m} = F_1 \times 0,083 \text{ m}$$

$$F_1 = 195,5 \text{ N}$$

- 0,083 m es radio de la polea mayor.
- $F_t = F_2 = 161,3 \text{ N}$, el radio del impulsor es 0,1 m

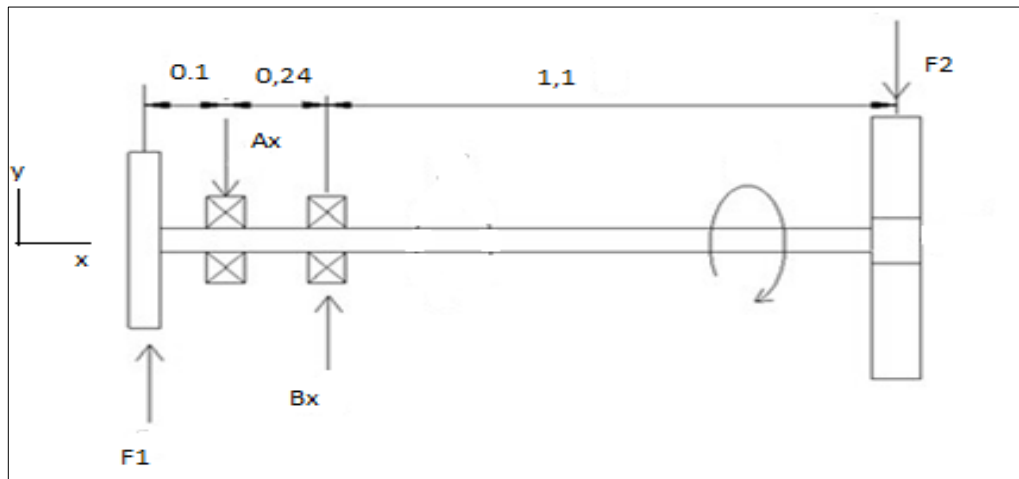


Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del eje

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Aplicando sumatoria de fuerzas $\sum F = 0$, se halla las reacciones que se generan en los rodamientos, Ax y Bx.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_1 - Ax - F_2 + Bx = 0$$

$$-Bx + Ax = 34,2 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-195,51(0,34) + Ax(0,24) - 1,1(161,3) = 0$$

$$Bx = 982,05 \text{ N}$$

$$Ax = 1016,25 \text{ N}$$



Figura 30. Diagrama de fuerzas cortantes

Fuente: Elaboración propia, 2016.

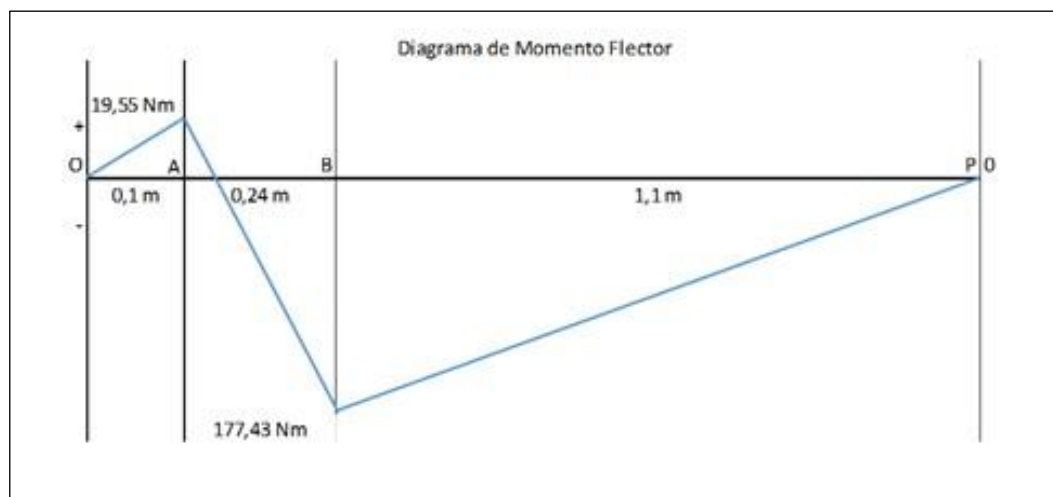


Figura 31. Diagrama de momento flector

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.7 CÁLCULO DEL EJE DEL IMPULSOR

Para el cálculo del diámetro del eje se utiliza la fórmula de la ecuación [17] del código ASME para un eje macizo:

$$d = \left(\frac{16N_f}{\pi S_y} \left\{ (4M_f^2 + 3M_t^2)^{0,5} \right\} \right)^{1/3}$$

Donde:

d: Diámetro de eje (m)

N_f : Factor de servicio, estimado para el cálculo de diámetro.

S_y : Límite de fluencia del material. (MPa)

M_f : Momento flector. (N m)

M_t : Momento torsor. (N m)

Primero se halla N_f , factor de servicio estimado para el cálculo de diámetro; el factor de seguridad estático, de acuerdo a la norma AISC, se considera que el esfuerzo permisible para compresión, tensión y flexión, debe ser el 60 % del límite de fluencia del material, para el material seleccionado, acero inoxidable AISI 304, ver anexo 9, el límite de fluencia corresponde

$$\sigma_y = 230 \text{ Mpa}$$

Entonces:

$$\sigma_{\text{permissible}} = 240 \times 0,6 = 138 \text{ MPa}$$

Ahora, factor de seguridad mínimo:

$$N_f = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{permissible}}} = \frac{230}{138} = 1,67$$

Teniendo todos los datos requeridos para calcular el diámetro del eje, utilizamos la siguiente formula:

$$d = \left(\frac{16N_f}{\pi S_y} \{ (4M_f^2 + 3M_t^2)^{0,5} \} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16 \times 1,67}{\pi \times 230 \times 10^6} \{ (4 \times 177,43^2 + 3 \times 16,13^2)^{0,5} \} \right)^{1/3}$$

$$d = 0,023 \text{ m}$$

4.7.1 Verificación del material del eje por cálculos de esfuerzos.

Se realizó el cálculo de los valores de esfuerzos a momento flector y torsor, sabiendo que el esfuerzo máximo en un eje macizo es:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_f C}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{32 M_f}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{32 \times 177,43}{\pi 0,02^3}$$

$$\sigma_{\max} = 225,9 \text{ MPa}$$

Asimismo, verificaremos que el esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t C}{j}$$

$$\tau_{\max} = \frac{16 M_t}{\pi d^3}$$

$$\tau_{\max} = \frac{16 M_t}{\pi d^3}$$

$$\tau_{\max} = \frac{16 \times 16,13}{\pi 0,02^3}$$

$$\tau_{\max} = 10,2 \text{ MPa}$$

4.7.2 Cálculo de la chaveta

En la zona de las poleas se usa una chaveta plana de acero inoxidable con límite elástico de 230 MPa (23,45 kg/mm²) tipo AISI 304. Anexo 10 muestra las chavetas estándar según normas DIN 6885. La chaveta plana recomendada para un diámetro de 20 mm es:

6 mm x 6 mm x Longitud (L)

Pero como la polea tiene una longitud de canal chavetero de 40 mm, entonces se asume una longitud de 40 mm para la conexión entre eje y poleas. La chaveta será de:

6x6x40 mm

CONCLUSIONES

Para la optimización del Sistema de Agitación de preparación de la salmuera, se seleccionó una turbina con cuatro (4) palas inclinadas a 45° , apropiada para este proceso de agitación, el cual se encuentra a 200 mm del fondo del recipiente, con 200 mm de diámetro. Con esta propuesta se logra que la sal industrial pueda disolverse eficientemente en el recipiente.

La estructura del recipiente del agitador encontrado, no cuenta con soporte con base independiente respecto al terreno, con esta propuesta se rediseñó una estructura que podrá moverse sobre ruedas industriales y para el desmontaje del eje impulsor, se adicionó un acople brida.

Para el diseño del eje propulsor se calculó el momento flector y torsor, se determinó un diámetro de eje de 23 mm, pero se estimó a un diámetro comercial de 25,4 mm. Las dimensiones del impulsor son adecuadas para un motor de 1,1 kW (1,5 HP), obteniendo mayor potencia arrastre.

Para neutralizar los remolinos y obtener una mezcla eficiente; se adicionó cuatro (4) placas deflectoras de 85 mm de ancho y seis (6) mm de espesor, alrededor del recipiente y se redujo la velocidad angular del eje impulsor a 662 rpm.

Para la agitación manual, requiere un tiempo de 20 min, sin embargo, con esta propuesta optimizada el tiempo se reduce en cinco (5) min el tiempo de dilución o agitación de la salmuera.

RECOMENDACIONES

Para futuros diseños de recipientes de agitación con placas deflectoras, el material de diseño se recomienda sea de acero inoxidable AISI 316, para que tenga mayor resistencia, salubridad y durabilidad.

Se recomienda a las empresas de procesamiento de aceituna que utilizan agitador mecánico, puedan adicionar el variador de frecuencia para obtener una la agitación sin remolinos y eficiente.

Se recomienda a la empresa que, si no es posible adicionar placas deflectoras al recipiente, pueden colocar el agitador con el eje impulsor excéntrico en el recipiente de agitación, para que los flujos generados por la agitación no sean circulares en el recipiente.

Se recomienda que la empresa tenga tanques de agua almacenado, para que en el momento de la preparación de la salmuera se tenga agua disponible, y pueda llenar el recipiente de agitación mediante bomba

hidráulica y no mediante la red de agua potable, de esta manera sus procesos de preparación de salmuera serán mucho más rápidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alva, Fortunato. (2009) *Diseño de Elementos de Máquinas I.* (1ra Edición)
Lima, Perú: Impresión Pool Producciones S.R.L. Páginas 53-71.

Budynas, R., Nisbett, J., y Rios, M., (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, (8va Edición). México: McGraw-Hill.

Bolívar, Ruben. (2013) *Análisis, diseño y modelamiento por elementos finitos del eje para un agitador mecánico de la empresa Flow Control and Handling S.A.* Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Autónoma de Occidente Facultad de Ingeniería Departamento de Energética y Mecánica Programa de Ingeniería Mecánica, Santiago de Cali. Páginas 23-45.

Cengel, Yunus y Cimbala, Jhon. (2006). *Mecánica de fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*, (1ra. Edición). México: McGraw-Hill. Páginas 250-251 y 959

Geankoplis, C. J. (1998). *Proceso de transporte y operaciones Unitarias*, (3ra. Edición). México: Editorial Continental S.A. Páginas 161-165.

Harnby N., Edwards M. F. y Niewnow A. W. (1997) *Mixing in the Process Industries*, (2da Edición). Reino Unido: Butterworth-Heinemann, Página 254.

Huerto, Helbert O. (2013) "*Estudio del flujo en un tanque agitador vertical de impulsor PTB con superficie libre mediante el programa ANSYS CFX V.14.0*", Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. Páginas 5-12 y 15-20.

Jiménez, Leidy. (2012) "*Informe de prácticas Pre-profesionales realizadas en la planta de procesamiento de aceitunas Agroindustrias Nobex S.A.*" E.A.P. de Ingeniería en Industrias Alimentarias., Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann., Tacna, Perú.

Martinez, Felix. (2010). "*Estudio Numérico de la Fluido dinámica de un Estanque de Agitación Utilizando el Método de las Mallas Deslizantes*".

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile.

McCabe, W., Smith, J. y Marriot, P. (2007) *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. (Séptima Edición) México: Mc Graw Hill. Páginas 260-275.

Mott, P. Robert. (1995) *Diseño de elementos de máquinas*. (2da. Edición) México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A. Páginas 39-615.

Paul, Edward L., Suzanne, Kresta y Atiemo-Obeng, Victor. (2003). *Handbook of Industrial Mixing Science and Practice*. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc, Páginas 361, 365 y 1348.

Streeter, Victor L., Wylie, Benjamin y Bedford, Keith (1999). *Mecánica de Fluidos*. (Novena edición) Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill. Página 700.

Vidal, Fernando. *Esfuerzo en elementos de máquinas, Problemas resueltos*. (2da. Edición), Lima, Perú: W.H Editores S.R. Ltda. Páginas 1-18

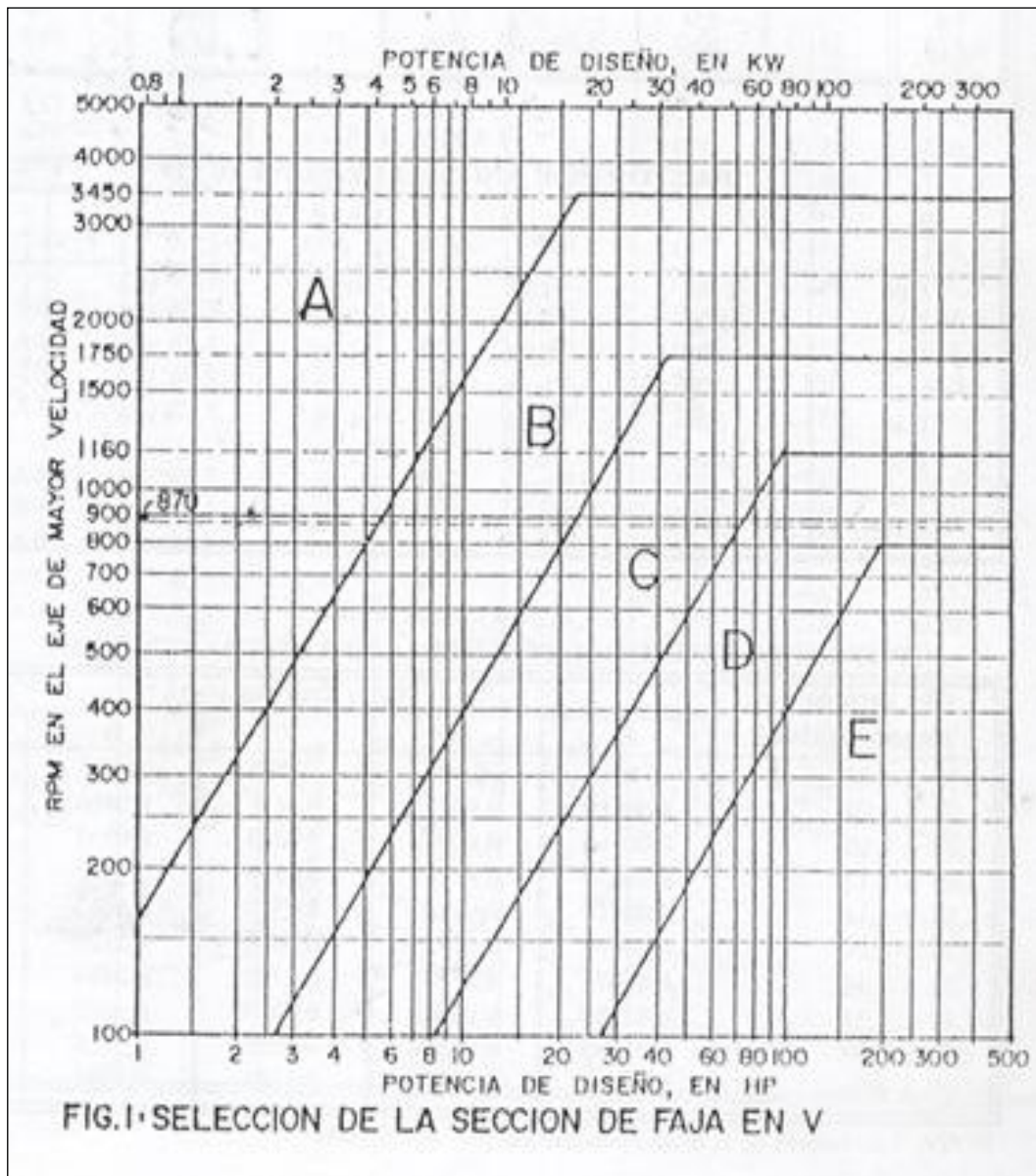
ANEXO I

TABLA N° 1

FACTORES DE SERVICIO PARA TRANSMISION POR FAJAS EN V

MAQUINAS MOVIDAS	CLASE 1	CLASE 2
Agitadores de líquidos:	1,1	1,2
Agitadores de semilíquidos	1,2	1,3
Batidoras en la industria papelera	1,3	1,5
Bombas centrífugas	1,1	1,2
Bombas reciprocantes.....	1,3	1,5
Bombas rotativas de desplazamiento positivo	1,2	1,3
Chancadoras de mandíbula de rodillos giratorios.	1,4	1,6
Compresoras centrífugas	1,1	1,2
Compresoras reciprocantes	1,3	1,5
Cribas giratorias.....	1,3	1,5
Elevadores de cangilones	1,3	1,5
Excitadores	1,3	1,5
Extractores	1,1	1,2
Generadores	1,2	1,3
Líneas de ejes (ejes de transmisión)	1,2	1,3
Maquinaria de imprenta	1,2	1,3
Maquinarias de lavandería	1,2	1,3
Maquinaria para aserraderos	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de ladrillos	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de cauchos: calandrias, mezcladoras, extrusores	1,4	1,6
Maquinaria textil	1,3	1,5
Máquinas herramientas	1,2	1,3
Mezcladoras de masa en la industria panificadoras	1,2	1,3
Molino de barras, de bolas, de tubos	1,4	1,6
Molinos de martillos	1,3	1,5
Prensas punzadoras.....	1,2	1,3
Pulverizadores	1,3	1,5
Sopladores	1,1	1,2
Sopladores de desplazamiento positivo	1,3	1,5
Transportadores de artesas, de paletas, de tornillo	1,3	1,5
Transportadores de fajas para arenas granos, etc	1,2	1,3
Transportadores para trabajos livianos	1,1	1,2
Ventiladores hasta 10 HP	1,1	1,2
Ventiladores mayores de 10 HP	1,2	1,3
Winches, montacargas, elevadores	1,4	1,6
Zarandas vibratorias	1,2	1,3

ANEXO 01: Factores de Servicio para transmisión por Faja en V



ANEXO 02: Selección de la sección de Faja en V

TABLA N° 2

DIAMETRO EXTERIOR MINIMO RECOMENDADO DE POLEAS PARA FAJAS EN V A UTILIZAR EN MOTORES ELECTRICOS

HP MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
0,5	2,5	2,5	2,2			
0,75	3,0	2,5	2,4	2,2		
1	3,0	2,5	2,4	2,4	2,2	
1,5	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	2,2
2	3,6	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4
3	4,5	3,6	3,0	3,0	2,4	2,4
5	4,5	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4
7,5	5,3	4,5	4,4	3,8	3,0	3,0
10	6,0	5,3	4,4	4,4	3,8	3,0
15	6,9	6,0	5,2	4,4	4,4	3,8
20	8,0	6,9	6,0	5,2	4,4	4,4
25	9,0	8,0	6,8	6,0	4,4	4,4
30	10,0	9,0	6,8	6,8	5,2	
40	10,0	10,0	8,2	6,8	6,0	
50	11,0	10,0	8,4	8,2	6,8	
60	12,0	11,0	10,4	8,0	7,4	
75	14,0	13,0	10,0	10,0	8,6	
100	18,0	15,0	12,0	10,0	8,6	
125	20,0	18,0		12,0	10,5	
150	22,0	20,0			10,5	
200	22,0	22,0			13,2	

NOTA: Los valores indicados en la parte superior de la línea divisoria están basados en motores bajo estandarización de NEMA MG1-14.43a. Los valores inferiores a la línea son en base a fabricantes de motores.

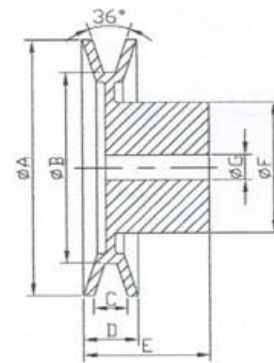
Los valores dados en la presente tabla son generalmente conservadores, se pueden usar diámetros más pequeños de poleas instalados en motores según el diseño específico de ellos.

ANEXO 03: Diámetro exterior mínimo recomendado de poleas para fajas en V utilizar en motores eléctricos.

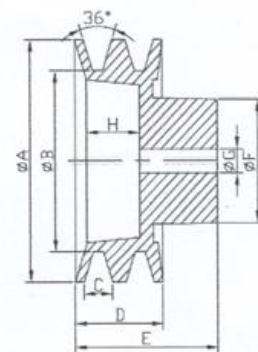
POLEAS ALUMINIO

Poleas perfil "A"

1 Canal (DIM. EN MM)							
Nº de Parte	Ø A	Ø B	C	D	E	Ø F	Ø G
1 A 2	50	24	13	21	46	30	10,0
1 A 2.1/2	63.5	37	13	21	46	30	10,0
1 A 3	77	51	13	21	46	40	10,0
1 A 3.1/2	90	64	13	21	46	52	10,0
1 A 4	102	76	13	21	46	52	12,7
1 A 4.1/2	112	86	13	21	49	52	12,7
1 A 5	127	101	13	21	49	60	12,7
1 A 5.1/2	140	113	13	21	49	60	12,7
1 A 6	154	128	13	21	49	60	12,7
1 A 6.1/2	165	137	13	21	49	60	12,7
1 A 7	180	154	13	23	51	82	12,7 *
1 A 8	203	177	13	23	51	82	12,7 *
1 A 9	229	203	13	23	51	82	12,7 *
1 A 10	254	228	13	23	51	82	12,7 *
1 A 11	280	251	13	23	51	96	17,0 *
1 A 12	305	274	13	23	51	108	17,0 *
1 A 13	330	297	13	23	51	108	17,0 *
1 A 14	356	320	13	23	51	110	17,0 *
1 A 15	381	343	13	23	51	112	17,0 *
1 A 16	406	366	13	23	51	114	17,0 *



2 Canales (DIM. EN MM)								
Nº de Parte	Ø A	Ø B	C	D	E	Ø F	Ø G	H
2 A 2.1/2	66	40	13	40	65	52	12,7	24
2 A 3	77	51	13	40	65	52	12,7	24
2 A 3.1/2	90	64	13	40	65	52	12,7	24
2 A 4	102	76	13	40	65	52	12,7	24
2 A 4.1/2	112	86	13	40	65	52	12,7	24
2 A 5	127	101	13	40	65	60	12,7	24
2 A 5.1/2	140	114	13	40	65	60	12,7	24
2 A 6	154	128	13	40	65	60	12,7	24
2 A 6.1/2	166	143	13	40	65	60	12,7	24
2 A 7	180	154	13	40	69	82	12,7	25 *
2 A 8	203	177	13	41	69	82	12,7	25 *
2 A 9	229	203	13	41	69	82	12,7	25 *
2 A 10	254	228	13	41	69	90	12,7	25 *
2 A 11	280	253	13	41	69	96	12,7	25 *
2 A 12	305	278	13	41	69	108	12,7	25 *
2 A 13	330	303	13	41	69	108	12,7	25 *
2 A 14	356	328	13	41	69	110	12,7	25 *
2 A 15	381	353	13	41	69	112	12,7	25 *
2 A 16	406	378	13	41	69	114	12,7	25 *



ANEXO 04: Poleas de aluminio, Catálogo de Ducasse Comercial Ltda.

TABLA N° 7
LONGITUD DE FAJA Y FACTOR POR LONGITUD DE FAJA

SECCION A			SECCION B			SECCION C		
FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K _L	FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K _L	FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K _L
A26	27,3	0,81	B35	36,8	0,81	C51	53,9	0,80
A31	32,3	0,84	B38	39,8	0,83	C60	62,7	0,82
A33	34,3	0,85	B42	43,8	0,85	C68	70,9	0,85
A35	36,3	0,87	B46	47,8	0,87	C75	77,9	0,87
A36	37,3	0,87	B51	52,8	0,89	C81	83,9	0,89
A38	39,3	0,88	B53	54,8	0,89	C85	87,9	0,90
A40	41,3	0,89	B55	56,8	0,90	C90	92,9	0,91
A42	43,3	0,90	B58	59,8	0,91	C96	98,9	0,92
A43	44,3	0,90	B60	61,8	0,92	C100	102,9	0,92
A46	47,3	0,92	B62	63,8	0,92	C105	107,9	0,94
A48	49,3	0,93	B64	65,8	0,93	C112	114,9	0,95
A51	52,3	0,94	B66	67,8	0,93	C120	122,9	0,97
A53	54,3	0,95	B68	69,8	0,95	C124	126,9	0,97
A55	56,3	0,96	B71	72,8	0,95	C128	130,9	0,98
A58	59,3	0,97	B75	76,8	0,97	C136	138,9	0,99
A60	61,3	0,98	B78	79,8	0,97	C144	146,9	1,00
A62	63,3	0,98	B81	82,8	0,98	C158	160,9	1,02
A64	65,3	0,99	B83	84,8	0,98	C162	164,9	1,03
A66	67,3	0,99	B85	86,8	0,99	C173	175,9	1,04
A68	69,3	1,00	B90	91,8	1,00	C180	182,9	1,05
A71	72,3	1,01	B93	94,8	1,01	C195	197,9	1,07
A75	76,3	1,02	B97	98,8	1,02	C210	212,9	1,08
A78	79,3	1,03	B103	104,8	1,03	C225	225,9	1,10
A80	81,3	1,04	B105	106,8	1,04	C240	240,9	1,11
A85	86,3	1,05	B112	113,8	1,05	C255	255,9	1,12
A90	91,3	1,06	B120	121,8	1,07	C270	270,9	1,14
A96	97,3	1,08	B128	129,8	1,08	C300	300,9	1,16
A105	106,3	1,10	B136	137,8	1,09	C330	330,9	1,19
A112	113,3	1,11	B144	145,8	1,11	C360	360,9	1,21
A120	121,3	1,13	B158	159,8	1,13	C390	390,9	1,23
A128	129,3	1,14	B173	174,8	1,15	C420	420,9	1,24
			B180	181,8	1,16			
			B195	196,8	1,18			
			B210	211,8	1,19			
			B240	240,8	1,22			
			B270	270,3	1,25			
			B300	300,3	1,27			

ANEXO 05: Longitud de faja y factor por longitud de faja.

TABLA N° 5
FACTOR POR ANGULO DE CONTACTO

$\frac{D-d}{C}$	θ	K_{θ}	$\frac{D-d}{C}$	θ	K_{θ}
0,00	180°	1,00	0,80	133	0,87
0,10	174	0,99	0,90	127	0,85
0,20	169	0,97	1,00	120	0,82
0,30	163	0,96	1,10	113	0,80
0,40	157	0,94	1,20	106	0,77
0,50	151	0,93	1,30	99	0,73
0,60	145	0,91	1,40	91	0,70
0,70	139	0,89	1,50	83	0,65

ANEXO 06: Factor por ángulo de contacto

TABLA N° 8
POTENCIA QUE PUEDEN TRANSMITIR LAS FAJAS SECCION "A"

RPM DEL RAPIDO	HP POR FAJA REFERIDO A LA POLEA DE DIAMETRO MENOR DE								
	2,6"	2,8"	3,0"	3,2"	3,4"	3,6"	3,8"	4,0"	4,2"
1 160	0,74	0,90	1,06	1,22	1,37	1,53	1,68	1,83	1,98
1 750	0,98	1,21	1,44	1,66	1,88	2,10	2,32	2,53	2,74
3 450	1,41	1,80	2,19	2,56	2,92	3,27	3,61	3,94	4,25
200	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45
400	0,34	0,40	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82
600	0,46	0,55	0,64	0,72	0,81	0,90	0,98	1,07	1,15
800	0,57	0,68	0,80	0,91	1,02	1,13	1,24	1,35	1,46
1 000	0,67	0,81	0,95	1,08	1,22	1,36	1,49	1,63	1,76
1 200	0,76	0,93	1,09	1,25	1,41	1,57	1,73	1,88	2,04
1 400	0,85	1,04	1,22	1,41	1,59	1,77	1,95	2,13	2,31
1 600	0,93	1,14	1,35	1,55	1,76	1,96	2,16	2,36	2,56
1 800	1,00	1,23	1,47	1,69	1,92	2,15	2,37	2,59	2,80
2 000	1,07	1,33	1,58	1,83	2,07	2,32	2,56	2,80	3,03
2 200	1,13	1,41	1,68	1,95	2,22	2,48	2,74	2,99	3,25
2 400	1,19	1,49	1,78	2,07	2,35	2,63	2,91	3,18	3,45
2 600	1,24	1,56	1,87	2,18	2,48	2,78	3,07	3,35	3,63
2 800	1,29	1,63	1,96	2,28	2,60	2,91	3,21	3,51	3,80
3 000	1,34	1,69	2,04	2,38	2,71	3,03	3,35	3,66	3,96
3 200	1,37	1,74	2,11	2,46	2,81	3,14	3,47	3,79	4,10
3 400	1,41	1,79	2,17	2,54	2,90	3,24	3,58	3,91	4,22
3 600	1,44	1,84	2,23	2,61	2,98	3,33	3,68	4,01	4,33
3 800	1,46	1,87	2,28	2,67	3,04	3,41	3,76	4,10	4,42
4 000	1,47	1,90	2,32	2,72	3,10	3,47	3,83	4,17	4,49
4 200	1,49	1,93	2,35	2,76	3,15	3,52	3,88	4,22	4,54
4 400	1,49	1,94	2,38	2,79	3,19	3,56	3,92	4,25	4,56
4 600	1,49	1,95	2,39	2,81	3,21	3,59	3,94	4,27	4,57
4 800	1,49	1,95	2,40	2,82	3,22	3,60	3,94	4,27	4,56
5 000	1,47	1,95	2,40	2,82	3,22	3,59	3,93	4,24	4,52
5 200	1,45	1,94	2,39	2,81	3,21	3,57	3,90	4,20	4,46
5 400	1,43	1,91	2,37	2,79	3,18	3,54	3,85	4,13	4,38
5 600	1,40	1,89	2,34	2,76	3,14	3,48	3,79	4,05	4,27
5 800	1,36	1,85	2,30	2,71	3,09	3,42	3,70	3,94	4,13
6 000	1,31	1,80	2,25	2,65	3,02	3,33	3,59	3,81	
6 200	1,26	1,75	2,19	2,58	2,93	3,23	3,47	3,65	
6 400	1,20	1,68	2,12	2,50	2,83	3,10	3,32		
6 600	1,14	1,61	2,04	2,40	2,72	2,96			
6 800	1,06	1,53	1,94	2,29	2,58	2,81			
7 000	0,98	1,44	1,84	2,17	2,43				
7 200	0,89	1,34	1,72	2,03	2,27				
7 400	0,79	1,23	1,59	1,88					
7 600	0,68	1,10	1,45	1,71					

ANEXO 07: Potencia que pueden transmitir las fajas sección "A"

TABLA N° 6
POTENCIA ADICIONAL POR RELACION DE TRANSMISION

RELACION DE TRANSMISION	SECCION DE FAJA				
	A	B	C	D	E
0,00 a 1,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,02 a 1,04	0,00180	0,00472	0,0131	0,0466	0,0890
1,05 a 1,08	0,00360	0,00944	0,0263	0,0931	0,1780
1,09 a 1,12	0,00539	0,01415	0,0394	0,1397	0,2670
1,13 a 1,18	0,00719	0,01887	0,0525	0,1863	0,3560
1,19 a 1,24	0,00899	0,02359	0,0656	0,2329	0,4450
1,25 a 1,34	0,01079	0,02831	0,0788	0,2794	0,5340
1,35 a 1,51	0,01259	0,03303	0,0919	0,3260	0,6230
1,52 a 1,99	0,01439	0,03774	0,1050	0,3726	0,7120
2,00 ó más	0,01618	0,04246	0,1182	0,4191	0,8010

NOTA: Los valores de la tabla multiplicarlo por: #RPM/100

ANEXO 08: Potencia adicional por relación de transmisión

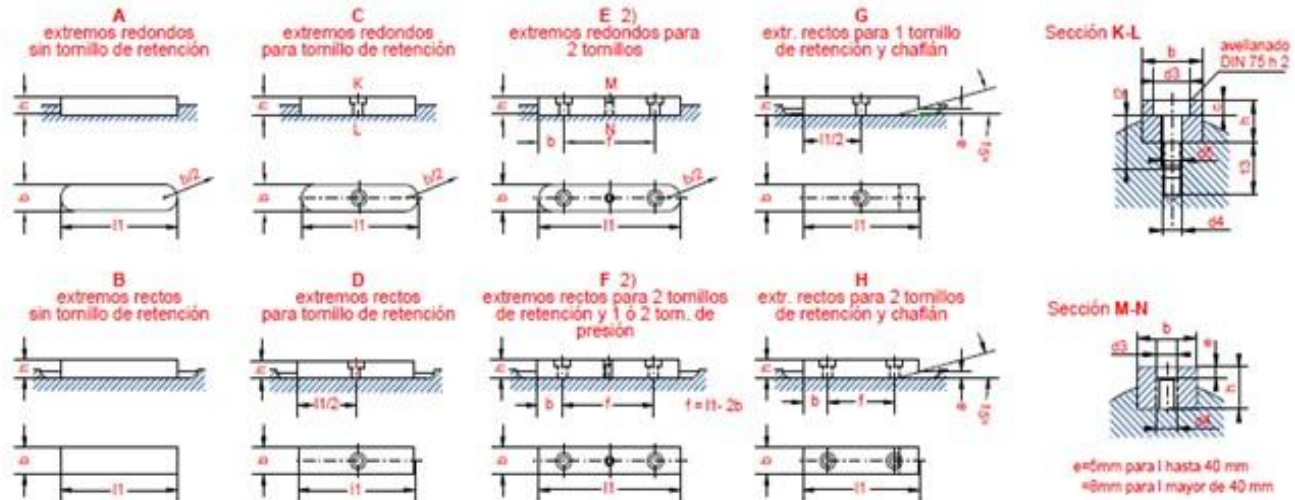
ASTM	NORMA EUROPEA EN 10088		Composición Química (%)				
AISI	DNI (Designación)	W.N	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo
304	X5CrNi18-10	1,4301	0.040 - 0.070	18-19.5	8.00 - 10.00	2 max	-
304L	X2CrNi18-9	1,4307	0.020 - 0.030	18 - 19	8.00 - 10.00	2 max	-
316	X5CrNiMo17-12-2	1,4401	0.020 - 0.030	16.5 - 18	10.50 - 12.00	2 max	2 - 2.5
316L	X2CrNiMo17-12-3	1,4404	0.050 - 0.080	16.5 - 18	10.00 - 13.00	2 max	2 - 2.5
430	X6Cr17	1,4016	0.050 - 0.080	16 - 17.5	-	2 max	-

ASTM	NORMA EUROPEA EN 10088		Propiedades Mecánicas			
AISI	DNI (Designación)	W.N	Resistencia a la tracción N/mm ²	Limite Elástico al 0.2%min. N/mm ²	Alargamiento Mínimo %	Dureza Máxima HB
304	X5CrNi18-10	1,4301	540 - 750	230	45	190
304L	X2CrNi18-9	1,4307	520 - 670	220	45	190
316	X5CrNiMo17-12-2	1,4401	530 - 680	240	40	200
316L	X2CrNiMo17-12-3	1,4404	540 - 620	240	40	200
430	X6Cr17	1,4016	450 - 600	260	20	180

ASTM	NORMA EUROPEA EN 10088		Algunas Aplicaciones
AISI	DNI (Designación)	W.N	
304	X5CrNi18-10	1,4301	Industria alimentaria, cubertería, menaje, médica y otros.
304L	X2CrNi18-9	1,4307	Industria alimentaria, cubertería, menaje, médica, tubos y otros.
316	X5CrNiMo17-12-2	1,4401	Industrias químicas, petroquímica, minería, refrigeración y otros.
316L	X2CrNiMo17-12-3	1,4404	Industrias químicas, petroquímica, minería, refrigeración, tubos y otros.
430	X6Cr17	1,4016	Cubertería, menaje, armarios, decoración interior.

ANEXO 09: Calidades de las planchas de acero inoxidable

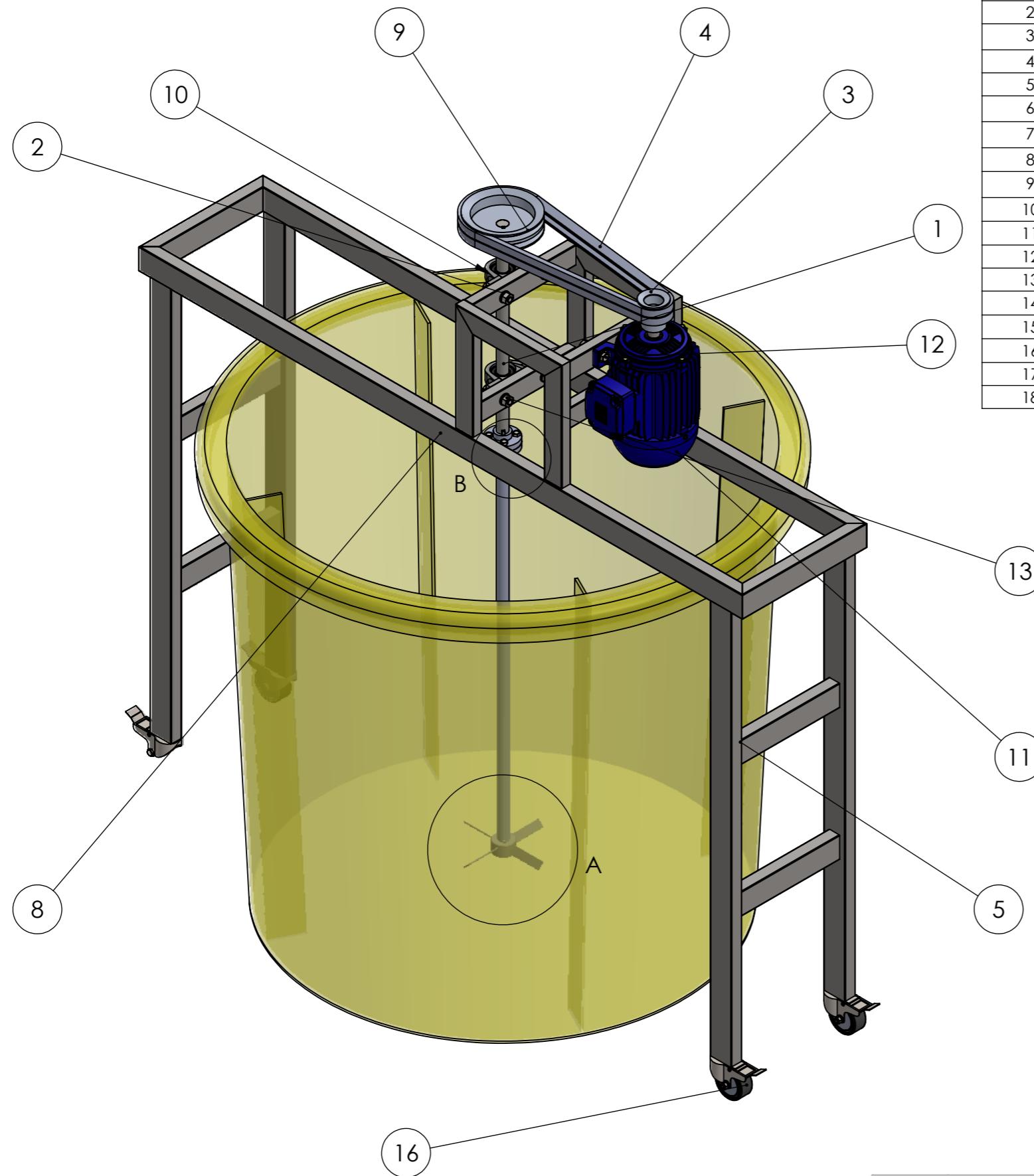
Chavetas Paralelas DIN 6885



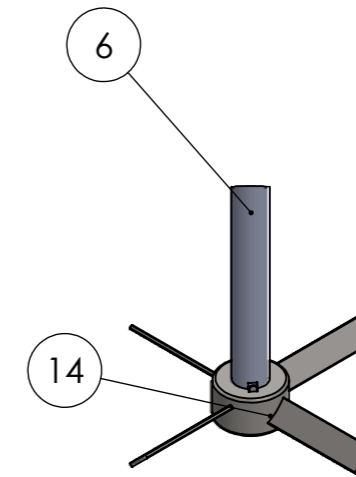
Sección de la lengüeta de ajuste (acero para chavetas DIN 6880)		Anchura b																								
		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25											
Altura h		2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	6	8	6	9	7	10	7	11	8	12	9	14	9	14
Para diámetro del eje $d1$ 3)		más de	6	8	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85										
		hasta	8	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95										
Chavetero del eje	Anchura b 4)	asiento fijo P9	Máxima	1,991	2,991	3,988	4,988	5,988	7,985	9,985	11,982	13,982	15,982	17,982	19,978	21,978	24,978									
		Minima	1,966	2,966	3,958	4,958	5,958	7,949	9,989	11,939	13,939	15,939	17,939	19,926	21,925	24,925										
	asiento ligero N9	Máxima	2	3	4	5	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000	18,000	20,000	20,000	25,000										
		Minima	1,975	2,975	3,970	4,97	5,97	7,964	9,954	11,957	13,957	15,957	17,957	19,948	21,948	24,948										
Profundidad l 5)	con juego en el lomo o aprieto dif. adm.	1,1	1,7	2,4	1,9	2,9	2,5	3,5	3,1	4,1	3,7	4,7	3,9	4,9	4,0	5,5	4,7	6,2	4,8	6,8	5,4	7,4	6,0	8,5	6,2	8,7
		+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2

ANEXO 10: Chavetas paralelas DIN 6885

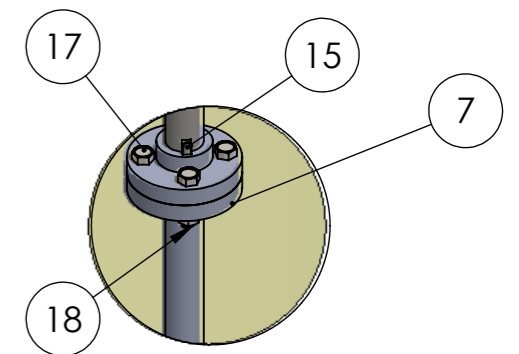
ANEXO II



N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE DE TRANSMISION	DIAMETRO 25,4 mm (1pulg)	1
2	ARANDELA	M12 mm	16
3	POLEA CONDUCTORA	DIAMETRO 635mm (2,5 pulg)	1
4	CORREA	A - 48 , 2 CANALES	2
5	RECIPIENTE	RESINA DE POLIESTER CON FIBRA DE VIDRIO	1
6	EJE DE IMPULSOR	DIAMETRO 25,4 mm (1pulg)	1
7	ACOPLE TIPO BRIDA	DIAMETRO 76 mm (3pulg)	2
8	ESTRUCTURA DEL AGITADOR	AISI 304 - 60X30X1,5/50X25X1,5	1
9	POLEA CONDUCTIDA	DIAMETRO 1651mm (6,5 pulg)	1
10	CHUMACERA	SKF SY/TF	2
11	MOTOR MONOFÁSICO 220V	1,1KW(1,5HP), 1720RPM	1
12	PERNO M12	M12x1,75x60	8
13	TUERCA M12	M12 x 1,75	8
14	IMPULSOR (AGITADOR)	TURBINA DE PALAS INCLINADA 45°	1
15	CHAVETA RECTANGULAR	DIN 6885- 6X6X40 mm	5
16	RUEDA SLIP DE CUERPO METALICO	AISI 304 - PLASTICO	4
17	PERNO M8	M8 x 1,25 x 35	4
18	TUERCA M8	M8 x 1,25	4

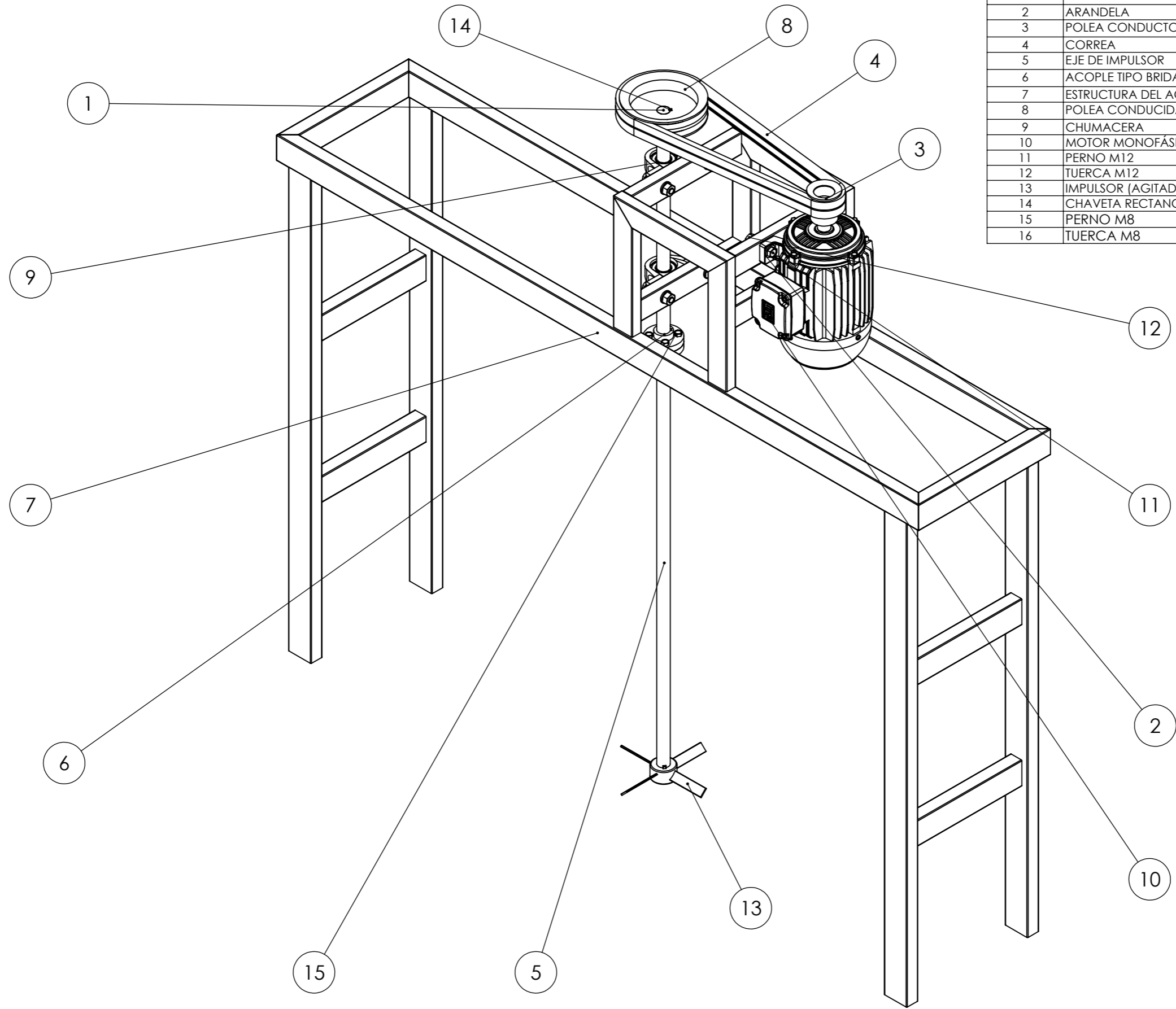


DETALLE A
ESCALA 1 : 5



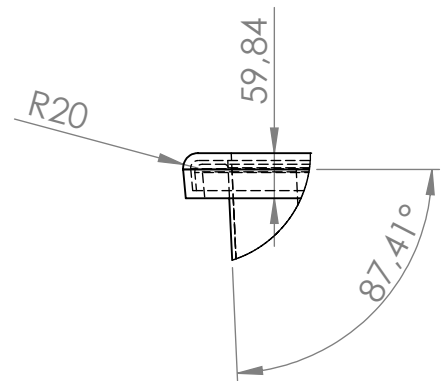
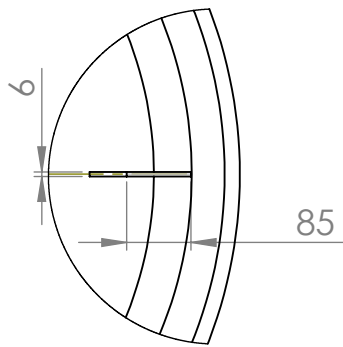
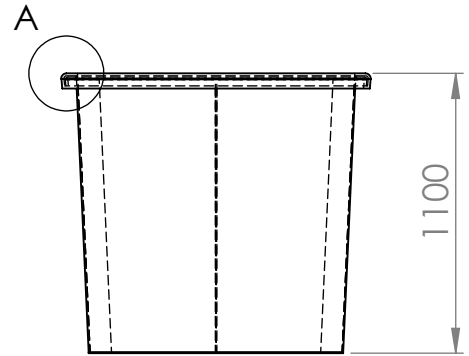
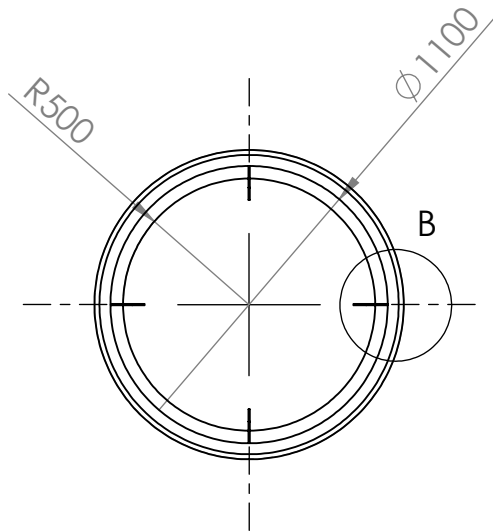
DETALLE B
ESCALA 1 : 5

NOMBRE	FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	TÍTULO:		
DISEÑADO POR: LUIS QUISPE CANDIA			CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2015 SP4	SISTEMA MECANICO DE AGITACION		
DIBUJADO POR: LUIS QUISPE CANDIA						
REVISADO POR: ING. VICTOR MALPARTIDA				PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO
REVISADO POR: ING. JESUS MEDINA SALAS				159446.66g	1:10	01
REVISADO POR: ING. AVELINO PARI						



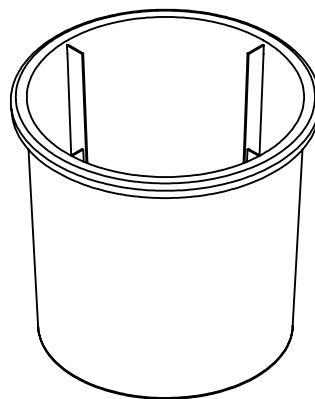
N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE DE TRANSMISION	DIAMETRO 25,4 mm (1pulg)	1
2	ARANDELA	M12 mm	16
3	POLEA CONDUCTORA	DIAMETRO 635mm (2,5 pulg)	1
4	CORREA	PERFIL A- A48, 2 CANALES	2
5	EJE DE IMPULSOR	DIAMETRO 25,4 mm (1pulg)	1
6	ACOPLE TIPO BRIDA	DIAMETRO 76 mm (3pulg)	2
7	ESTRUCTURA DEL AGITADOR	AISI 304 - 60X30X1,5/50X25X1,5	1
8	POLEA CONDUCTIDA	DIAMETRO 1651mm (6,5 pulg)	1
9	CHUMACERA	SKF SY/TF	2
10	MOTOR MONOFÁSICO 220V	1,1KW(1,5HP), 1720RPM	1
11	PERNO M12	M12x1,75x60	8
12	TUERCA M12	M12 x 1,75	8
13	IMPULSOR (AGITADOR)	TURBINA DE PALAS INCLINADA 45°	1
14	CHAVETA RECTANGULAR	DIN 6885- 6X6X40 mm	3
15	PERNO M8	M8 x 1,25 x 35	4
16	TUERCA M8	M8 x 1,25	4

NOMBRE	FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO	TÍTULO:		
DISEÑADO POR: LUIS QUISPE CANDIA			LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	AGITADOR MECANICO		
DIBUJADO POR: LUIS QUISPE CANDIA						
REVISADO POR: ING. VICTOR MALPARTIDA			CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2015 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO
REVISADO POR: ING. JESUS MEDINA SALAS				80543.10g	1:8	03
REVISADO POR: ING. AVELINO PARI						



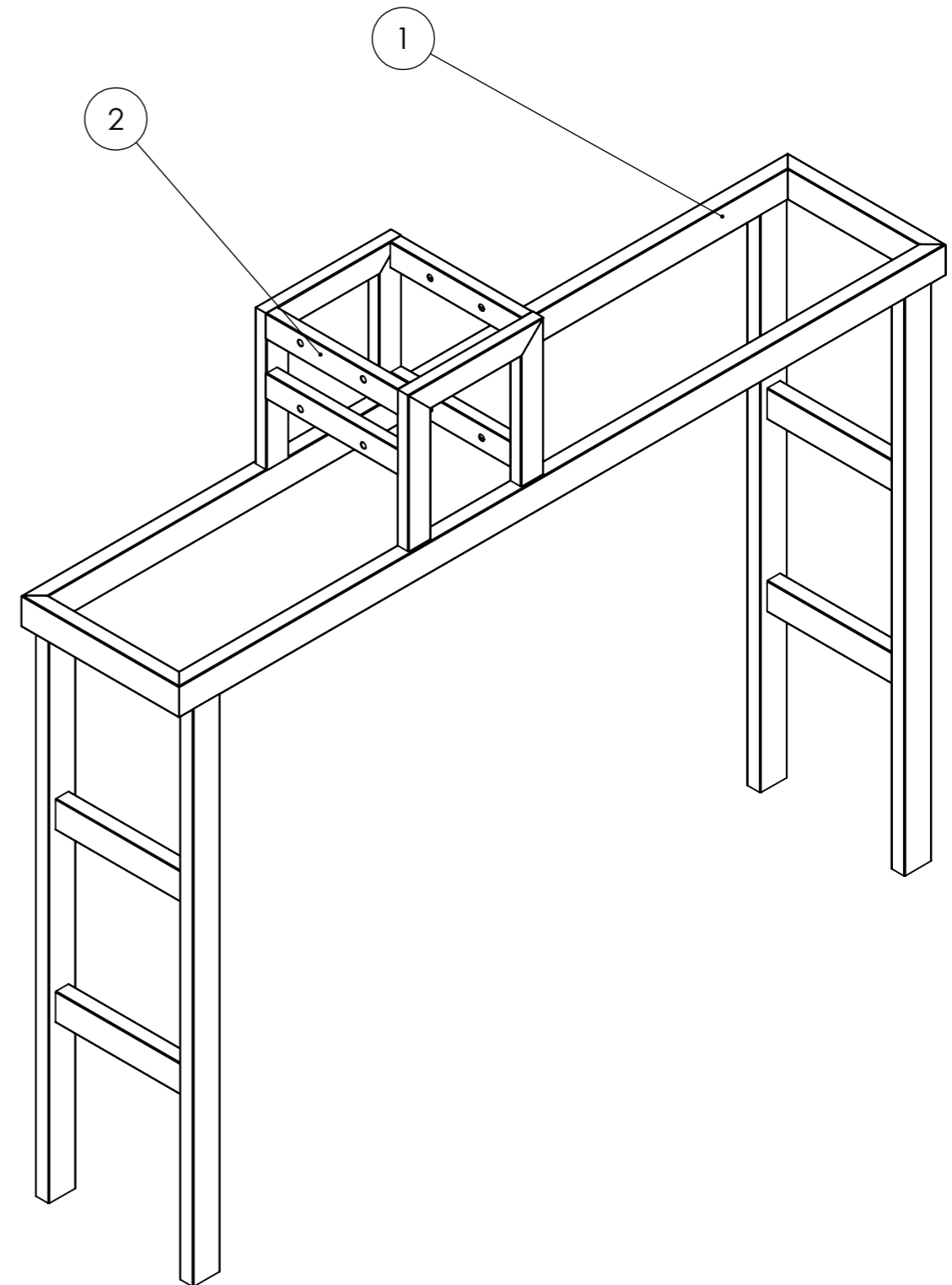
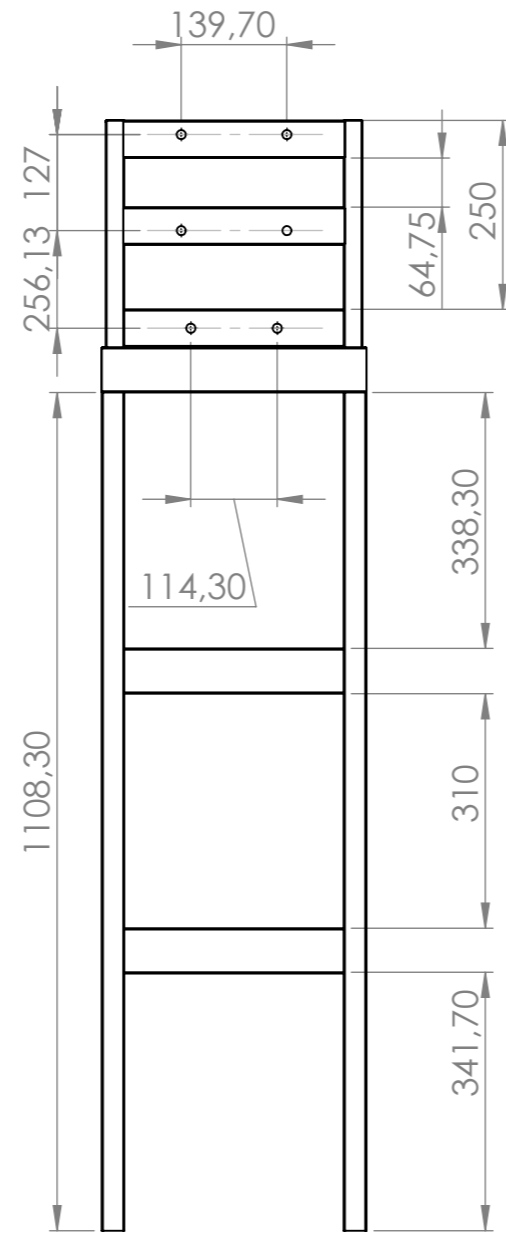
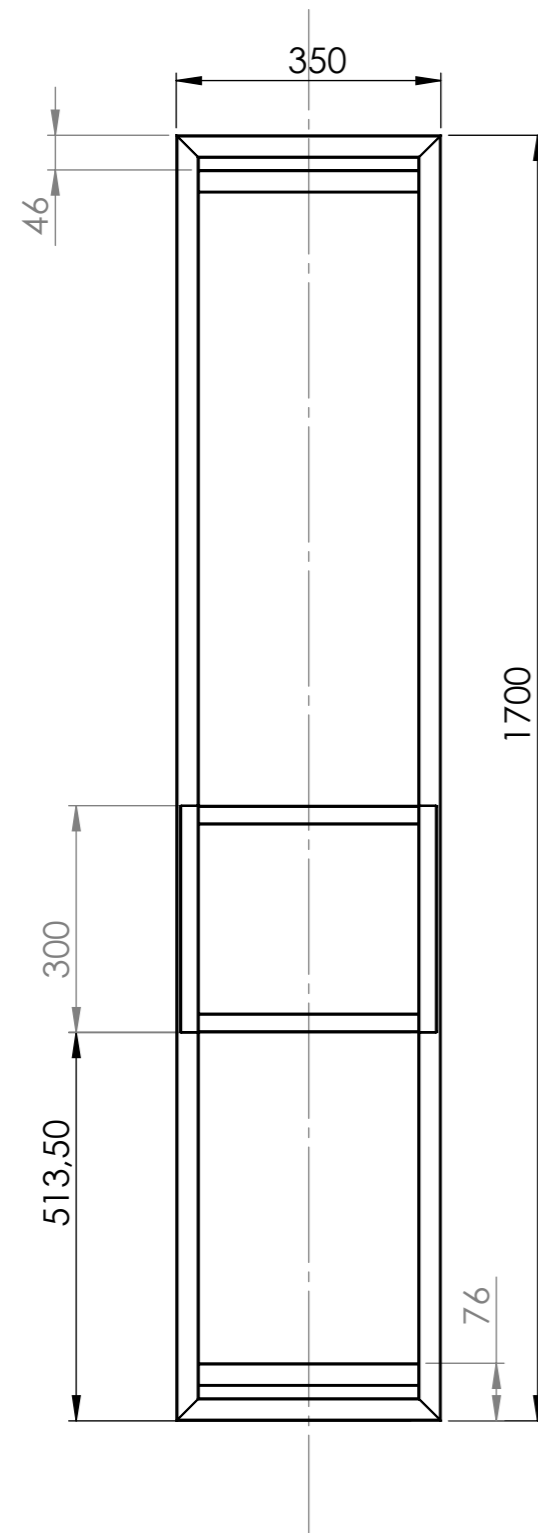
DETALLE B
ESCALA 1 : 10

DETALLE A
ESCALA 1 : 10

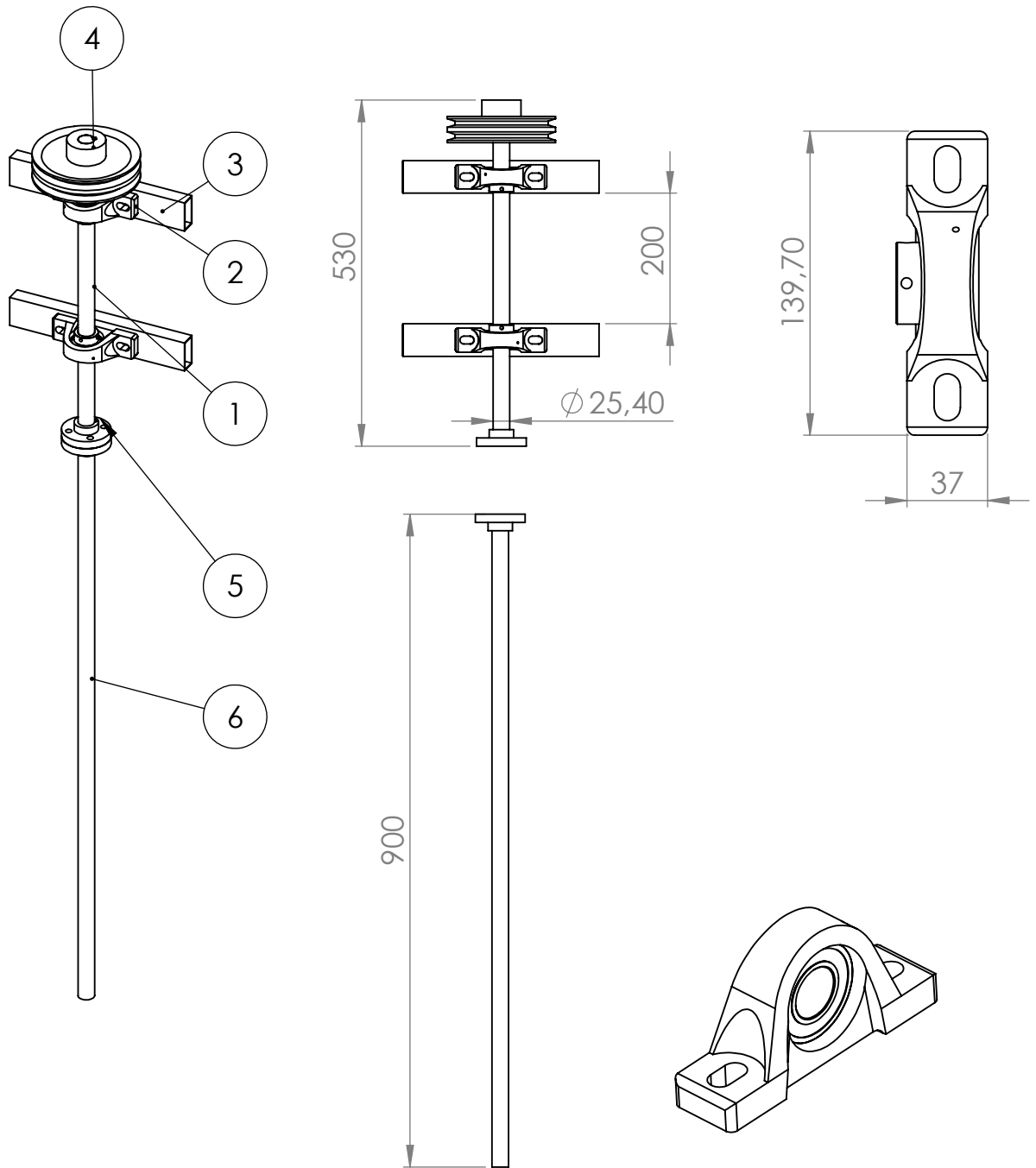


	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO	TÍTULO:			
DISEÑADO POR:	LUIS QUISPE CANDIA			LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	RECIPIENTE DE AGITACION			
DIBUJADO POR:	LUIS QUISPE CANDIA							
REVISADO POR:	ING. VICTOR MALPARTIDA			CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2014 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO	A4
REVISADO POR:	ING. JESUS MEDINA SALAS					1:30	04	
REVISADO POR:	ING. AVELINO PARI							HOJA 4 DE 9

N° DE ELEMENTOS	COMPONENTES	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
1	TUBO RECTANGULAR	AISI 304	AISI 304 - 60X30X1,5/50X25X1,5
2	TUBO RECTANGULAR	AISI 304	AISI 304 - 50X25X1,5

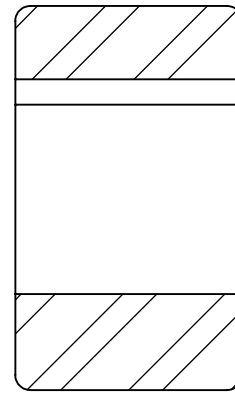
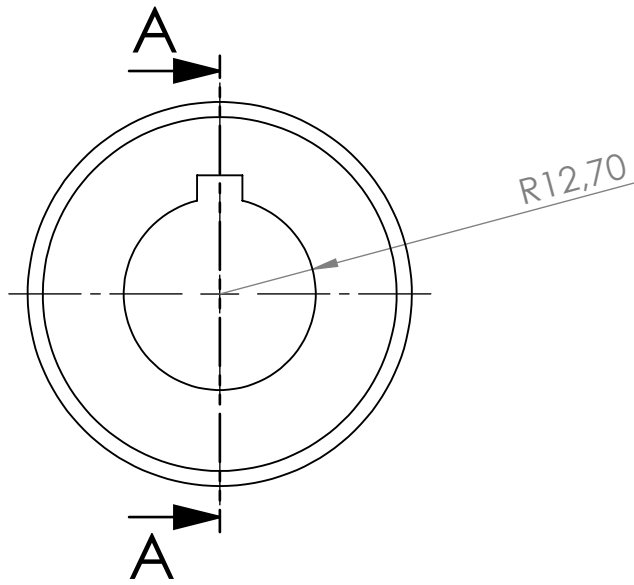


NOMBRE	FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO	TÍTULO:		
DISEÑADO POR: LUIS QUISPE CANDIA			LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	ESTRUCTURA		
DIBUJADO POR: LUIS QUISPE CANDIA						
REVISADO POR: ING. VICTOR MALPARTIDA			CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2014 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO
REVISADO POR: ING. JESUS MEDINA SALAS				24511.61	1:10	05
REVISADO POR: ING. AVELINO PARI						



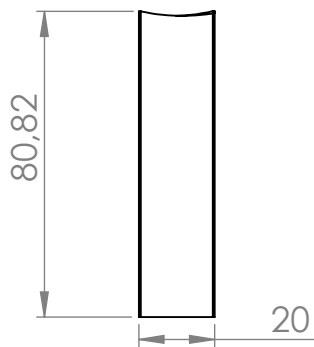
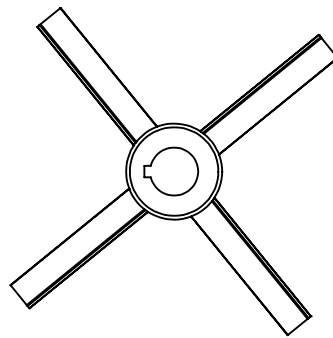
N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE DE TRANSMISION	DIAMETRO 25,4 mm (1pulg)	1
2	CHUMACERA	SKF SY/TF	2
3	TUBO RECTANGULAR	AISI 304 - 50X25X1.5	2
4	POLEA CONDUCTIDA	DIAMETRO 1651mm (6,5 pulg)	1
5	ACOPLE TIPO BRIDA	DIAMETRO 76 mm (3pulg)	2
6	EJE DE IMPULSOR	DIAMETRO 25,4 mm (1pulg)	1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	TÍTULO: EJE DE TRANSMISION Y DE IMPULSOR			
DISEÑADO POR:	LUIS QUISPE CANDIA							
DIBUJADO POR:	LUIS QUISPE CANDIA			CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2014 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO	A4 HOJA 6 DE 9
REVISADO POR:	ING. VICTOR MALPARTIDA				6723.67	1:10	06	
REVISADO POR:	ING. JESUS MEDINA SALAS							
REVISADO POR:	ING. AVELINO PARI							

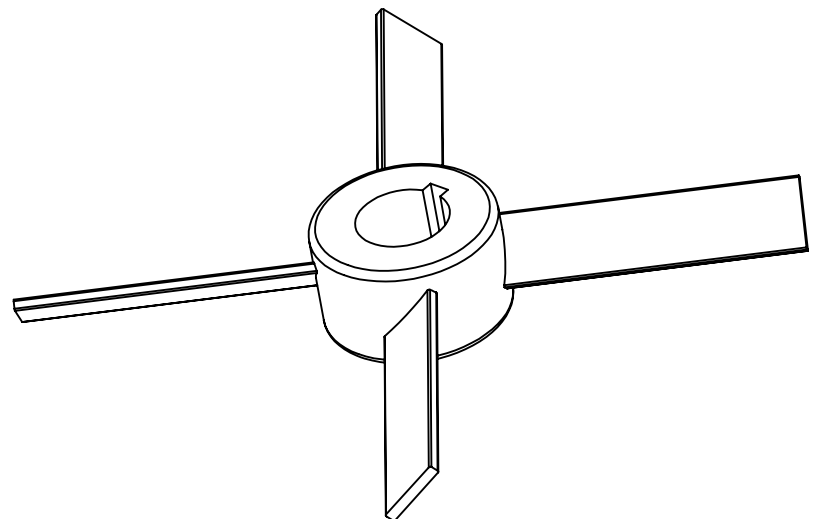


CORTE A-A

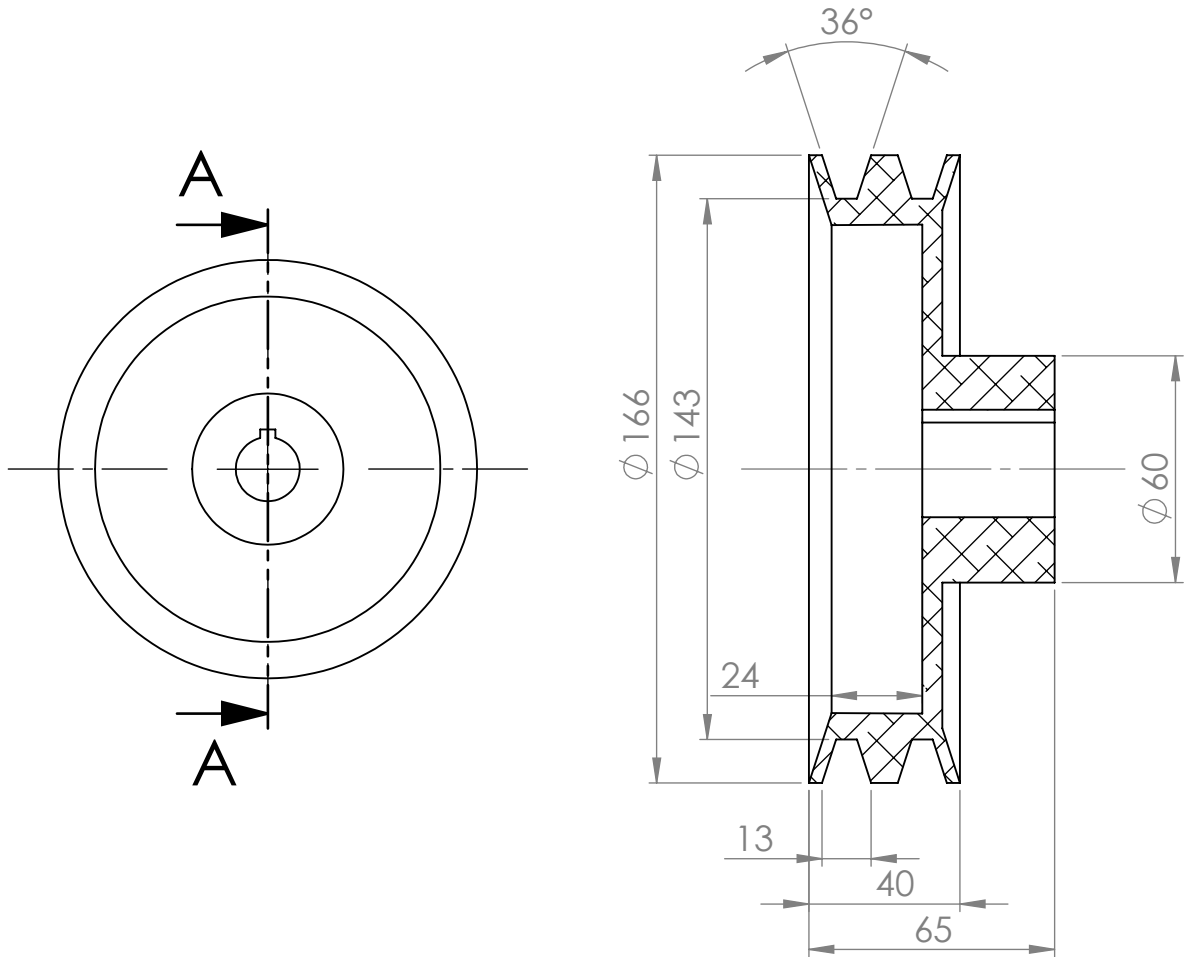
ESCALA 1 : 1



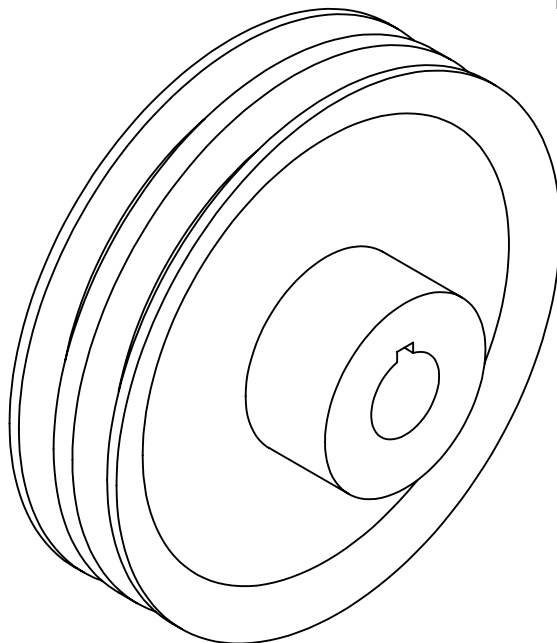
ESCALA 1 : 2



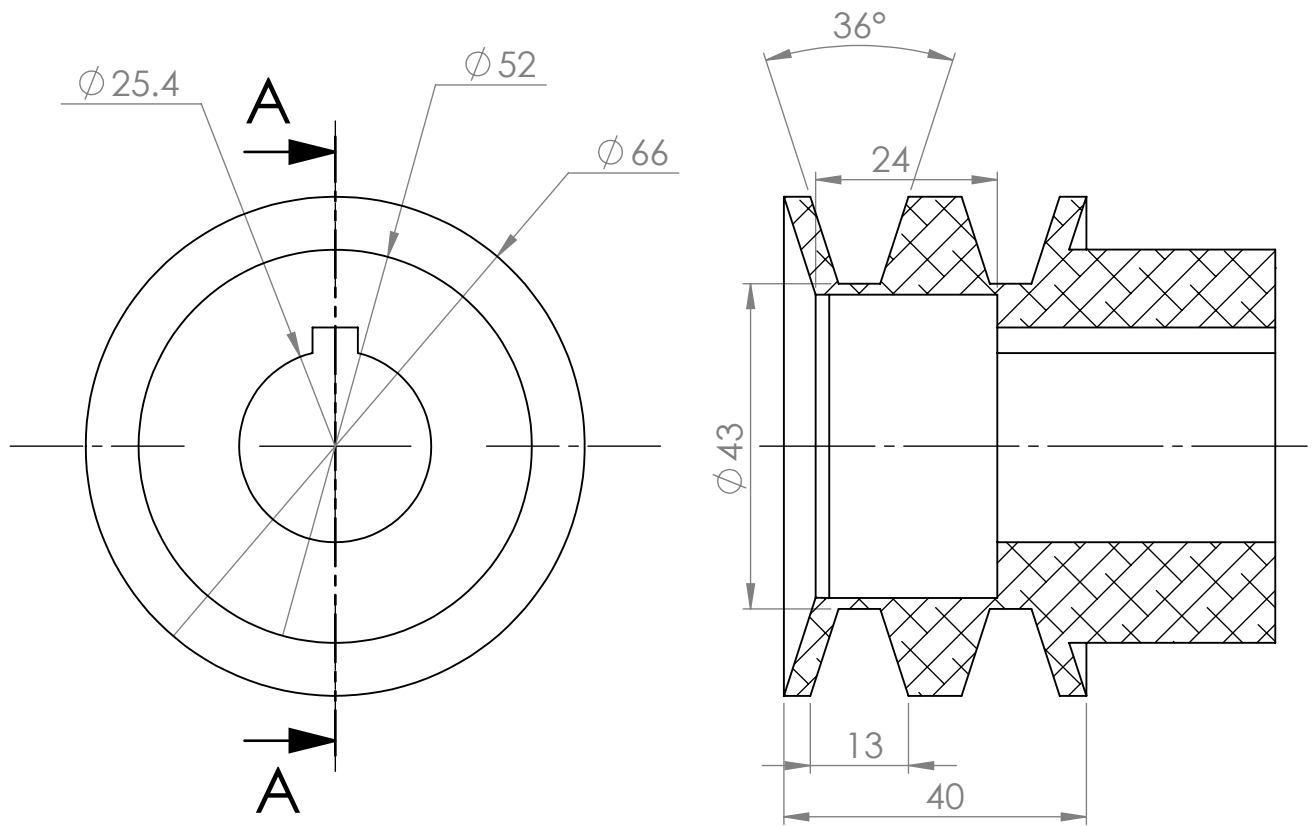
NOMBRE		FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO	TÍTULO:			
DISEÑADO POR: LUIS QUISPE CANDIA				LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	IMPULSOR DE PALAS INCLINADAS			
DIBUJADO POR: LUIS QUISPE CANDIA								
REVISADO POR: ING. VILTOR MALPARTIDA				CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2014 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO	A4
REVISADO POR: ING. JESUS MEDINA SALAS					511.17	1:2	07	
REVISADO POR: ING. AVELINO PARI								HOJA 7 DE 9



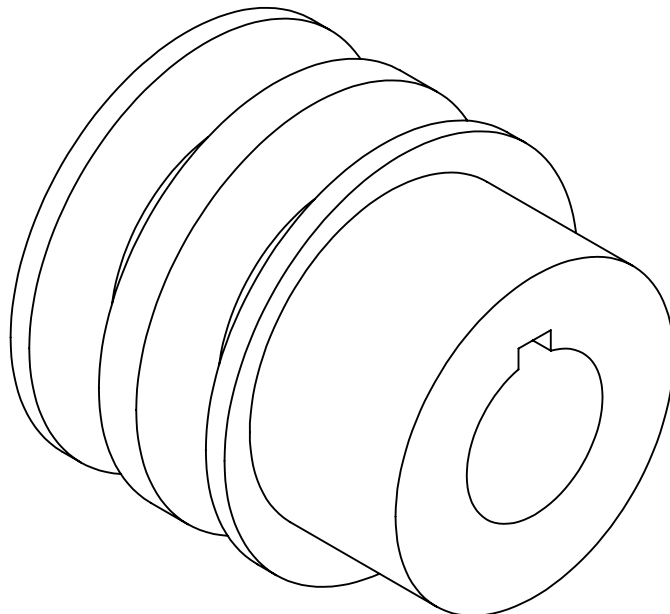
CORTE A-A
 ESCALA 1 : 2



NOMBRE		FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO	TÍTULO:			
DISEÑADO POR: LUIS QUISPE CANDIA				LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	POLEA CONDUCCIDA			
DIBUJADO POR: LUIS QUISPE CANDIA								
REVISADO POR: ING. VICTOR MALPARTIDA				CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2014 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO	A4
REVISADO POR: ING. JESUS MEDINA SALAS					874.70	1:2	08	
REVISADO POR: ING. AVELINO PARI								



CORTE A-A
 ESCALA 1 : 1



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DE NO INDICARSE LO CONTRARIO	TÍTULO:			
DISEÑADO POR:	LUIS QUISPE CANDIA			LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS	POLEA CONDUCTORA			
DIBUJADO POR:	LUIS QUISPE CANDIA							
REVISADO POR:	ING. VICTOR MALPARTIDA			CAD 2D/3D SOLIDWORKS 2014 SP4	PESO	ESCALA	N.º DE DIBUJO	A4
REVISADO POR:	ING. JESUS MEDINA SALAS				248.06	1:1	09	
REVISADO POR:	ING. AVELINO PARI							HOJA 9 DE 9