

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA
PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES
RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FÓSFORO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico

AUTOR:

Franco Renato Vela Ruiz

ASESOR:

Ing. Eliseo Benjamín Barriga Gamarra

CO-ASESOR

Dra. Sayda Estela Mujica Bueno

Lima, agosto, 2020

RESUMEN

La finalidad de la presente tesis es diseñar el módulo de desgomado de una planta piloto de producción de biodiesel cuya materia prima será a base de aceites comestibles residuales con alto índice de fósforo. El procedimiento también se usa para el aceite crudo de soya o de jatrofa llamada también piñón blanco por el alto porcentaje de fosforo que contienen. Para este fin se ha seleccionado la técnica de Desgomado TOP, la cual permite refinar el aceite (materia prima) para mejorar su calidad y por ende también el del producto final (biodiesel). Se hace una revisión bibliográfica sobre el método, el problema que se aborda y poder garantizar la calidad del producto final. Aplicando el “*método del diseño mecánico*” se buscó la solución más viable y óptima para el diseño del módulo de desgomado, habiéndose propuesto tres distintas opciones de solución. Se realizaron los cálculos de diseño acorde a la funcionalidad del proceso para luego elaborar los planos de ensamble general y despieces. Adicionalmente, se realizó un análisis económico tanto de los precios de la materia prima como de fabricación para el módulo de desgomado (incluye costos de equipos), y obtener como resultado un módulo el cual sea viable tanto tecnológica como económicamente.



DEDICATORIA:

A mis padres José Luis y Letty por haber confiado en mí todos estos años de carrera y de sacrificio para poder llegar a donde estoy ahora y seguir creciendo, muchos de mis logros son gracias a ustedes

A mi hermano Jorge Eduardo por siempre darme esos ánimos a su manera y darme ese coraje para no renunciar a mis sueños.

A mi hermosa esposa Leslie y a mis adoradas hijas Salomé y Valeria por ser mi motor y motivo para crecer como persona y profesional. Ellas que me acompañaran en este largo camino de la vida del cual me falta mucho por aprender, pero bastante por dar.

A todos ellos, gracias.



INDICE

INTRODUCCION	1
1. CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE	
1.1 .Necesidad de desarrollar nuevas fuentes de energía renovable	4
1.2 .Cultivos energéticos	5
1.3 .Biodiesel.....	6
1.3.1 Ventajas y desventajas del biodiesel respecto al diésel.....	8
1.4 Proceso de Producción	9
1.4.1 Etapa de pretratamiento.....	9
1.4.2 Esterificación para retirar los AGL	9
1.4.3 Desgomado para retirar las gomas	10
1.4.4 Desgomado	13
1.5 Lista de exigencias.....	16
2. CAPITULO 2: ELABORACION DE CONCEPTO DE SOLUCION	
2.1 Estructura de funciones	19
2.1.1. Proceso	19
2.2 Morfología de Máquina.....	21
2.2.1 Concepto de solución N°1	26
2.2.2 Concepto de solución N°2.....	27
2.2.3 Concepto de solución N°3.....	28
2.3 Determinación de concepto optimo.....	29
3. CAPITULO 3: DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO	
3.1 Selección de material.....	32
3.2 Cálculos	33
3.2.1 Mezclador	33
3.2.1.1Calculo de dimensionamiento	33
3.2.2 Velocidad de rotación de turbina	36
3.2.3 Calculo de potencia del agitador.....	37
3.2.4 Selección de motor de agitador.....	39

3.2.5 Selección de resistencia eléctrica.....	43
3.2.6 Calculo espesor del reactor (cilindro y cono)	44
3.2.7 Calculo del espesor de aislamiento	47
3.2.8 Calculo del diámetro del árbol de agitadores.....	48
3.2.9 Determinación de frecuencia natural o velocidad critica (W_n)	50
3.2.10 Análisis de fatiga en eje de mezclador.....	51
3.2.11 Espesor de paletas	54
3.2.12 Calculo de chaveta (unión por forma del árbol – agitador)	56
3.2.13 Calculo del cubo superior del eje de mezclador	59
3.2.14 Calculo del cubo inferior del eje de mezclador.....	59
3.2.15 Calculo de tornillo de cabeza hexagonal interior.....	56
3.2.16 Selección de tornillo para impedir el movimiento de cubo inferior .	61
3.2.17 Cálculo de uniones soldadas	62
3.2.18 Cálculo estructural	65
3.2.18.1 Cálculo de soporte de motor.....	66
3.2.18.2 Cálculo de columna soporte	69
3.2.19 Cálculo del depósito de aceite.....	72
3.3 Descripción de Separador Centrífugo	73
3.4 Selección de válvula de 3 vías.....	74
3.5 Controlador de temperatura y tiempo.....	75
3.6 Diseño final	76
4. CAPITULO 4: COSTOS REFERENCIALES DE FABRICACION	77
5. CAPITULO 5: PLANOS	79

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 80

BIBLIOGRAFIA..... 82

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Lista de rango de acidez por materia prima.	9
Tabla N°2: Comparación entre distintos métodos de desgomado.	15
Tabla N°3: Evaluación técnica de los conceptos de solución.....	29
Tabla N°4: Evaluación económica de los conceptos de solución	30
Tabla N°5: Densidades y viscosidades cinemáticas de sustancias presentes	37
Tabla N°6: Datos de motor 0.25kw/0.33HP ABB	40
Tabla N°7: Datos de motor 0.75kw/1 HP ABB.....	41
Tabla N°8: Separador Centrifugo seleccionado.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Absorción del CO ₂ en el caso del Biodiesel (ciclo cerrado) y eliminación del CO ₂ al ambiente en el caso de Diesel de petróleo (ciclo abierto).....	5
Figura N°2: Reacción química de la transesterificación.....	6
Figura N°3: Principales procesos de la etapa de pretratamiento.....	13
Figura N°4: Esquema del proceso de desgomado: Primera etapa: Desgomado con agua (azul) y segunda etapa: Desgomado ácido (rojo)	21
Figura N°5: Concepto de solución 1	26
Figura N°6: Concepto de Solución 2	27

Figura N°7: Concepto de Solución 3	28
Figura N°8: Diagrama de evaluación Técnico – Económico	31
Figura N°9: Esquema general del módulo de desgomado	33
Figura N°10: Dimensiones importantes de tanque de mezclador	35
Figura N°11: Numero de Potencia N_p vs Numero de Reynolds	39
Figura N°12: Tanque de mezclador (forma cilindro-cónica).....	44
Figura N°13: Distribución de presiones en parte cónica	45
Figura N°14: Distribución de esfuerzos en parte cilíndrica.....	45
Figura N°15: Eje de agitador de turbina	48
Figura N°16: Diagrama Haigh	51
Figura N°17: Izquierda: disposición y dimensiones de las paletas. Derecha: Diagrama de cuerpo libre de una paleta, vista de la parte superior.....	55
Figura N°18: Unión árbol-cubo inferior	57
Figura N°19: Dimensiones para chavetas paralelas según DIN – 6885	58
Figura N°20: Sujeción de la unión cubo superior-eje mediante prisioneros	59
Figura N°21: Sujeción de la unión disco de seguridad-eje mediante prisioneros.	61
Figura N°22: Estructura del módulo de desgomado	66
Figura N°23: Flexión causada por el torque nominal del motor.....	69
Figura N°24: Coeficiente w de pandeo.....	71
Figura N°25: Separador centrifugo de discos	74
Figura N°26: Posición de válvula para la primera fase del desgomado	74

Figura N°27: Posición de válvula para con trayectoria del aceite desgomado a la fase de transesterificación.	75
Figura N°28: pantalla de caja principal – botonera para equipo de desgomado (imagen referencial)	75
Figura N°29: Vista del diseño final	76



INTRODUCCION

En el último siglo la demanda de energía en las actividades diarias del ser humano ha ido en aumento, un claro ejemplo es el consumo de los llamados combustibles fósiles, los cuales son utilizados en su mayoría en vehículos y fábricas. Sin embargo, su excesivo y constante uso ha hecho que los gases producto de su combustión emitidos al medio ambiente estén provocando un impacto ambiental negativo a la atmosfera, generando un problema a nivel mundial y la urgente necesidad de contrarrestarlo, y disminuir las emisiones de estos gases, llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los GEI se encuentran en la atmósfera reteniendo el calor solar dentro de la Tierra. La alta concentración de estos gases producidos por la actividad humana ocasiona que la temperatura del aire y de la superficie terrestre aumente más allá de los niveles normales [1].

Una de las alternativas de producción de un combustible limpio y renovable es el Biodiesel mezclado con el Diésel de petróleo (este último es el que más gases del efecto invernadero genera) [2]; El uso de un combustible de otras fuentes energéticas también aporta a disminuir la demanda del combustible fósil. Se estima que las reservas mundiales de petróleo solo durarían hasta los próximos 50 años [3].

Actualmente existe gran interés por fuentes alternativas de abastecimiento energético *a fin de mantener los actuales ritmos de crecimiento y al mismo tiempo tener en cuenta la protección del ambiente* [2], por tal motivo se ha visto una fuerte tendencia al aumento de búsqueda y uso de combustibles renovables. Por otro lado, los países desean dejar de depender del petróleo y sus derivados, por ser éste mayormente importado y por la preocupación ambiental que generan sus emisiones a la atmosfera [3]. El Perú no es ajeno a esta problemática [4], donde los niveles de contaminación en el aire son altos y las normas impuestas mediante el DS-N°021-2007-EM [5]

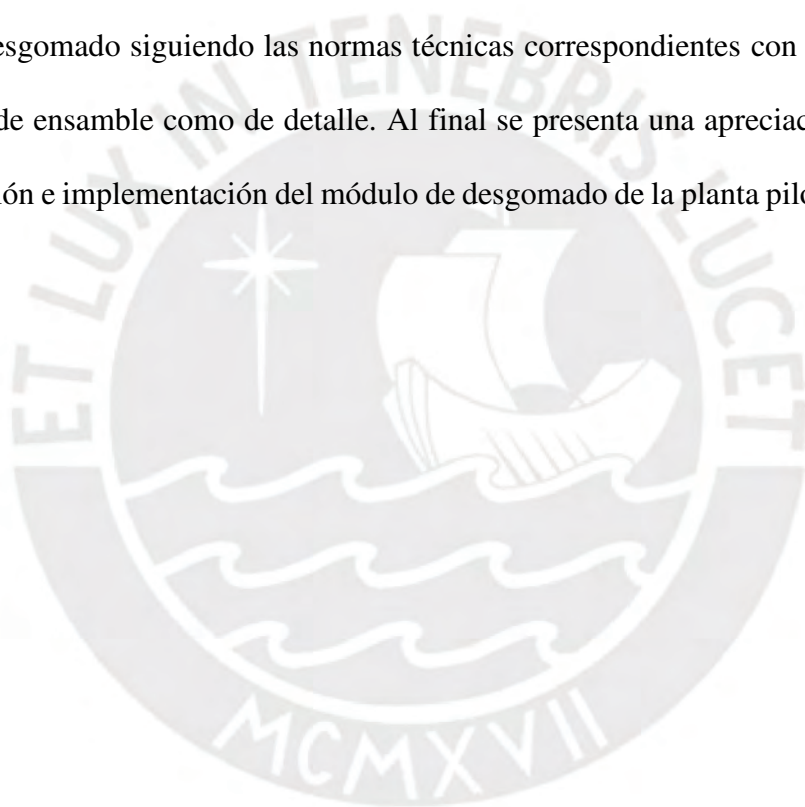
sobre los combustibles fósiles, indican incluir un porcentaje de biocombustible para la comercialización, a fin de disminuir la polución en la ciudad. En el caso del Diésel, éste estará constituido, en volumen, de un mínimo de 5% de Biodiésel y 95% de Diésel.

Existen diversas materias primas para la producción de biodiesel, las grasas de animales [6], los aceites vírgenes de las plantas oleaginosas, los aceites comestibles residuales, los aceites de las algas [7], etc. Un insumo que cobra gran importancia son las algas oleaginosas; ellas son capaces de desarrollarse sobre sustratos artificiales como madera o botellas, en lagunas, ciénagas, pantanos, nieve, lagos de agua dulce o salina, sobre rocas, etc. Por lo que no es difícil encontrar zonas para cultivarlas; además presentan una tasa de crecimiento mucho mayor y la producción de aceite por área está estimada entre 4.6 y 18.4 l/m², esto es de 7 a 30 veces mayor que los mayores cultivos oleaginosos terrestres [8].

En la Pontificia Universidad Católica del Perú el Equipo de Seguridad – Ambiente – Calidad (Eq-SAC) conformado por profesores de la Facultad de Ciencias e Ingeniería vienen trabajando en la construcción de una planta piloto para la producción de Biodiesel, usando como insumo principal a los aceites comestibles residuales con la intención de darles valor agregado a estos residuos transformándolos en biodiesel como se viene haciendo en muchos países del mundo. Por otro lado, el Piñón Blanco (*Jatropha curcas*), la Higuera (*Ricinus communis*), etc. que crecen en zonas desérticas y no compiten con la seguridad alimentaria por el uso de los recursos de la tierra para la agricultura ofrecen alternativas de materia prima para la producción de biodiesel por medio de los aceites crudos de sus semillas. Para usar el aceite crudo o recién extraído de estas plantas, en la producción de biodiésel, se recomienda una etapa de pretratamiento que puede involucrar tanto

una etapa de desgomado como de esterificación si los aceites tuvieran alto contenido de fósforo y de ácidos grasos libres respectivamente.

Esta tesis tiene como finalidad diseñar los elementos mecánicos de la etapa de desgomado, en ella se explica el procedimiento de cómo se llega a la solución óptima final, repasando las opciones de evaluación y descarte según la metodología del diseño. Así mismo se explica y justifica las características de la opción seleccionada. Se realizan diversos cálculos para el dimensionamiento del módulo de desgomado siguiendo las normas técnicas correspondientes con el fin de elaborar los planos tanto de ensamble como de detalle. Al final se presenta una apreciación de los costos para la construcción e implementación del módulo de desgomado de la planta piloto de producción de biodiesel.



CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE

1.1. Necesidad de desarrollar nuevas fuentes de energía renovable:

Hoy en día el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, leña) son primordiales para poder generar energía. El petróleo es la principal fuente mundial de energía. No obstante, se ha demostrado que hay aumento de las emisiones de los “Gases de Efecto Invernadero (G.E.I.)” como consecuencia del uso de los combustibles fósiles especialmente el petróleo. Los GEI se encuentran en la atmosfera reteniendo el calor solar dentro de la Tierra. La alta concentración de estos gases producida por la actividad humana ocasiona que la temperatura del aire y de la superficie terrestre aumente más allá de los niveles normales [1].

Además, la presencia de Azufre en la atmosfera, producto de los gases de combustión, que se eliminan al ambiente originan enfermedades respiratorias crónicas. Un panel de expertos de la ONU advirtió que es necesario eliminar el uso sin restricciones de los combustibles fósiles para el año 2100, si es que se quiere evitar un peligroso cambio climático, por medio del aumento de temperatura global en 1.5 grados centígrados [10].

Por tales motivos se plantea como solución inmediata el uso de combustibles alternativos los cuales no aporten compuestos dañinos como el CO, CO₂, NO_x, SO_x a la atmosfera que generan el petróleo y sus derivados tradicionales. El biodiesel se presenta como un combustible alternativo el cual no genera un aumento neto de CO₂ al medio ambiente ya que este será absorbido por otra planta en el proceso natural de fotosíntesis lo cual permite minimizar su presencia en la atmosfera. La figura N°1 ilustra de manera general el ciclo cerrado de adsorción del CO₂ que se produce en la combustión de Biodiesel, en éste caso son las plantas que mediante la fotosíntesis por acción

del sol asimilan el CO_2 , mientras que en el caso de los combustibles fósiles el CO_2 pasa a la atmosfera.

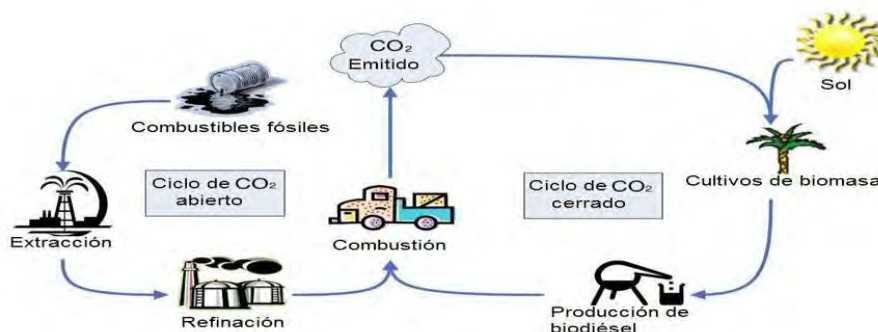


Figura N°1: Absorción del CO_2 en el caso del Biodiésel (ciclo cerrado) y eliminación del CO_2 al ambiente en el caso de Diesel de petróleo (ciclo abierto) [8].

1.2. Cultivos energéticos

La producción de biodiésel a partir de plantas oleaginosas que no compitan con la seguridad alimentaria por los recursos para la producción agrícola de alimentos ha volcado sus esperanzas en aquellos cultivos oleaginosos, que presenten las siguientes condiciones: i) Las semillas tienen alto porcentaje de aceite, ii) no exista competencia por ser alimento y iii) que crezcan en zonas áridas. Entre los cultivos que cumplen con estos requerimientos destacan la colza (*brassica napus*), piñón (*jatrofha curcas*) e higuerrilla (*ricinus communis*) [11].

Por otro lado, el aceite obtenido por expulsión mecánica o extracción con disolvente se denomina aceite "crudo", ya que contiene impurezas. Algunas de las impurezas, tales como fragmentos de semillas y harina se pueden quitar fácilmente por filtración. Otras, como los ácidos grasos libres, hidrocarburos, cetonas, tocoferoles, fitosteroles, glicolípidos, fosfolípidos, proteínas, pigmentos y resinas, son solubles o forman suspensiones coloidales estables en el aceite y tienen efectos desfavorables sobre el sabor, olor, apariencia y en la vida útil del aceite, y, por lo tanto, tienen que

ser retirados de los aceites vegetales por procesos de refinado químico o físico [12]. Las semillas de oleaginosas como soja, algodón, girasol, colza piñón blanco, higuera, coco de las cuales se extra el aceite son fuentes ricas en fosfolípidos, que se sabe pueden inhibir la reacción de transesterificación por la que se transforman los aceites crudos y metanol en biodiesel [13]. La eliminación de este tipo de impurezas se hace mediante el desgomado.

1.3. Biodiesel:

Según la ASTM (American Standards for Testing and Materials), el Biodiesel está compuesto por *“ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión”* [9]

El proceso de producción de biodiesel más generalizado se hace mediante la reacción química conocida como Transesterificación, la cual puede usar tanto catalizadores básicos, ácidos como enzimáticos. También se realiza usando altas temperaturas y presiones es decir usando condiciones supercríticas [14] Los productos de esta reacción son esterres, de metanol o esterres de etanol; según se use metanol o etanol en la reacción a los que comúnmente se les llama biodiesel; para ello se requiere mayor cantidad de alcohol que lo que indica la estequiometría de la reacción:

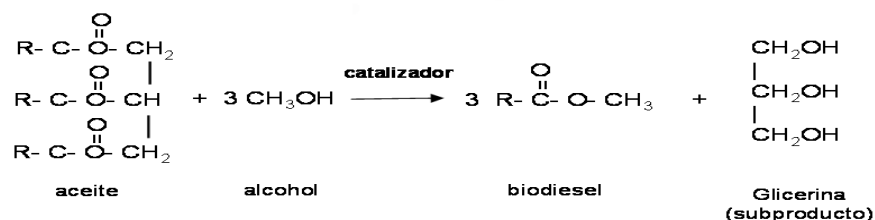


Figura N°2: Reacción química de la transesterificación

Como antes se ha mencionado Existen diversas formas para realizar el proceso de transesterificación, según el tipo de catalizador que se use se puede clasificar en:

- Transesterificación enzimática, si hace uso de enzimas como la lipasa
- Transesterificación ácida, si el catalizador es un ácido como H_2SO_4
- Transesterificación supercrítica, cuando se hace uso de altas presiones y temperaturas.
- Transesterificación alcalina, cuando el catalizador es una base como KOH, NaOH

Las propiedades del Biodiesel son muy semejantes a las del Diésel, motivo por el cual puede ser utilizado puro o en mezclas en distintos porcentajes con el Diésel. Estas diluciones poseen una nomenclatura “Bxx” donde el sufijo “xx” indica el porcentaje del biocombustible en la mezcla Biodiésel-Diésel. A diferencia de los combustibles fósiles, este biocombustible posee bajo contenido de azufre debido a la presencia de oxígeno en su composición química, haciendo que la combustión realizada sea más eficiente y por ende se reduzcan las emisión de partículas de otros contaminantes de tipo G.E.I. [2].

Otro dato adicional que debe ser mencionado es que el Biodiesel a producir debe cumplir con las normas y estándares de calidad (*Ver. Anexo 1*) para poder ser utilizados sin problemas en los motores, en el Perú se tiene la NTP 321.125

1.3.1. Ventajas y desventajas del biodiesel respecto al diésel:

Entre las principales ventajas que puede proporcionar el biodiesel son [15]:

- Se trata de un recurso biodegradable y no toxico, por si ocurre algún derrame no deseado.
- La reserva de este combustible es muy grande por ser renovable y permite el auto abastecimiento.

- El porcentaje de sulfuros en su composición química es muy bajo por lo que la contaminación hacia el aire y/o medio ambiente con azufre es mínima.
- El motor donde será usado no necesita de adaptaciones especiales para su uso. Además de poseer mayor lubricidad que el diésel fósil, por lo que la vida útil de los motores se acrecienta.
- Explotan a temperaturas aproximadamente cercanas a 150°C, esto adicionalmente hace que su manipuleo y transporte sean más seguros.

Entre las principales desventajas que puede proporcionar el biodiesel son:

- El poder calorífico que presenta es muy bajo afectando la potencia y consumo del motor.
- Si se produce un biodiesel de baja calidad, es decir bajo número de cetano ($Z < 70$) las emisiones de NOx se asemejarían a las emisiones del diésel fósil.
- Presenta problemas de viscosidad y se puede congelar a bajas temperaturas generando depósitos en los motores.
- Debido a su alta solubilidad no debe ser almacenado en tanques de cobre, plomo, zinc, estaño y aleaciones. Además de depositarse en tanques limpios puesto que los motores podrían ser contaminados con partículas e impurezas provenientes de los tanques causando obstrucciones en los filtros [15].
- Costos de producción elevados.

1.4. Proceso de Producción:

1.4.1. Etapa de pretratamiento:

Entre los insumos que pueden ser considerados para la fabricación de biodiesel aparte de los aceites vírgenes; pero de menor calidad y menor costo se pueden considerar a los aceites crudos, las grasas animales, aceites usados y/o residuales, etc. pero son de baja calidad porque pueden contener cantidades de Ácidos Grasos Libres (AGL), agua y en el caso de los aceites crudos de jatrofa y soya también contienen fosfolípidos; también en el caso de los aceites comestibles residuales estos pueden contener fosfolípidos debido a los alimentos que se han usado en el proceso de fritura, entre otras impurezas, que dificultan el proceso de transformación a biodiesel [4], por ello se hace necesarias procesos de pretratamiento o acondicionamiento de la materia prima

1.4.2 Esterificación para retirar los AGL

Una de las características más problemáticas de los aceites de desecho es su alto porcentaje de AGL que deben ser retirados. Se llaman AGL a los ácidos grasos que tienen un grupo ácido pero que no está unido a un alcohol; normalmente en los aceites estos ácidos grasos están unidos al alcohol glicerol conformando Triglicéridos que son los componentes químicos de los aceites; pero como AGL se encuentran flotando libres en el líquido del aceite [6].

La tabla 1 presenta los rangos de acidez de algunas materias primas baratas [4]:

MATERIA PRIMA	RANGO DE ACIDEZ
Aceites de conina usados	2 - 7 %
Grasa animal	5 - 30%
Trampa de grasa	≈ 100 %

Tabla 1: Lista de rango de acidez por materia prima

Diversos autores indican que para la producción de Biodiesel hay necesidad de contar con aceites cuyo porcentaje de acidez sea menor a 3% [14] a mayor grado de acidez menor grado de conversión de los aceites en Biodiesel porque los AGL se convierten en jabón, por ello la mayoría de los procesos de producción han optado por añadir una etapa previa de Esterificación. Mediante la esterificación se baja el porcentaje de acidez del aceite, los AGL son transformados en Biodiesel y agua; este último debe ser también retirado del proceso [16].

1.4.3. Desgomado para retirar las gomas

Como en el párrafo 1.2 se indica el uso de aceites vegetales crudos sin desgomado puede ocasionar varios inconvenientes durante o después de la reacción de transesterificación.

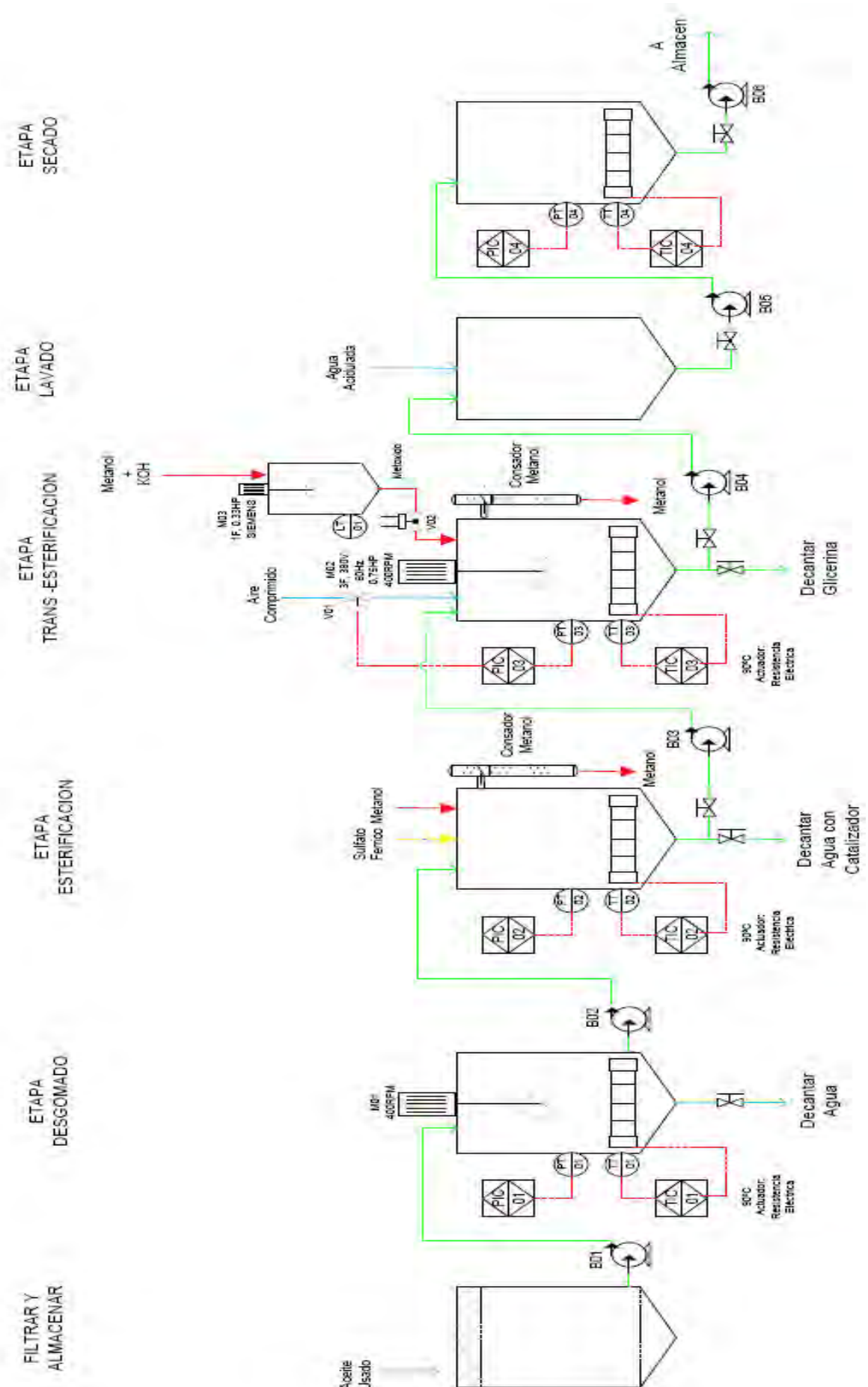
El fósforo (encontrado en los fosfolípidos de los aceites) en el biodiesel aumenta la cantidad de material particulado en los gases del escape y el nivel de cenizas sulfatadas. Las cenizas sulfatadas se relacionan con la formación de depósitos en los motores [6]. Por lo tanto, los altos niveles de fósforo en el biodiesel indican la insuficiencia de tanto en el diseño del proceso productivo como en el tratamiento de la materia prima [17]. En aquellos casos en los que el aceite vegetal no es totalmente desgomado, el contenido de fósforo de la materia prima puede ser de hasta a 200 ppm para la soja, o 400-500 ppm en el aceite de coco y las normas técnicas internacionales (EN 14214, ASTM D 4951) así como la NTP 321 .125 establecen un contenido máximo de fósforo en el Biodiesel de 10 ppm. Los resultados de Canaksi y Van Gerpen mencionan que una vez realizado el proceso de Esterificación y Transesterificación en el caso de los ACR y de grasas de animales, los productos no se separan en glicerina y Biodiesel, sino hasta después de haber sido lavados con agua desionizada caliente, además después del lavado se observó la formación de una capa no soluble en el Biodiesel, ni en el agua de lavado a la que ellos llaman “Interfase” ellos sospechan

de la presencia de calcio, proteínas en esta fase. Por otro lado G. Mendow (2009) [17] alerta sobre la presencia de fósforo y otras impurezas durante el proceso productivo de Biodiesel y Kuan-Ting Liu (2012) [18] indica que este contaminante inhibe al catalizador durante la reacción de transesterificación, lo que afecta el ratio de conversión de los aceites en biodiesel, adicionalmente las emulsiones que se forman hacen difícil la separación del biodiesel y glicerol. Ensayos previos a nivel de laboratorio por Eq-SAC permitieron retirar mediante desgomado un porcentaje de sustancias blanquecinas de los aceites vegetales. Estos argumentos hacen que algunos autores consideren la necesidad de incluir en el proceso de producción de Biodiesel una etapa de desgomado [19], cuando se trata de ACR de soya, Jatropha entre otros que pudieran tener un alto contenido de fósforo.

Según Oybek Zufarov, los aceites que no pasan por un debido proceso de desgomado presentan impurezas tales como: cetonas, glucolípidos, fosfolípidos, ácidos grasos, hidrocarburos, proteínas, resinas entre otros los cuales afectan con efectos desfavorables en textura, olor, apariencia, y vida útil del aceite. El proceso de desgomado total o sus siglas en holandés (TOP) está diseñado para tratar el aceite eliminando las impurezas como fosfolípidos, gomas, metales residuales y mejorar el performance del producto final, el biodiesel [20].

El siguiente esquema presenta las etapas del proceso de producción que se considera en la planta piloto para producción de biodiesel.

[3] PROPUESTA GENERAL DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE BIODIESEL PARA ACEITES CON ALTO ÍNDICE DE FÓSFORO Y DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES (Barriga Eduardo. 2011)



La propuesta de la etapa de Pretratamiento de los aceites con alto índice de fósforo y de AGL como es el caso de *Jatropha c.*, *soya* y de aceites comestibles residuales muy reusados comprende:

Una etapa de filtrado de los aceites, los aceites filtrados son almacenados por corto tiempo para pasar por las etapas de desgomado y esterificación.

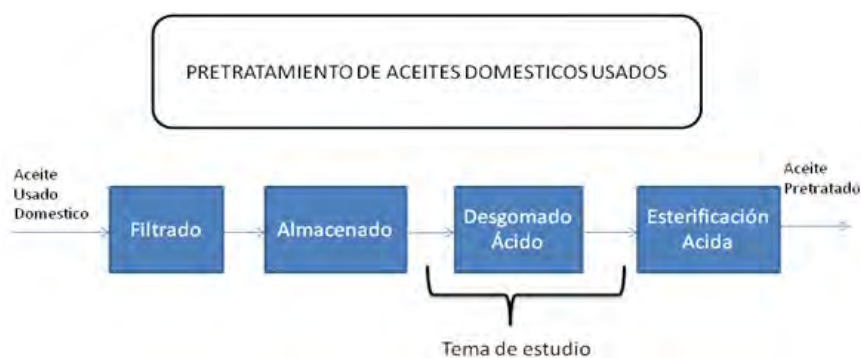


Figura N°3: Principales procesos de la etapa de pretratamiento

1.4.4. Desgomado:

Se llama así al proceso por medio del cual se retiran las sustancias viscosas o gomas que se depositan en los aceites crudos de las plantas oleaginosas estas están conformadas por mezclas de fosfolípidos, azúcares y trazas de metales (que están presentes en los aceites crudos en aprox. 1 – 3 %). Este proceso permite eliminar estas sustancias que de otro modo pudieran dejar mayores residuos de carbono que el Diesel en la cámara de combustión, contaminar los filtros y al aceite lubricante en el sistema de los motores [18].

Los fosfolípidos en los aceites están presentes como hidratables y no hidratables

El método escogido para el desgomado es el método TOP (siglas del idioma holandés Tootal Ontslimings Process, que significa proceso de desgomado total) por DijKstra (1989) [21]

mediante el cual primero se realiza el desgomado con agua para retirar los fosfolípidos y demás gomas hidrosolubles. Luego para separar los fosfolípidos no solubles usa ácido fosfórico con la finalidad de separar los metales pesados de los fósforos. Se neutraliza el proceso con NaOH y por centrifugación se separa las gomas de los aceites y se puede pasar a la siguiente etapa del proceso productivo.

Este proceso de Desgomado es importante por las siguientes razones:

- Se retiran los componentes que inhiben la refinación del aceite y al catalizador, en el proceso de transesterificación para la producción de bio diésel
- Permite que la materia prima no se sedimente en el proceso de producción de biodiesel.
- Las gomas separadas, pueden ser utilizadas para la producción de Lecitina.
- Ofrece un producto que puede ser almacenado y/o transportado a largo plazo.
- Elimina Olores desagradables

Cabe mencionar que este documento sigue las características, bases o requerimientos técnicos planteados en el trabajo de tesis por el Ing. Eduardo Barriga Moreno [3] desarrollado anteriormente

La siguiente tabla presenta los pasos del Desgomado con agua, Desgomado ácido y del TOP desgomado. La secuencia de los pasos del Desgomado TOP es para la que se diseña el módulo motivo de este trabajo.

Tabla 2: Comparación entre distintos métodos de desgomado [20]

Desgomado con agua	Desgomado acido	Desgomado TOP
1. Calentamiento de aceite a 80°C	1. Calentamiento de aceite a 80°C	1. Se realiza el desgomado con agua
2. Mezcla de aceites calientes con agua desionizada (5% vol.)	2. Mezcla de aceite caliente con una solución acuosa de ácido cítrico al 30% (2% de volumen del aceite)	2. Calentamiento de aceite a 80°C
	3. Se agita la mezcla por 20 min	3. Se mezcla intensamente con ácido fosfórico al 14% en una proporción de 0.1% del PESO del aceite.
3. Se agita la solución entre 15-30 min. mediante un agitador	4. La mezcla se mantiene a 80°C hasta por 15 min.	4. Se deja reaccionar por 5 min. aprox.
	5. Se enfría a 25°C	5. Se neutraliza parcialmente con una solución acuosa de NaOH (20%) en una proporción del 0.3% del peso del aceite
4. Finalmente se centrifuga por 20 min a 5000 RPM para retirar el agua	6. Se mezcla con agua (1% del volumen) y se transfiere a un decantador por 60 min.	6. Se retiran los fosfatidos que se han hidrolizado por medio de centrifugación por 20 min a 5000 RPM
	7. Finalmente se centrifuga por 20 min para separar el aceite desgomado de sus coproductos	Nota: Todo el proceso antes de la centrifugación debe haber durado 30 min. Y se espera obtener un aceite con bajo contenido de fósforo, calcio y magnesio.

1.5. Lista de exigencias:

Tiene como finalidad clasificar y cuantificar los parámetros de fabricación para lograr un buen diseño. Aquí se detalla lo que el cliente espera del diseño y lo que el diseñador está obligado a cumplir [22].

LISTA DE EXIGENCIAS			PAG 1 DE 3
			EDICION: REV 3
PROYECTO:	DISEÑO MECANICO DEL PROCESO DE DESGOMADO PARA LA ETAPA DE PRETRATAMIENTO EN LA PRODUCCION DE BIODIESEL CON ACEITES DOMESTICOS DE DESECHO		FECHA: 15/08/2020
			REVISADO: BENJAMIN BARRIGA GARRA / SAYDA ESTELA MUJICA BUENO
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		ELABORADO: FRANCO RENATO VELA RUIZ
Fecha (Cambios)	Deseo o Exigencias	Descripcion	Responsable
15/08/2020	E	FUNCION PRINCIPAL <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de los modulos para el proceso de desgomado de 80 litros de aceite con alto contenido en fosforo (ej. Jatrofa)por hora para la etapa de Pre-tratamiento de la planta de elaboracion de biodiesel • Permitir conocer los procesos para el desgomado de los aceites con alto contenido de fosforo. 	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	GEOMETRIA <ul style="list-style-type: none"> • El diseño del reactor no deberá ocupar un excesivo tamaño dentro de la planta, para que su instalación sea lo más accesible posible. 	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	ENERGIA <ul style="list-style-type: none"> • Se utilizará energía eléctrica para la activación de los motores, pertenecientes al agitador dentro del reactor, para calentar el aceite y para activar el separador centrífugo. • Se contara con una fuente de energía eléctrica trifásica de 380V, y una red monofásica de 220V . 	FRANCO RENATO VELA RUIZ

LISTA DE EXIGENCIAS			PAG 2 DE 3
			EDICION: REV 3
			REV. 3
PROYECTO:	DISEÑO MECANICO DEL PROCESO DE DESGOMADO PARA LA ETAPA DE PRETRATAMIENTO EN LA PRODUCCION DE BIODIESEL CON ACEITES CON ALTO CONTENIDO EN FOSFORO		FECHA: 15/08/2020
			REVISADO: BENJAMIN BARRIGA GAMARRA / SAYDA ESTELA MUJICA BUENO
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		ELABORADO: FRANCO RENATO VELA RUIZ
Fecha (Cambios)	Deseo o Exigencias	Descripcion	Responsable
15/08/2020	E	MATERIAL • El material utilizado para el tanque de mezclado así como sus componentes principales será de acero inoxidable AISI 304	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	SEGURIDAD • Se deberá evitar el contacto entre las sustancias químicas producidas y utilizadas (Acido fosfórico) así como entre los elementos móviles del sistema con el operario.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	FABRICACION: • La fabricación y ensamble del módulo será de forma sencilla. Los procesos de manufactura que se realizaran podrán ser llevados a cabo de manera sencilla en un taller nacional.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	MONTAJE: • El montaje y desmontaje del modulo será de forma sencilla para su respectivo mantenimiento y/o para el cambio de alguno de sus componentes. • Debido a la sencillez de su geometría será de fácil montaje.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	TRANSPORTE: • La estación de pre tratamiento deberá ser fácilmente transportable, por tal motivo se utilizaran piezas y uniones fácilmente desmontables.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	MATERIA PRIMA: • La materia prima para la producción de Biodiesel será Aceite crudo con alto índice de fósforo, en este caso se utilizara una planta oleaginosa: Jatrofa	FRANCO RENATO VELA RUIZ

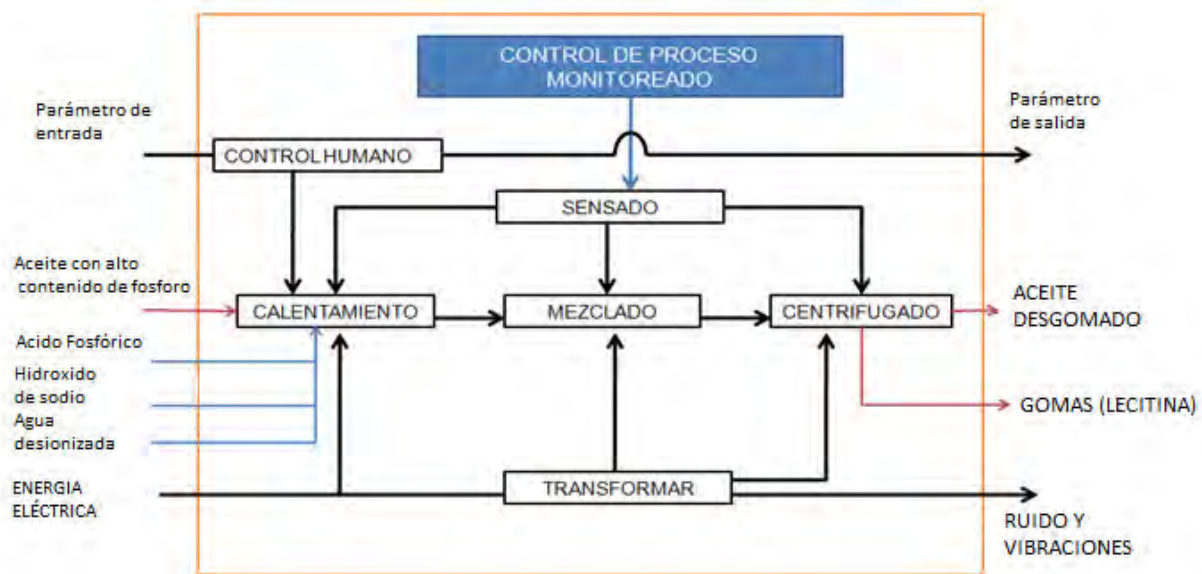
LISTA DE EXIGENCIAS			PAG 3 DE 3
			EDICION: REV 3 REV. 3
PROYECTO:	DISEÑO MECANICO DEL PROCESO DE DESGOMADO PARA LA ETAPA DE PRETRATAMIENTO EN LA PRODUCCION DE BIODIESEL CON ACEITES CON ALTO CONTENIDO EN FOSFORO		FECHA: 15/08/2020
			BENJAMIN BARRIGA GAMARRA / SAYDA ESTELA MUJICA BUENO
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		ELABORADO: FRANCO RENATO VELA RUIZ
Fecha (Cambios)	Deseo o Exigencias	Descripcion	Responsable
15/08/2020	E	MANTENIMIENTO • Se tendrá fácil acceso a las partes o elementos de la estación de pre tratamiento que demanden un mayor mantenimiento.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	E	ERGONOMIA : • El acceso a los distintos elementos de la maquina deben ser cómodos para realizar operaciones de mantenimiento, montaje, desmontaje.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	D	COSTOS • Optimizar el diseño a bajo costo de manera que su fabricación sea rentable, accesible y atractiva para el cliente. Se estima que la fabricación del módulo para el desgomado no supere los US\$ 8,000.00.	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	D	• Se buscara que el sistema sea sencillo y funcional	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	D	• El modulo contara con formas constructivas sencillas para que la fabricacion y el montaje de la misma sea en menor tiempo posible	FRANCO RENATO VELA RUIZ
15/08/2020	D	• Tener todo el modulo automatizado con PLC y controladores para que los errores del proceso sean minimos.	FRANCO RENATO VELA RUIZ

CAPITULO 2: ELABORACION DE CONCEPTO DE SOLUCION

2.1. Estructura de Funciones:

El aceite después de ser filtrado y habiendo estado almacenado pasa al Desgomado TOP en el que debe seguir un cierto recorrido, el cual se detalla en la siguiente estructura de funciones:

Estructura de funciones de proceso de Desgomado:



2.1.1. Proceso: Se ha de considerar para 80 litros de aceite de soya comestible residual que también tiene un alto índice de fósforo como aceite crudo y ha sido considerado en los cálculos de diseño de los módulos de transesterificación, filtrado y almacenamiento anteriores [3].

Los pasos para realizar el proceso de desgomado según el método TOP son los siguientes:

- **DESGOMADO CON AGUA por CALENTAMIENTO, TRATAMIENTO CON ÁCIDO por CALENTAMIENTO:**

- Se recepciona el aceite filtrado en la mezcladora, el que se calienta a 80°C cuando llega a esta temperatura, al aceite se le agrega agua des ionizada en un porcentaje en volumen igual al 5% del volumen del aceite, para realizar el desgomado con agua (Para 80 litros de aceite corresponde 4 litros de agua). Este proceso se realiza por aproximadamente 15 minutos dentro de la agitadora
- Seguidamente esta mezcla se dirige a la centrifuga donde se realiza la separación de los fosfolípidos hidratables de los no hidratables. Luego estos fosfolípidos no hidratables se llevan a la mezcladora para realizar el desgomado acido.
- En el desgomado acido se agrega una solución acuosa de 14 % de ácido fosfórico correspondiente al el 0.1% del peso del aceite (a 80 litros de aceite corresponde una masa de 73.4 Kg de aceite siendo el 0.1% igual a 73.4 g y esto igual a 68 ml de 14% H₂PO₄; la mezcla se deja reaccionar por 5 min y luego se calienta a 80°C y se agita intensamente 15 min , luego se neutraliza la reacción con 0.3% del peso del aceite de una solución al 20% de NaOH es decir para 73.4 Kg de aceite le corresponde 220 g y esto es igual a 186 ml de NaOH al 20%. Se sigue agitando por 10 minutos.
- Una vez hecha la mezcla, se procede a trasladarla a la centrifuga que mediante una fuerza rotativa permite la separación de las gomas del aceite, por gravedad, ya que este último tiene menor densidad. Finalmente, los productos separados dentro de la centrifuga son distribuidos: las gomas separadas, pueden ser utilizadas para la producción de Lecitina y ser comercializadas creando una alternativa de ingreso

económico a la planta y el aceite desgomado es llevado por medio de tuberías a la siguiente etapa del proceso productivo; que pudiera ser ESTERIFICACION en caso el aceite contenga alto índice de AGL o a la de transesterificación si el porcentaje de AGL es menor a 3%.

- CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE DESGOMADO:** Todos los procesos serán controlados respecto al tiempo, volumen y temperatura. Para el control de calidad se toma una muestra para enviar al laboratorio y comprobar que el aceite esté libre de gomas y fosfatos. La mezcla va a un tanque de almacenamiento que se encuentra luego del segundo centrifugado del cual se toma una muestra para comprobar si el aceite está libre de gomas y fosfatos. En caso contrario se vuelve a realizar el procedimiento hasta tener un aceite libre de gomas.

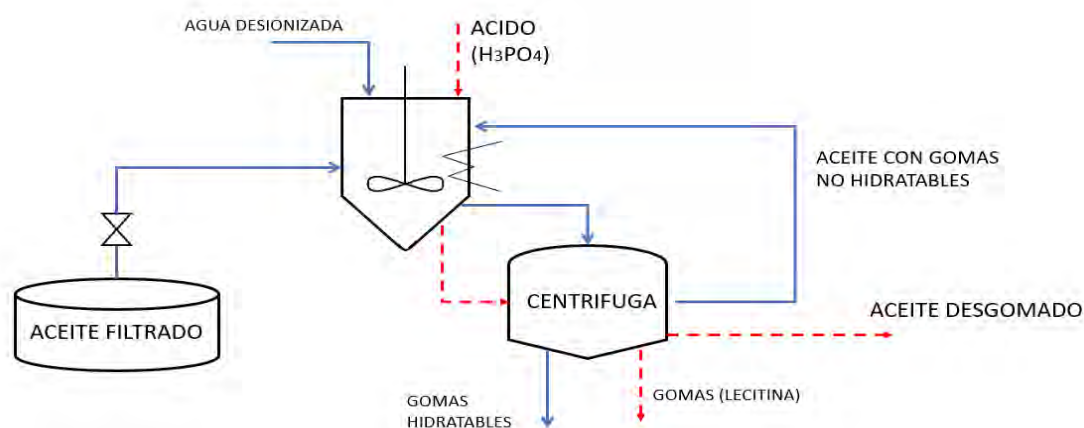


Figura N°4 Esquema del proceso de desgomado: Primera etapa: Desgomado con agua (azul) y segunda etapa: Desgomado ácido (rojo)




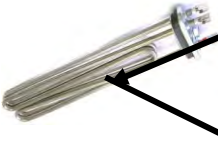
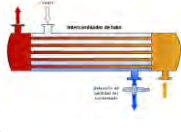










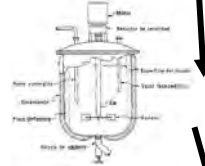

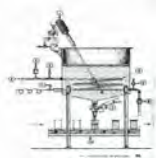




2.2. Morfología de la Máquina:





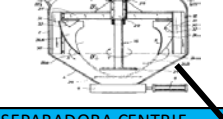


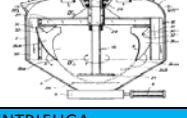





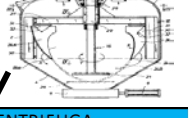


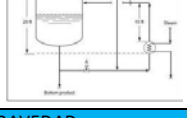

La matriz morfológica cumple como función presentar una gama de distintas soluciones para las funciones parciales del proceso que se desea realizar. La matriz permite estudiar las diversas













alternativas viables para cada función y así encontrar diversos conceptos de solución que den como resultado a la opción óptima. El esquema de la matriz es como se detalla a continuación: en la primera columna de la izquierda se muestra el nombre de la función o funciones a realizar y en las demás, las opciones propuestas para cada función; las mejores serán unidas a través de flechas o colores para obtener de esta manera un concepto de solución. Como resultado del análisis realizado en la matriz morfológica, se obtienen conceptos de solución como los más relevantes, a los cuales se le harán una descripción y representación gráfica [22].

La matriz morfología se muestra a continuación:



FUNCIONES PARCIALES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
TRANSPORTAR ACEITE FILTRADO				
	BOMBA MANUAL	LLENADORA AUTOM.	BOMBA CON MOTOR	
CALENTAR ACEITE				
	RESISTENCIAS	INTERCAMBIADOR C/T	CALENTADOR A GAS	
SUMINISTRAR AGUA				
	BOMBA MANUAL	LLENADORA AUTOM.	BOMBA CON MOTOR	TANQUE EN ALTO
SUMINISTRAR ACIDO				
	TANQUE ALTO	VERTEDERO		
ACCIONAR EQUIPOS				
	BOTONERA	ENCHUFE	INTERRUPTOR TERMO.	
MEZCLAR				
	AGITADOR VERTICAL	TORNILLO SIN FIN	AGITADOR INCLINADO	
SENSAR TEMPERATURA				
	TERMISTOR	TERMOCUPLA	PIROMETRO DE RADIAC.	RTds

VISUALIZAR TIEMPO Y TEMPERATURA				
	VISOR DIGITAL			
TRANSPORTAR MEZCLA				
	BOMBA MANUAL	BOMBA CON MOTOR	MANGUERAS	
CENTRIFUGAR				
	SEPARADORA CENTRIF.	BOMBA (RECIRCUL.)		
SEPARAR FASES				
	DECANTACION	CENTRIFUGA	DESTILACION	HIDROCICLON
TRANSPORTAR PRODUCTO FINAL				
	BOMBA MANUAL	BOMBA NEUMATICA	BOMBA CON MOTOR	CENTRIFUGA
TRANSPORTAR GOMAS				
	BOMBA MANUAL	BOMBA CON MOTOR	GRAVEDAD	
ALMACENAR PRODUCTO DESGOMADO				
			DEPOSITO	

RECIRCULAR DESGOMADO				
	BOMBA NEUMATICA	BOMBA CENTRIFUGA	BOMBA MANUAL	
LINEA PARA RECIRCULAR DESGOMADO				
	TUBERIA PVC			MANGUERAS
ALMACENAR GOMAS				
	DEPOSITO	DESECHO		
SENSAR TEMPERATURA				
	TERMISTOR	TERMOCUPLA	PIROMETRO DE RADIAC.	RTds
VISUALIZAR TIEMPO Y TEMPERATURA				
	VISOR DIGITAL			

OPCION 1
OPCION 2
OPCION 3

2.2.1. Concepto de solución N°1:

El aceite filtrado se suministra desde la estación de almacenamiento hasta la planta de desgomado. El aceite en agitación es calentado por medio de resistencias eléctricas hasta conseguir una temperatura de 80°C. Seguido se agrega agua desionizada al aceite en el reactor, agitado por paletas. Una vez producida la reacción, se transporta hacia la centrífuga donde se realiza la acción de separado entre el aceite y las gomas formadas en el reactor. Durante un periodo de tiempo de 30 min a 5000 rpm. Se centrifuga la mezcla, separándose las gomas del aceite. El aceite tratado será trasladado a un depósito donde se verá la calidad del aceite y se realizara una distribución en donde pasará a la siguiente estación si es que el aceite pasa las pruebas o se realizara el tratamiento nuevamente hasta llegar a la calidad recomendada. Las gomas extraídas serán almacenadas en un frasco cerrado. Se repite el procedimiento para el desgomado con el ácido. Finalmente, el aceite libre de gomas es bombeado hasta la siguiente estación donde se realizará el proceso de Esterificación.

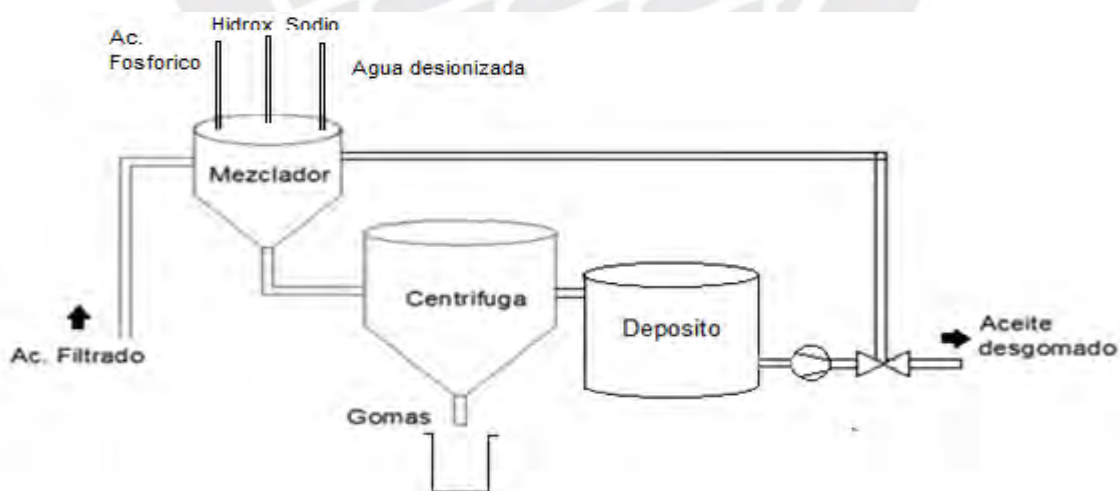


Figura N°5 Concepto de solución 1

2.2.2 Concepto de solución N°2:

El aceite filtrado es suministrado desde la estación de almacenamiento hasta la planta de desgomado a través de una bomba accionada manualmente. Este aceite será calentado por medio de un calentador a gas natural hasta conseguir una temperatura aproximadamente entre 60°-80°. Al mismo tiempo, se bombeará desde un tanque de almacenamiento ácido fosfórico el cual será utilizado para el proceso de mezclado junto al aceite y al agua para hidratar las gomas. Esta mezcla se producirá en un pequeño reservorio el cual funcionará con un agitador de paletas. Una vez producida la mezcla, esta es bombeada hacia el agitador centrífugo donde se realizará la acción de separado entre el aceite y las gomas creadas en la mezcladora. Mediante un periodo de tiempo se mantiene la mezcla dentro de una bomba recirculante, para luego pasar a un hidrociclón el cual hará el trabajo de separar el contenido de aceite desgomado, con las gomas que son más viscosas. Las gomas extraídas del proceso serán desechadas. Finalmente, el aceite libre de gomas es bombeado hasta la siguiente estación donde se realizará el proceso de esterificación.

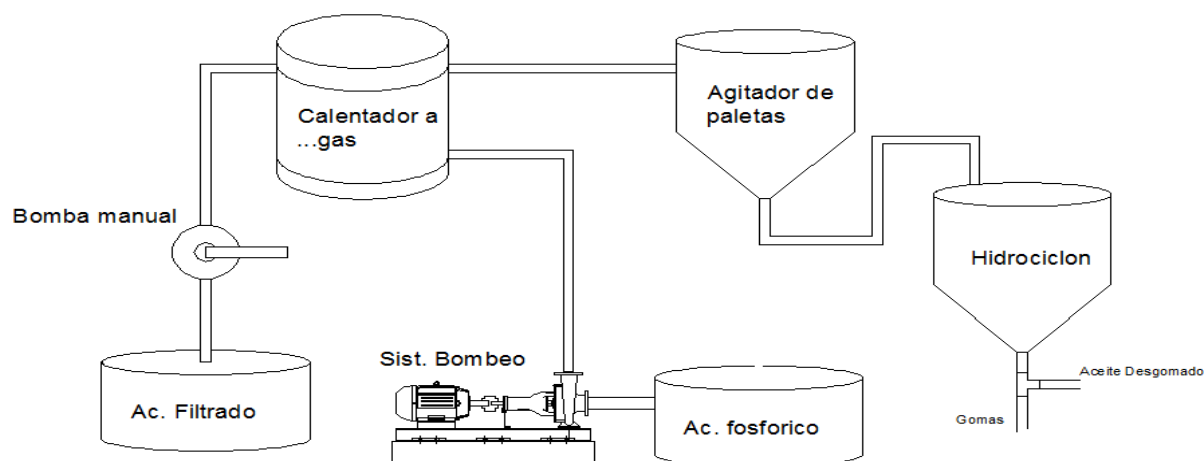


Figura N°6 Concepto de Solución 2

2.2.3. Concepto de solución N°3:

El aceite filtrado es suministrado desde un tanque de almacenamiento hasta la planta de desgomado en flujos proporcionales a través de gravedad. Este aceite será calentado por agua por medio de un intercambiador de calor de carcasa y tubos hasta conseguir una temperatura aproximadamente entre 60°-80°. Al mismo tiempo, se tiene en un pequeño depósito el cual será utilizado para el proceso de mezclado junto al aceite y al agua para hidratar las gomas a esta mezcla se le añadirá ácido fosfórico en cantidades homogéneas a través de un vertedero. Esta mezcla se producirá en un pequeño reservorio el cual funcionará con un agitador inclinado de paletas y placas. Una vez producida la mezcla, mediante un periodo de tiempo se mantiene la mezcla dentro de una bomba recirculante, para luego pasar a un equipo centrifugo el cual hará el trabajo de separar el contenido de aceite desgomado, con las gomas que son más viscosas. Las gomas extraídas del proceso serán almacenadas ya que sirven como materia prima para producir la LECITINA. Finalmente, el aceite libre de gomas es extraído por gravedad hasta la siguiente estación donde se realizará el proceso de Esterificación.

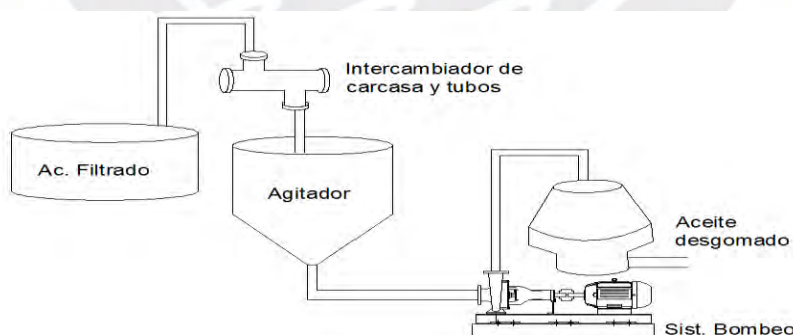


Figura N°7 Concepto de Solución 3

2.3. Determinación de concepto óptimo:

Para evaluar los conceptos de solución determinados, se realizó dos cuadros comparativos en los cuales se tiene como parámetros a evaluar tanto los aspectos económicos como técnicos. Cada criterio se evalúa comparándolas con una solución ideal teórica como referencia para encontrar la solución óptima. El rango de valores del puntaje se encuentra entre 0 a 4, siendo:

- 0 = No aceptable 2 = Suficiente
 1 = Casi aceptable 3 = Bien
 g = Factor de importancia de criterios en evaluación

VALOR TECNICO - EVALUACION DE CONCEPTOS DE SOLUCION										
ASPECTOS TECNICOS			PROYECTOS							
			CONCEPTO DE SOLUCION 1			CONCEPTO DE SOLUCION 2		CONCEPTO DE SOLUCION 3		CONCEPTO DE SOLUCION IDEAL
Nº	CRITERIOS	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Forma	2	2	4	1	2	1	2	3	6
2	Diseño	3	2	6	1	3	2	6	3	9
3	Seguridad	3	2	6	2	6	1	3	3	9
4	Fabricacion	2	2	4	2	4	2	4	3	6
5	Montaje	3	2	6	1	3	2	6	3	9
6	Buen uso de energia	3	3	9	1	3	2	6	3	9
7	Rapidez	3	2	6	3	9	1	3	3	9
8	Confiableidad	2	2	4	2	4	1	2	3	6
9	Facilidad de manejo	2	2	4	1	2	2	4	3	6
10	Mantenimiento	2	2	4	1	2	1	2	3	6
11	Automatizacion	1	1	1	1	1	1	1	3	3
12	Calidad de trabajo	3	2	6	2	6	1	3	3	9
	TOTAL		24	60	18	45	17	42	36	87
	Valor técnico		0,67	0,69	0,5	0,52	0,47	0,48	1	1
	ORDEN			1		2		3		

Tabla N°3: Evaluación técnica de los conceptos de solución

VALOR ECONÓMICO - EVALUACION DE CONCEPTOS DE SOLUCION										
ASPECTOS ECONÓMICOS			PROYECTOS							
			CONCEPTO DE SOLUCION 1		CONCEPTO DE SOLUCION 2		CONCEPTO DE SOLUCION 3		CONCEPTO DE SOLUCION IDEAL	
Nº	CRITERIOS	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Número de piezas	2	2	4	1	2	1	2	3	6
2	Fácil adquisición	2	2	4	1	2	2	4	3	6
3	Costo de tecnología	2	2	4	2	4	1	2	3	6
4	Costos diversos	2	2	4	1	2	1	2	3	6
5	Productividad	3	2	6	2	6	2	6	3	9
6	Pocos desperdicios	3	2	6	1	3	2	6	3	9
7	Número de operarios	1	1	1	1	1	1	1	3	3
8	Facilidad de montaje	2	2	4	2	4	1	2	3	6
9	Facilidad de mantenimiento	2	2	4	2	4	2	4	3	6
10	Costos de operación	3	2	6	2	6	2	6	3	9
11	Contaminación	3	3	9	1	3	2	6	3	9
12	Fácil reciclaje	2	2	4	1	2	1	2	3	6
	TOTAL		24	56	17	39	18	43	36	81
	Valor técnico		0,67	0,69	0,5	0,48	0,50	0,53	1	1
	ORDEN			1		2		3		

Tabla N°4: Evaluación económica de los conceptos de solución

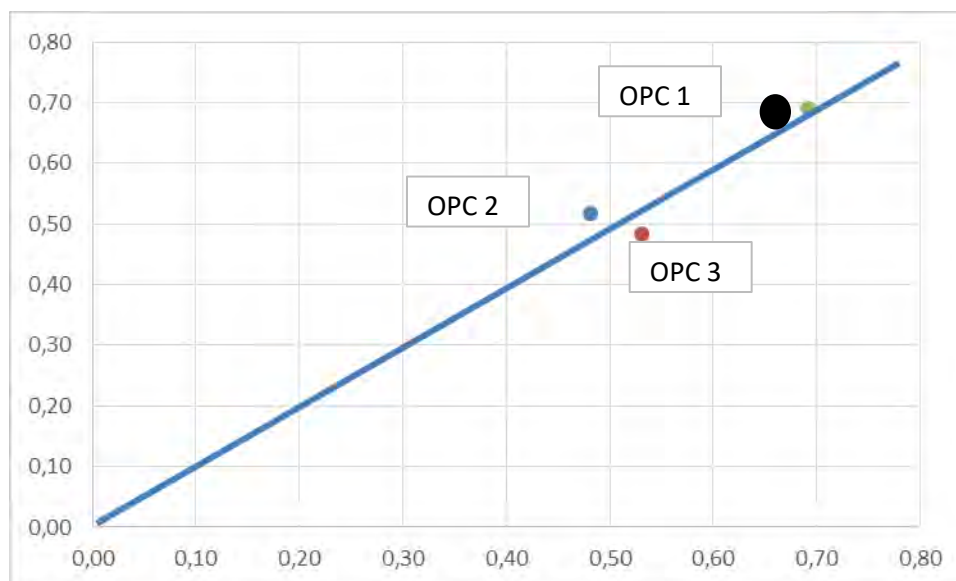


Figura N°8: Diagrama de evaluación Técnico – Económico

De la gráfica de la evaluación Técnico (EJE Y) – Económico (EJE X) y de los valores de las tablas, se puede concluir que el concepto de solución No. 1 es el que mejor se adecua a nuestras exigencias y por lo tanto es el óptimo. Por tal motivo este trabajo de tesis se centrará en el desarrollo del proceso de desgomado según el diseño y fabricación del concepto de solución No. 1.

CAPITULO 3: DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO

Una vez evaluado las opciones y haber escogido la solución opima, en este caso el concepto de solución 1, se procederá a hacer el cálculo, análisis y selección (si fuera el caso) de cada uno de los componentes que lo conforma.

3.1. Selección de Material

En primer término, se procederá a seleccionar el material el cual está conformado los elementos importantes. Como se sabe, en el proceso de desgomado TOP uno de los insumos que interviene en el proceso es el Ácido Fosfórico el cual es una sustancia muy corrosiva por lo que se necesitara que tanto nuestro mezclador como nuestra separadora centrífuga estén contruidos con un material resistente a la corrosión, en este caso se eligió el acero AISI 304 (ver Anexo 2), ya que la resistencia a la corrosión es excelente. Si bien la concentración de Ácido Fosfórico es baja, los equipos contruidos con el AISI 304 requieren menos mantenimiento y costo de adquisición que reactores de acero al carbono recubiertos de fibra de vidrio y/o plástico. Además de las excelentes propiedades para el conformado (en este caso rolado) y soldado [23].

La siguiente figura muestra la distribución del módulo del proceso de desgomado de la opción ganadora:

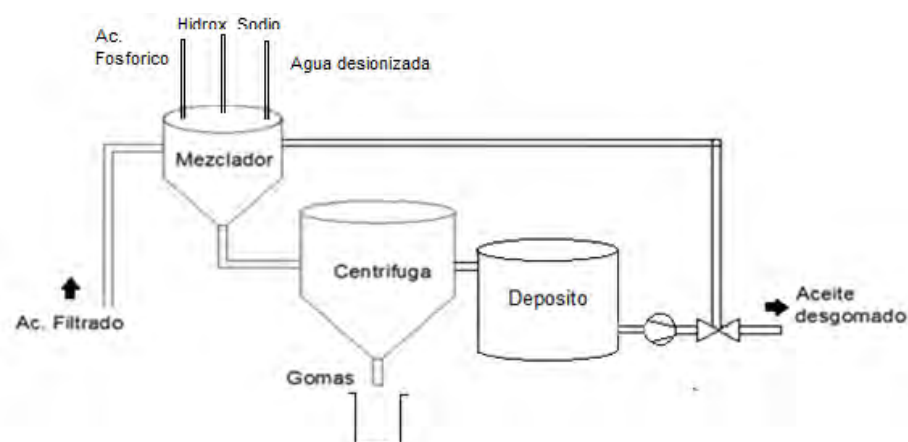


Figura N°9: Esquema general del módulo de desgomado

3.2. Cálculos:

3.2.1. Mezclador:

Se tomará en cuenta para el dimensionamiento del mezclador, las siguientes premisas:

- Volumen del tanque, tipo de paletas deflectoras, número de paletas, material (anteriormente descrito), tipo de sustancias a mezclar, velocidad y potencia.
- Densidad de aceite de soya: 920 kg/m^3 ; $\nu=0.05 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Densidad de H_3PO_4 (14%): 1076.5 kg/m^3 ; $\mu = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$; $\nu= 0.107 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Densidad de KOH (20%): 1180 kg/m^3 ; $\nu=3.5 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

3.2.1.1. Cálculo de dimensionamiento:

Se utilizará un agitador/mezclador tipo turbina, puesto que son los más recomendados para el procesamiento de líquidos con una amplia gama de viscosidades, el agitador tipo turbina se asemeja a un agitador de paletas múltiples con aspas más cortas. Normalmente este tipo de agitador

posee 4 o 6 aspas y el diámetro de la turbina suele medir del 30 al 50% del diámetro del tanque o reactor [24].

Los agitadores de turbina impulsan al líquido radialmente contra las paredes laterales del tanque, desde donde la corriente se divide, una parte fluye hacia arriba y otra parte hacia el fondo, retornando ambas al rodete. Por lo que producen dos corrientes de circulación separadas. Dan excelentes resultados en la mezcla de líquidos que tienen aproximadamente la misma densidad relativa. Se hará el uso de placas deflectoras para evitar los vórtices y torbellinos [24]. En la presente planta se desea procesar lotes de 80 litros de aceite con alto contenido en fosforo, asumiendo que la pérdida de volumen en la etapa de filtrado es mínima.

$$m = 0.08 \text{ m}^3 \times 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 73.6 \text{ kg}$$

Para el desgomado TOP, las cantidades de sustancias que se requerirán en el proceso son las siguientes [21]:

Ac. Fosfórico (14%) = 0.1% en peso de aceite:

$$m_{H_3PO_4} = 0.001 \times 73.6 = 0.0736 \text{ kg}$$

$$V_{H_3PO_4} = \frac{m}{\rho} = \frac{0.0736 \text{ kg}}{1076.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6.84 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \langle \rangle 0.0684 \text{ lts} = 68.4 \text{ ml}$$

Hidróxido de sodio (20%) = 0.3% en peso de aceite:

$$m_{NaOH} = 0.003 \times 73.6 \text{ kg} = 0.221 \text{ kg}$$

$$V_{NaOH} = \frac{m}{\rho} = \frac{0.221 \text{ kg}}{1180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.000187 \text{ m}^3 \langle \rangle 0.187 \text{ lts} = 187 \text{ ml}$$

Volumen total del agitador:

$$V_{aceite} + V_{Ac.fosf} + V_{NaOH} + V_{H_2O} = V_T$$

$$0.08 + 0.0000684 + 0.000187 + 0.004 = 0.0842554 \text{ m}^3$$

Considerando los factores de forma de un agitador tipo turbina con 4 deflectores [24]:

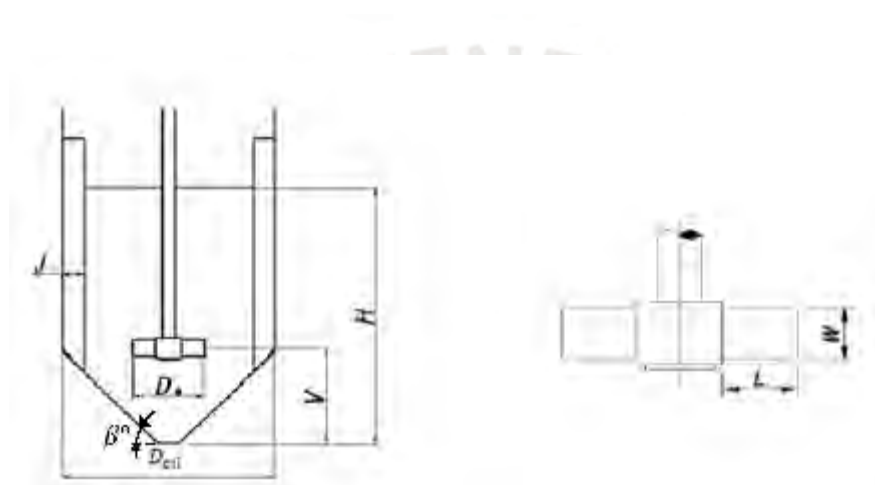


Figura N°10: Dimensiones importantes de tanque de mezclador [23]

Teniendo en cuenta los factores de forma descritos a continuación para un mezclador tipo turbina

Rushton [25]:

$$V = \frac{D_{cil}}{2} \tan 20^\circ ; D_a = 30 - 50\% D_{cil} ; \frac{W}{D_a} = \frac{1}{4} ; \frac{J}{D_{cil}} = \frac{1}{10} \quad \frac{H}{D_{cil}} = 1 ; \beta = 20^\circ$$

De donde los valores:

$V =$ altura parte conica

$D_{cil} =$ diametro de mezclador

$J =$ ancho de deflector

$D_a = \text{Diametro de helice}$

$W = \text{alto de paleta}$

Como se pretende utilizar un contenedor cilíndrico – cono, el volumen como mínimo tendrá que ser:

$$\frac{\pi x D_{cil}^2}{4} x h_{cil} + \frac{1}{3} \pi \left(\frac{D_{cil}}{2}\right)^2 h_{cono} \geq 0.0842554 \text{ m}^3$$

Dónde: altura parte cilíndrica = $h_{cil} = H - V = 0.818D_{cil}$

Entonces reemplazando:

$$\frac{\pi x D_{cil}^2}{4} x 0.818D_{cil} + \frac{1}{3} \pi \left(\frac{D_{cil}}{2}\right)^2 x \left(\frac{D_{cil}}{2} \tan 20^\circ\right) \geq 0.0842554 \text{ m}^3$$

$$D_{cil} \geq 0.333 \text{ m} = 333 \text{ mm}$$

Sin embargo, para facilidad de manufactura y de cálculo, aproximaremos el diámetro del cilindro a 500 mm.

Luego de los factores de forma anteriormente descritos, dimensionaremos nuestro mezclador:

$D_{cil}=500\text{mm}$	$D_a=150\text{mm}$	$V=90\text{mm}$
$H=500\text{mm}$	$W=58\text{mm}$	$L=70\text{mm}$
	$J=50\text{mm}$	

3.2.2 Velocidad de rotación de turbina [26]:

La velocidad recomendada para poder crear flujo turbulento en una mezcladora de turbina de 6 paletas se encuentra alrededor de 3m/s en el extremo de las paletas:

$$v = N \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{D_a}{2}$$

$$\frac{3m}{s} = N \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{0.150}{2}$$

$$N \approx 400RPM$$

3.2.3 Cálculo de potencia del agitador [25]:

Luego seguido de hallar las dimensiones se calcula la Potencia necesaria para nuestra mezcladora, por ser un agitador tipo turbina, y trabajar con sustancias con viscosidad relativamente baja, la velocidad de giro recomendada es 400 RPM.

De las sustancias presentes en la mezcladora:

Ácido fosfórico (Sol. 14%)	$\rho = 1076.5 \frac{kg}{m^3}$	$v = 2 \frac{mm^2}{s}$
Aceite de Soya	$\rho = 920 \frac{kg}{m^3}$	$v = 54.34 \frac{mm^2}{s}$
Hidróxido de potasio (Sol. 20%)	$\rho = 1180 \frac{kg}{m^3}$	$v = 1,02 \frac{mm^2}{s}$

Tabla N°5: Densidades y viscosidades cinemáticas de sustancias presentes

Calculamos la potencia en base a la sustancia con mayor viscosidad, en este caso el aceite de soya:

- Numero de Reynolds: $Re = \frac{N D_a^2 \rho}{\mu} = \frac{400 rev/min \times 0.15^2 m^2 \times 920 \frac{kg}{m^3}}{0.05 Pa.s} \times \frac{1 min}{60 s}$

$$Re = 2760$$

Donde:

- $N =$ velocidad de rotacion en RPS
- $D_a =$ diametro del agitador en m
- $\rho =$ densidad del aceite de Jatrofa en kg/m^3
- $\mu = \nu \times \rho =$ viscosidad dinamica en Pa.S

La fórmula de Potencia necesaria será:

$$P = N_p \cdot N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho$$

Donde:

- $N =$ velocidad de rotacion en RPS
- $D_a =$ diametro del agitador en m
- $\rho =$ densidad del aceite de soya en kg/m^3
- $N_p =$ vnumero de potencia

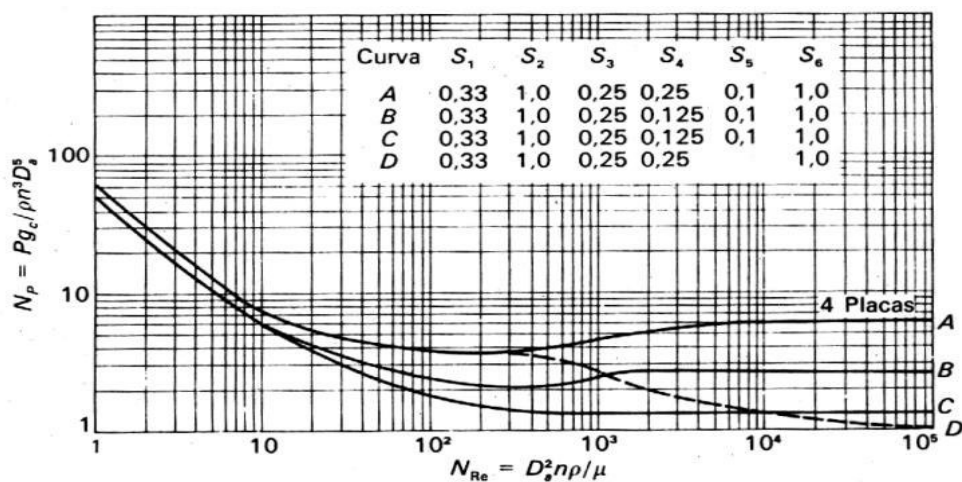


Figura N°11: Numero de Potencia N_p vs Numero de Reynolds

Donde, N_p según gráfico de la figura N°8:

$$N_p \approx 6$$

Luego, reemplazando valores:

$$P = 6 \cdot \left(\frac{400}{60}\right)^3 \cdot 0.15^5 \cdot 920$$

$$P = 124 \text{ w} \approx 0.18 \text{ HP}$$

3.2.4 Selección de Motor de agitador [27]:

Se sabe que:

$$T_{turb} = \frac{P}{\omega} = \frac{120 \text{ W}}{400 \text{ rpm} \cdot \frac{\pi}{30}} = 2.86 \text{ N.m}$$

Según el método de elección de motores eléctricos, empezamos calculando la potencia estática

(P_{est}) como se muestra a continuación:

Teniendo los datos:

$$\omega = 400 \text{ rpm}, n_{motor} = 0.85, Cs = 1.15$$

Vale aclarar que se tomaron los respectivos valores de $n_{motor} = 0.85$, $Cs = 1.15$ (factor de carga o de servicio) el cual es hallado a través de ensayos. Y se coloca un valor estándar cuando los ciclos de servicio no son bien conocidos. Entonces hallando la Potencia Estática:

$$P_{est} = \frac{P_{carga}}{n_{motor}} = \frac{120}{0.85} = 141.2 \text{ W}$$

Luego:

$$P_{real} = Cs \cdot P_{est} = 1.15 \times 141.2 \text{ w} = 162.35 \text{ W} \approx 0.22 \text{ HP}$$

Inmediatamente con este valor de potencia, elegimos un motor eléctrico trifásico asíncrono jaula de ardilla puesto que es más económico en el mercado y la velocidad de los mismos puede ser variada para las velocidades necesitadas.

Del catálogo ABB, se elige el motor MATJA: M2QA71M4A / 60 Hz el cual posee las siguientes características:

KW	HP	rpm	Eficiencia (%)			Factor de Potencia			Corriente (A)			Torque (Nm)			Inercia (kgm ²)	Peso (kg)	Ruido (dB)
			50	75	100	50	75	100	In	Is/In	Io	Tn	Ts/Tn	Tmax/Tn			
0.25	0.33	1679	60.1	66.3	66.9	0.48	0.63	0.72	0.68	3.2	0.6	1.4	2.2	2.7	0.00053	11	46

Tabla N°6: Datos de motor 0.25kw/0.33HP ABB

De los datos de placa del motor elegido, tenemos:

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{0.33 \times 746}{1679 \cdot \frac{\pi}{30}} = 1.4 \text{ N.m}$$

De lo que se obtiene

$$T_{arr} = 3.08 \text{ N.m}$$

$$T_{max} = 3.78 \text{ N.m}$$

Calculando el torque resistente de la carga a la salida del motor “Tcarga”:

$$T_{carga} = \frac{P_{carga}}{\omega \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{162.35}{400 \cdot \frac{\pi}{30}} = 3.88 \text{ N.m}$$

Entonces tenemos que la desigualdad:

$$T_n > T_{carga} \text{ No CUMPLE}$$

Por lo que elegimos otro motor

Del catálogo ABB, se elige el motor MATJA: M2QA80M4B / 60 Hz el cual posee las siguientes características:

KW	HP	rpm	Eficiencia (%)			Factor de Potencia			Corriente (A)			Torque (Nm)			Inercia (kgm ²)	Peso (kg)	Ruido (dB)
			50	75	100	50	75	100	ln	ls/ln	lo	Tn	Ts/Tn	Tmax/Tn			
0.75	1	1687	69.2	74.8	75.4	0.53	0.67	0.77	1.7	5.6	1.3	4.2	2.5	2.5	0.00174	17	50

Tabla N°7: Datos de motor 0.75kw/1 HP ABB

De los datos de placa del motor elegido, tenemos:

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{1x746}{1687 \cdot \frac{\pi}{30}} = 4.2 \text{ N.m}$$

De lo que se obtiene:

$$T_{arr} = 10.5 \text{ N.m}$$

$$T_{max} = 10.5 \text{ N.m}$$

Ahora entonces tenemos que la desigualdad:

$$T_n > T_{carga} \text{ CUMPLE}$$

Ahora verificamos el tiempo de puesta en marcha “ t_{pm} ” para evitar que el motor se sobrecaliente por las altas corrientes que se dan en el arranque. Siendo nuestro caso del agitador, las masas a acelerar se consideran despreciables, el “ t_{pm} ” máximo para motores hasta 5Kw es de 6 segundos.

Por lo que tenemos:

$$T_{motor} = 0.5 \times 0.85^2 \times (T_{min} + T_{max}) = 0.5 \times 0.85^2 \times (4.2 + 10.5) = 5.31 \text{ N.m}$$

$$T_{ac} = T_{motor} - T_{car} = 1.43 \text{ N.m}$$

El momento de inercia del rotor del motor seleccionado, respecto al eje del mismo será:

$$I_{rotor} = 0.00174 \text{ kgm}^2$$

Asumiendo que el momento de inercia de masas del sistema respecto al eje del motor es 10 veces el momento de inercia de masas del rotor del motor:

$$I_{masas} = 0.0174 \text{ kgm}^2$$

Por lo que el tiempo de puesta en marcha será:

$$t_{pm} = \frac{I_{masas+rotor} \times \omega_n \times \frac{\pi}{30}}{T_{ac}}$$

$$t_{pm} = \frac{(0.00174 + 0.0174) \times 1687 \times \frac{\pi}{30}}{1.43} = 2.36 \text{ seg}$$

Por lo tanto, si cumple.

3.2.5 Selección de Resistencia Eléctrica:

Debido que la mezcla de aceite con las sustancias químicas que se emplearan para el desgomado antes de ser centrifugadas debe ser calentada a una temperatura de 80°C, se erigirá como medio de calefacción una resistencia eléctrica. Sin embargo, se deben en tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La temperatura inicial con la que se recibirá el aceite filtrado será de 25°C.
- Se asumirá un tiempo requerido de 30 minutos en total incluyendo tiempo de mezcla, reacción y calentamiento para elevar la temperatura a 80°C
- Como mencionamos anteriormente se utilizará como base el aceite de soya, cuyo valor de calor especifico (C_p) será igual a : $C_p=0,458$ kcal /kg °C.

Por lo tanto, la potencia eléctrica de la resistencia R se detalla mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{Q} = \frac{m}{t} C_p \Delta T$$

Donde:

- \dot{Q} = Calor necesario para calentar 80 lts de aceite de jatropa
- m = masa de producto a calentar Kg
- t = tiempo de calentamiento de producto en min
- C_p = Calor especifico de aceite de jatropa
- ΔT = diferencia de temperaturas en °C

$$\dot{Q} = \frac{80l \times 920 \frac{kg}{m^3} \times 10^{-3} m^3/l}{30min} \times 0.458 \text{ kcal /kg } ^\circ\text{C} \times (80 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 61.7 \text{ kcal/min} \approx 4.30 \text{ Kw}$$

Para el control de temperatura, se consideró una termocupla tipo “J”, ya que estas son económicas y fácilmente intercambiables. Tanto la termocupla como la resistencia estarán conectadas a un pequeño “display” para que indique el valor de la temperatura que se encuentra la mezcla.

3.2.8. Cálculo del espesor del reactor (cilindro y cono) [28]:

A continuación, se calculará el mínimo espesor de pared del reactor según la teoría membranal. Los esfuerzos tangenciales “ σ_t ” y longitudinales “ σ_l ” que se originan en el recipiente, como se, son máximos en la unión cono-cilindro.

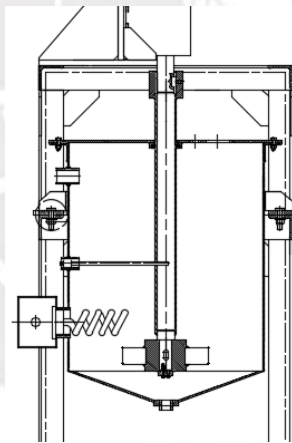


Figura N°12: Tanque de mezclador (forma cilindro-cónica)

Siendo los valores de los esfuerzos máximos los siguientes:

Parte cónica:

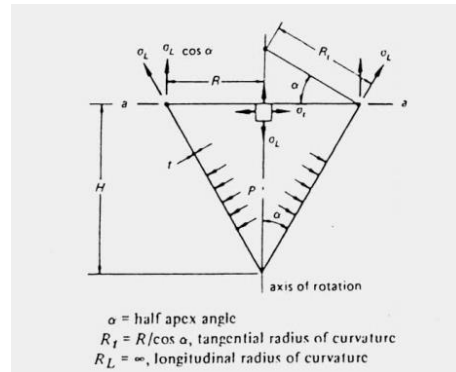


Figura N°13: Distribución de presiones en parte cónica

$$\sigma_t = \frac{P_{\text{diseño}} \times R}{t \times \cos \alpha} + \frac{\gamma \times h_1 \times R}{t \times \cos \alpha}$$

$$\sigma_l = \frac{P_{\text{diseño}} \times R}{2 \times t \times \cos \alpha} + \frac{\gamma \times R}{2 \times t} \left(\frac{h_1}{\cos \alpha} + \frac{R}{3 \sin \alpha} \right)$$

Parte cilíndrica:

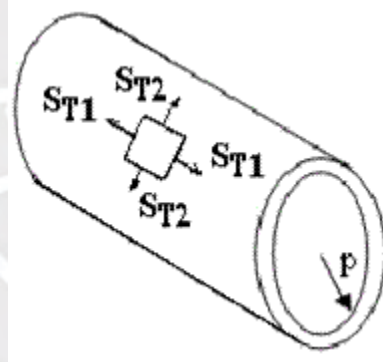


Figura N°14: Distribución de esfuerzos en parte cilíndrica

$$\sigma_t = \frac{P_{\text{diseño}} \times R}{t} + \frac{\gamma \times h_1 \times R}{t}$$

$$\sigma_l = \frac{P_{\text{diseño}} \times R}{2 \times t} + \frac{\gamma \times R}{2 \times t} \left(h_1 + \frac{R}{3} \text{ctg} \alpha \right)$$

Siendo:

H $= 500 \text{ mm}$	$h_{\text{cil}} = 212 \text{ mm}$	$h_{\text{cono}} = 73 \text{ mm}$	γ_{mezcla} $= 9,02 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^3$
$\alpha = 20^\circ$	$R = 200 \text{ mm}$	$P_{\text{diseño}} = 0,1 \text{ N/mm}^2$	$\rho_{\text{mezcla}} = 920 \text{ kg/m}^3$

Reemplazando valores:

En la parte cónica del recipiente

$$\sigma_{\text{cp}} = \frac{0,1 \times 200}{t \times 0,707} + \frac{9,02 \times 10^{-6} \times 212 \times 200}{t \times 0,707} = \frac{28,28}{t} + \frac{0,54}{t} = \frac{28,82}{t}$$

$$\sigma_{\text{mp}} = \frac{0,1 \times 200}{2 \times t \times 0,707} + \frac{9,02 \times 10^{-6} \times 200}{2 \times t} \left(\frac{212}{0,707} + \frac{200}{2,12} \right) = \frac{14,14}{t} + \frac{0,355}{t} = \frac{14,495}{t}$$

En la parte cilíndrica del recipiente

$$\sigma_{\text{cp}} = \frac{0,1 \times 200}{t} + \frac{9,02 \times 10^{-6} \times 212 \times 200}{t} = \frac{20}{t} + \frac{0,38}{t} = \frac{20,38}{t}$$

$$\sigma_{\text{mp}} = \frac{0,1 \times 200}{2 \times t} + \frac{9,02 \times 10^{-6} \times 200}{2 \times t} \left(212 + \frac{200 \times 1}{3} \right) = \frac{10}{t} + \frac{0,25}{t} = \frac{10,25}{t}$$

Entonces, el valor del esfuerzo crítico es:

$$\frac{28,82}{t}$$

Luego, considerando un factor de seguridad igual a 2, debe cumplir:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_{\text{AISI304}}}{2} \geq \sigma_{\text{cp}} = \frac{28,82}{t}$$

$$t \geq \frac{2 \times 28,82}{110}$$

$$t \geq 0,524 \text{ mm}$$

Elegimos una plancha de Acero Inox. AISI304 espesor de 1/8"

Sin embargo, como se trabaja con una sustancia altamente corrosiva, lo que limitará el espesor del tanque será el cordón de soldadura, el cual une la parte cónica de la cilíndrica. (ver Anexo 3) Se deberá cumplir que el espesor del cordón de soldadura tiene que ser menor o igual al espesor de pared del tanque, de acuerdo a DIN 8558:

$$\delta = 3mm$$

3.2.7. Cálculo del espesor de aislamiento:

Se calculará un espesor de aislante que cubra el reactor puesto se trabajará con temperaturas a 80°C y por seguridad para el operario. El aislante por utilizar será lana de roca puesto que es un aislante económico en el mercado y es de fácil manipuleo.

De la ecuación general de transferencia de calor se tiene:

$$\dot{Q} = \frac{2 \times \pi \times L \times (T_{int} - T_{sup})}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{acero}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{aislante}}}$$

Reemplazando valores:

$$4.30 \text{ kw} = \frac{2 \times \pi \times 0.5 \times (80 - 35)}{\frac{\ln(0.253175/0.25)}{50} + \frac{\ln(r_3/0.253175)}{0.09}}$$

$$4.30 \text{ kw} = \frac{2 \times \pi \times 0.5 \times (45)}{\frac{\ln(1.0127)}{50} + \frac{\ln(r_3/0.253175)}{0.09}}$$

$$4.3 \text{ kw} = \frac{141.37}{\frac{\ln(r_3) - \ln(0.253175)}{0.09}}$$

$$4300 = \frac{141.37}{\frac{\ln(r_3)}{0.09} + 27.47}$$

Dónde:

- $k_{\text{acero}}=50 \text{ W/m}^\circ\text{K}$
- $k_{\text{aislante}}= 0.09 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ (en esta aplicación se utilizó lana de madera)

Por lo que el espesor requerido para aislar el reactor es:

$$r_3 = 0.085 \text{ m} = 85 \text{ mm}$$

3.2.8. Cálculo del diámetro del árbol del agitador [29]:

Se aplicó el método de cálculo [30] el cual tiende a sobredimensionar el eje al asumir que el agitador tendrá una obstrucción (la fuerza " F_s ") que causará la flexión del árbol.

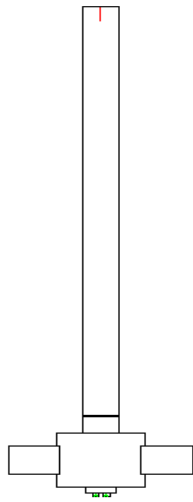


Figura N°15: Eje de agitador de turbina

El torque nominal T_n ($N \cdot m$) del motor es:

$$T_n = 4.2 \text{ N} \cdot m$$

Para un servicio de operación del cual consiste en mezclar y agitar fluidos, se considerará 1,5 como adecuado factor de torque de arranque " M_{pt} ($N \cdot m$)", por tanto:

$$M_{pt} = 1,5T_n$$

$$M_{pt} = 1,5 \times 4.2 = 6.3 \text{ N} \cdot m$$

La fuerza " F_s (N)" que origina la flexión del árbol se asumió estar aplicada a $\frac{3}{4}$ de la longitud de la pala y es igual a:

$$F_s = \frac{8 M_{pt}}{3D_a}$$

$$F_s = \frac{8 \times 6.3}{3 \times 0,136} = 123.52 \text{ N}$$

El momento flector " M_b " originado por esta fuerza es:

$$M_b = F_s l_{sh}$$

$$M_b = 123.52 \times 0,8 = 98.82 \text{ N.m}$$

Por tanto, el momento de flexión equivalente " M_{eq} " es dado por:

$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$$

$$M_{eq} = \sqrt{98.82^2 + 14.55^2} = 100 \text{ N.m}$$

Aplicando la teoría del máximo esfuerzo cortante (TRESCA)

$$\sigma = \frac{M_{eq} r}{I}$$

Donde:

$$r = \frac{d}{2} \quad I = \frac{\pi d^4}{64}$$

donde d = diametro del arbol

De lo cual se tiene, por lo tanto:

$$\sigma = \frac{32M_{eq}}{\pi d^3}$$

$$\sigma = \frac{32 \times 100 \times 10^3}{\pi \times d^3} < \sigma_{adm} = \frac{\sigma_f}{FS} = \frac{205}{2} = 102,5 \text{ N/mm}^2$$

$$d > 21.5 \text{ mm}$$

tomando $d = 30\text{mm}$

Analizamos el árbol bajo una carga torsional pura " τ_t ", sin embargo, veremos que no influirá mucho en el cálculo, puesto que el momento torsor es prácticamente despreciable.

Aplicando la teoría del máximo esfuerzo cortante (TRESCA) tenemos que:

$$\tau_t = \frac{M_t \times r}{J}$$

$$\tau_t = \frac{M_t \times \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16M_t}{\pi d^3}$$

Reemplazando valores

$$\tau_t = \frac{16 \times 14.55 \times 10^3}{\pi \times 30^3} = 2.74 \text{ N/mm}^2$$

Donde la resistencia de fluencia al corte es:

$$\tau_f = 0,577\sigma_f = 0,577 \times 205 = 118,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_f}{F.S} = \frac{118,3}{2} = 59.15 \text{ N/mm}^2$$

Entonces cumple que:

$$\tau_{adm} > \tau_t$$

3.2.9 Determinación de frecuencia natural o velocidad crítica (W_n) [30]:

La frecuencia natural es una característica dinámica de un sistema dinámico, en este caso al diseñarse un agitador es sumamente importante conocer la primera frecuencia natural del mismo.

Esta frecuencia es la más baja que el eje vibra en relación a su longitud y masa. La norma general empleada en el diseño de un agitador es la de mantener la velocidad crítica o frecuencia natural del eje encima del 20% de la velocidad de operación, es decir:

$$n < 0.8 N_c$$

La fórmula para calcular la velocidad crítica es:

$$N_c = \frac{5.33 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{E_m}{\rho_m}}}{L \cdot \sqrt{L} \cdot \sqrt{W_c + \frac{wL}{4}}}$$

$$N_c = \frac{5.33 \cdot 0.030^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11}}{7800}}}{0.212 \cdot \sqrt{0.212} \cdot \sqrt{W_c + \frac{7800 \cdot (0.030^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.212}{4}}}$$

$W_c = \text{peso del eje agitador}$

$W_c = 0.5 \text{ kg (aprox)}$

$$N_c = \frac{5.33 \cdot 0.025^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11}}{7800}}}{0.212 \cdot \sqrt{0.212} \cdot \sqrt{0.5 + \frac{7800 \cdot (0.025^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.212}{4}}} = 49.57 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 2974 \text{ RPM}$$

Si el agitador trabaja a 400 RPM, entonces: $400 \text{ RPM} < 0.8 \cdot N_c = 2379.3 \text{ RPM}$

Este resultado informa que no presenta el eje del agitador problema alguno con respecto a falla de frecuencia natural.

3.2.10 Análisis de fatiga en eje de mezclador [31]:

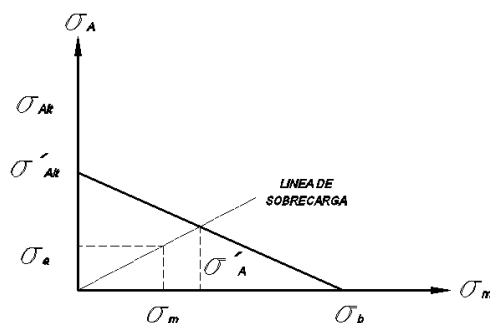


Figura N°16: Diagrama Haigh

Para materiales dúctiles como el AISI304 cumple que para $\sigma_b \leq 1400 \text{ N/mm}^2$, entonces el valor del esfuerzo alternante " σ_{Alt} " es:

$$\sigma_{Alt} = 0,5\sigma_b = 0,5 \times 480 = 240 \text{ N/mm}^2$$

Este valor debe ser modificado por el esfuerzo alternante reducido " σ'_{Alt} " considerando los siguientes factores:

- C_s : Acabado superficial (torneado fino) = 0,8
 C_t : Influencia del diámetro del eje = 30mm sometido a torsión = 0,8
 C_{temp} : Influencia de la temperatura valores $< 250^\circ\text{C}$ = 1
 C_{carga} : Influencia del tipo de carga (torsión) = 1
 C_c : Confiabilidad estadística del 50% = 1
 B_K : Influencia de la concentración de esfuerzos para carga de torsión en canal chavetero fabricado con fresa de disco = 1,4

$$\sigma'_{Alt} = \frac{C_s C_t C_{temp} C_{carga} C_c}{B_K} \sigma_{Alt}$$

$$\sigma'_{Alt} = \frac{0,8 \times 0,8 \times 1 \times 1 \times 240}{1,4} = 110 \text{ N/mm}^2$$

El esfuerzo alternante " σ_a " originado por el momento flector, según Von-Mises será:

$$\sigma_a = \frac{32M_b}{\pi d^3}$$

$$\sigma_a = \frac{32 \times 100 \times 10^3}{\pi \times 30^3} = 37.73 \text{ N/mm}^2$$

El esfuerzo estático " σ_m " originado por el momento torsor, según Von-Mises será:

$$\sigma_m = \sqrt{3} \left(\frac{16M_{pt}}{\pi D_{sh}^3} \right)$$

$$\sigma_m = \sqrt{3} \left(\frac{16 \times 14.55 \times 10^3}{\pi \times 30^3} \right) = 4.75 \text{ N/mm}^2$$

El límite real a la fatiga " σ'_A " se determina por la intersección de la línea de sobrecarga con la línea de falla por fatiga y es igual a:

$$\sigma'_A = \frac{1}{\frac{1}{\sigma'_{Alt}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_a} \left(\frac{1}{\sigma_b} \right)}$$

Por lo tanto, el factor de seguridad a la fatiga será:

$$FS = \frac{\sigma'_A}{\sigma_a} = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{\sigma'_{Alt}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_b}}$$

Reemplazando valores:

$$FS = \frac{1}{\frac{37.73}{110} + \frac{4.75}{480}} = 2.83$$

Como se puede observar el FS es mayor a 1, por lo que concluimos que no falla por fatiga.

Sin embargo, estos cálculos realizados se tomaron como un supuesto de que el eje del agitador sería un eje sólido. Sin embargo, esta opción resultaría costosa tanto en su manufactura como en su obtención. Por tal motivo se decidió hacer uso de un tubo con las mismas dimensiones aproximadas.

Hallamos, en primer lugar, el momento de inercia para el eje sólido de $d = 30\text{mm}$:

$$I_{z-eje} = \frac{\pi d^4}{64} = 39760.8 \text{ mm}^4$$

$$J_{x-eje} = 2I_z$$

$$I_{z-tubo} = \pi \left(\frac{D_e^4 - D_i^4}{64} \right)$$

Luego se debe cumplir que el momento de Inercia respecto al eje Z del tubo debe ser mayor o igual que el del eje solido:

$$I_{z-tubo} \geq I_{z-eje}$$

Elegimos un tubo: Tubería 1 1/4" SCH. 40

Donde,

D_e (mm) : Diámetro exterior del árbol hueco

D_i (mm) : Diámetro interior del árbol hueco

e (mm) : Espesor del árbol hueco.

Del tubo elegido se tienen las siguientes dimensiones:

$$D_e = 42.164mm$$

$$D_i = 35.052mm$$

$$e = 3.55mm$$

Calculamos I_{z-tubo} de la ecuación:

$$I_{z-tubo} = \pi \left(\frac{D_e^4 - D_i^4}{64} \right) = 81044.26mm^4$$

Por lo que se cumple que:

$$I_{z-tubo} \geq I_{z-eje}$$

3.2.11. Espesor de paletas [32]

A continuación, se determinará el espesor de las 6 paletas que conformaran la turbina del agitador estas deben tener un espesor mínimo el cual no sufran daños al momento de ser soldadas al cubo de la turbina. Para determinar el cálculo del espesor de las paletas y posteriormente calcular su deflexión para asegurar rigidez, se consideró a las paletas como si se trataran de vigas empotradas.

Sabiendo que:

$$F_s = 123.52 \text{ N}$$

$$T_n = 4.2 \text{ N.m}$$

Por lo tanto, la fuerza " F_n " que origina el torque del motor en el extremo de la paleta es:

$$F_n = \frac{T_n}{6(D_a/2)} = \frac{4.2}{6 \times \left(\frac{0,136}{2}\right)} = 10.29 \text{ N}$$

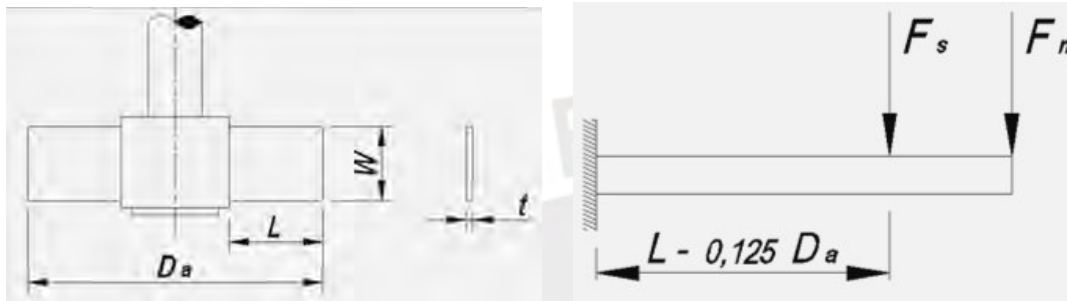


Figura N°17: Izquierda: disposición y dimensiones de las paletas. Derecha: Diagrama de cuerpo libre de una paleta, vista de la parte superior.

- **Cálculo por resistencia [26]**

La sección crítica de los alabes de la turbina se encuentra en la unión soldada entre la paleta y el eje de la turbina, entonces el valor del máximo esfuerzo es y asumiendo un factor de seguridad:

$$\sigma = \frac{[F_n \times L + F_s \times (L - 0,125D_a)] \times \left(\frac{t}{2}\right)}{I} < \sigma_{adm} = \frac{\sigma_f}{F.S} = \frac{205}{2} = 102,5 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

$$I = \frac{Wt^3}{12} = \frac{34 \times t^3}{12}$$

Reemplazando valores:

$$\sigma = \frac{[10.29 \times 43 + 123.52 \times (43 - 0,125 \times 136)] \times \left(\frac{t}{2}\right)}{\frac{34 \times t^3}{12}} < 102,5 \text{ N/mm}^2$$

Despejando valores:

$$t > 2.51 \text{ mm}$$

Entonces se procede a elegir una plancha de espesor nominal, por lo tanto, se elige una plancha de espesor 1/8 “

- **Cálculo por rigidez [26]**

Luego procedemos a calcular la máxima deflexión realizada por la paleta, realizando el método de superposición, el cual consiste en sumar las deflexiones producidas por las mismas cargas al actuar una sola. Entonces:

$$y_{\max} = y_{F_n} + y_{F_s}$$

$$y_{\max} = \frac{F_n L^3}{3EI} + \frac{F_s (L - 0,125D_a)^2}{6EI} (2L + 0,125D_a)$$

$$y_{\max} = \frac{10.29 \times 43^3}{3 \times 200 \times 10^3 \times 29.7} + \frac{123.52 (43 - 0,125 \times 136)^2}{6 \times 200 \times 10^3 \times 29.7} (2 \times 43 + 0,125 \times 136)$$

$$y_{\max} = 0,06 \text{ mm}$$

De donde:

$$\frac{y_{\max}}{L_{\max}} = \frac{0.06}{136} = 0.00044$$

Se puede corroborar que se trata de una deflexión mínima ya que:

$$\frac{y_{\max}}{L_{\max}} \sim \frac{1}{1000}$$

3.2.12. Cálculo de chaveta (unión por forma del árbol - agitador)

Se utilizará un acople cubo – eje para que el agitador sea más rígido. La unión entre el cubo y eje será mediante una chaveta, ya que esta transmitirá el torque del eje al cubo. El material de la chaveta será AISI304, la geometría estará basada en la norma DIN 6885, cuyas dimensiones van en función del diámetro del eje/ árbol del mezclador.

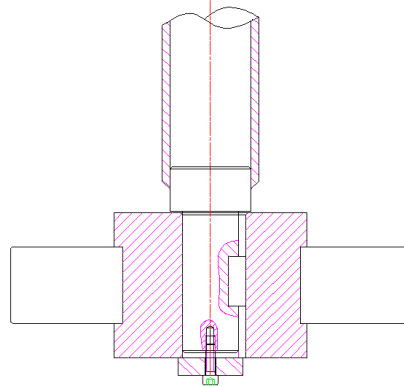


Figura N°18: Unión árbol-cubo inferior

Para el dimensionamiento de la chaveta se realizarán las siguientes consideraciones:

- La presión de contacto entre el flanco de la chaveta y el cubo o eje, generada por el torque, debe ser menor que la presión admisible.
- Se realizó el cálculo por resistencia al corte puesto que el AISI304 tiene menor resistencia a la fluencia que el St50.

Donde:

$$D_{sh} = 36; h^* = 8; b^* = 10; t_1^* = 4,7; t_2^* = 3,4$$

Se consideró:

T_a : Torque de arranque = 10.5 N.m

τ_{adm} : Resistencia de fluencia al corte admisible = 79 N/mm²

P_{adm} : Presión admisible = 210 N/mm²

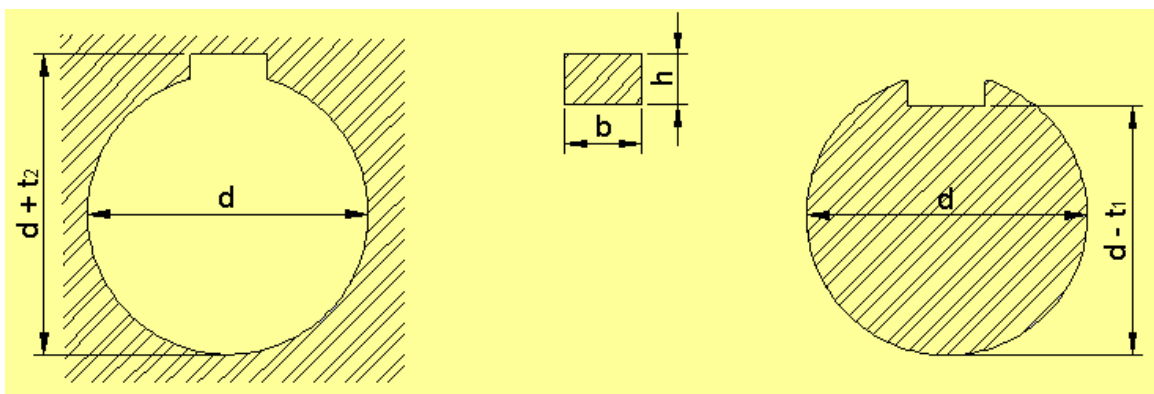


Figura N°19: Dimensiones para chavetas paralelas según DIN – 6885 [32]

Para el cálculo de la longitud de la chaveta se usó las siguientes expresiones para cada tipo distinto de fallas posibles:

Aplastamiento:

$$l \geq \frac{2 \times T_a}{D_e \times (h^* - t_1^*) \times P_{adm}} = \frac{2 \times 10.5 \times 10^3}{43 \times (8 - 4,7) \times 210} = 0.704 \text{ mm}$$

Corte:

$$l \geq \frac{2 \times T_a}{D_e \times b^* \times \tau_{adm}} = \frac{2 \times 10.5 \times 10^3}{43 \times 10 \times 79} = 0.61 \text{ mm}$$

Por tanto, el valor longitud teórica de la chaveta " l^* " seleccionada será:

$$l^* = 2.39 \text{ mm}$$

A esta longitud se le suma el ancho " b^* " de la chaveta y luego se aproxima a una longitud estandarizada " l_1^* ", por lo tanto:

$$l_1^* = l^* + b^* = 12.39 \text{ mm}$$

$$l_1^* = 22 \text{ mm ... longitud normalizada}$$

Por recomendaciones tanto el diámetro exterior " D^* " como la longitud " L^* " del cubo cumplen con las siguientes relaciones:

$$l = 1,5 \times D_e = 64.5 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$18\text{mm} \leq 64.5\text{mm}$$

Finalmente, las dimensiones de la chaveta son 8x10x18

3.2.13. Cálculo del cubo superior del eje de mezclador:

Sabiendo que el diámetro del árbol de salida del motor es de 35mm, tenemos que las dimensiones del cubo serán:

$$L_c = 1,5 \times D_e = 52,5\text{mm}$$

$$D_c = 2 \times D_e = 70 \text{ mm}$$

3.2.14. Cálculo del cubo inferior del eje de mezclador:

Para la parte inferior del árbol, la cual tiene por diámetro 43mm, el material elegido será el mismo que el de los demás elementos del mezclador (AISI 304)

$$L_c = 1,5 \times D_e = 64.5\text{mm}$$

$$D_c = 2 \times D_e = 86 \text{ mm}$$

3.2.15 Cálculo de tornillo de cabeza hexagonal interior [33]

Se empleo tornillo prisionero de cabeza hexagonal interior para sostener el eje del agitador y los cubos.

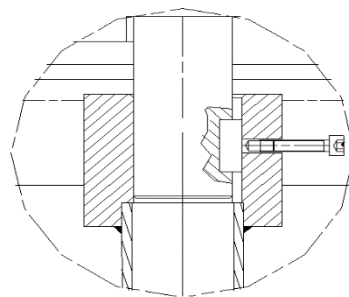


Figura N°20: Sujeción de la unión cubo superior-eje mediante tornillo prisionero

Siendo:

$$W_{\text{árbol}} = \frac{\pi D_{sh}^2}{4} \times l_{sh} \times \rho_{AlSi304}$$

$$W_{\text{árbol}} = \frac{\pi \times 0,025^2}{4} \times 0,8 \times 7850 = 3,1 \text{ kg}$$

El peso de los acoples, chavetas y paletas lo asumimos igual a 5 kg. Entonces:

$$W_{total} = 3,1 + 5 = 8.1 \text{ kg}$$

A partir de esto calculamos la resistencia a la cortante del tornillo [] mediante la fórmula:

$$F_{v,Rd} = n \cdot 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$F_{v,Rd}$: Resistencia a cortante de tornillo

N : número de planos de corte, como en nuestro caso es cortante simple $n=1$

f_{ub} : tensión última de aceros del tornillo, en nuestro caso es un tornillo de Grado 8.8 = 800 N/mm²

A : Área transversal del tornillo, asumiendo un tornillo prisionero M5

γ_{M2} : Coeficiente de minoración de los aceros estructurales 1.25

Reemplazando:

$$F_{v,Rd} = 1 \cdot 0.5 \cdot 800 \cdot \frac{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}}{1.25} = 6281.6N$$

Luego se debe cumplir que para que resista la cortante:

$$F \leq F_{v,Rd}$$

Donde:

$$F = W_{total} \times g = 8.1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 78.1 N$$

Se cumple la condición, para nuestro perno seleccionado: Prisionero M5

3.2.18 Selección de tornillo para impedir el movimiento de cubo inferior:

Se colocará un tope en el extremo inferior del árbol de transmisión para que el cubo que contiene a las paletas no se deslice, además para que este elemento pueda ser intercambiable por desgaste a comparación de estar soldado al árbol se necesita crear un nuevo elemento si esta falla.

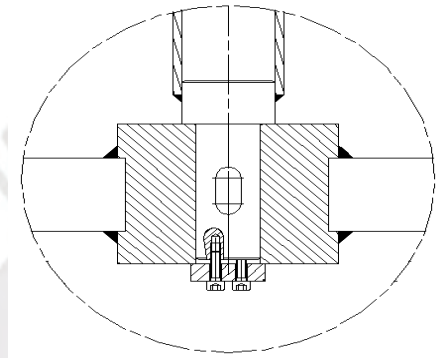


Figura N°21: Sujeción de la unión disco de seguridad-eje mediante prisioneros

La fuerza que soportarán los prisioneros será del peso del cubo y las paletas, entonces se tiene que el peso es:

$$W = W_{cubo} + W_{paletas}$$

$$W_{cubo} = (D_{cubo}^2 - d_e^2) \frac{\pi}{4} \cdot L_{cubo} \cdot \rho_{AISI304} = (0.086^2 - 0.043^2) \frac{\pi}{4} \cdot 0.065 \cdot 7930 \text{ kg/m}^3$$

$$= 2.24 \text{ Kg}$$

$$W_{paletas} = 6 \cdot w \cdot t_{paletas} \cdot L \cdot \rho_{AISI304} = 6 \cdot 0.034 \cdot 0.003175 \cdot 0.025 \cdot 7930 = 0.128 \text{ Kg}$$

$$W = (2.24 + 0.128) \cdot 9.81 = 23.2 \text{ N}$$

Se elige un tornillo cilíndrico con hexágono interior M8 x 25 DIN912 - AISI304

Datos de catálogo de tornillo M8 x 25DIN912 – AISI304:

$$d = 8mm$$

$$d_k = 13mm$$

$$s = 8mm$$

$$L = 25mm$$

3.2.17 Cálculo de uniones soldadas [31]:

Unión cubo superior – Tubo:

El cordón de soldadura entre el cubo superior y el árbol de transmisión de la mezcladora se encuentra bajo un esfuerzo de corte debido a la torsión, además de un esfuerzo de tracción ejercido por el peso del mismo tubo y de las paletas y el cubo inferior.

- **Esfuerzo Cortante por torsión:**

Realizaremos el siguiente análisis para los esfuerzos de corte:

$$\tau_{ts} = \frac{M_t \times r_{max}}{J}$$

Dónde:

$a(mm)$: Dimension del cordon de soldadura

$J(mm^4)$: Momento polar de la sección de soldadura

$M_t(Nm)$: Momento torsor = 14,55 N.m

$r_{max}(mm)$: Distancia al punto más alejado

$$r_{max} = \frac{d}{2} + a = \frac{42.164}{2} + 4 = 25.082mm$$

$$J = \frac{\pi}{32} [(d + 2a)^4 - d^4] = \frac{\pi}{32} [(42.164 + 2 \times 4)^4 - 42.164^4]$$

$$J = 311392.81mm^4$$

Reemplazando,

$$\tau_{ts} = \frac{14.55 \times 25.082}{311392.81} = 0.0011 \frac{N}{mm^2}$$

Como se puede apreciar, la influencia del momento torsor es mínima para la sección de tubo elegido del árbol transmisor.

- **Esfuerzo de tracción:**

El peso que soportara el cordón de soldadura, correspondiente a los elementos que actúan sobre él será:

$$P = W_{cubo} + W_{paletas} + W_{tubo}$$

Dónde:

$$W_{cubo} = 22N$$

$$W_{paletas} = 1.25N$$

$$W_{tubo} = 13.75N$$

$$P = 37N$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{P}{\frac{\pi}{4} [(d + 2a)^2 - d^2]} = \frac{37}{\frac{\pi}{4} [(42.164 + 2 \times 4)^2 - 42.164^2]} = 0.06 \frac{N}{mm^2}$$

De igual manera la influencia del peso de los elementos de la mezcladora inferiores al cubo superior no presenta problema alguno al cordón de soldadura dispuesto a colocar.

- **Unión cubo inferior – Tubo:**

El cordón de soldadura entre el cubo inferior y la tubería que sirve como árbol de transmisión se encuentra también sometido a un esfuerzo de tracción, así como de torsión. Sin embargo, como se demostró en el cubo superior tanto el momento cortante ejercido por la torsión y el momento normal debido a la fuerza de tracción por el peso de las paletas y el cubo serán prácticamente nulos, por lo que el cordón de soldadura soportará dichos esfuerzos y no habrá problema alguno.

- **Unión cubo inferior – Paletas:**

El cordón de soldadura entre el cubo inferior y las paletas se encuentran sometidos a flexión producido por el peso de las mismas paletas y por el torque del agitador.

En primer lugar, se calcula el momento flector que ocasiona el torque del agitador.

$$F = 23.77 \text{ N}$$

$$M_f = F \times d = (23.77 \text{ N} \times 136 \text{ mm}) = 3232.72 \text{ Nmm}$$

$$I_f = \frac{2 \times a \times h^3}{12} = \frac{2 \times 4 \times 34^3}{12} = 26202.66 \text{ mm}^4$$

Luego calculamos el peso de cada paleta:

$$W = \frac{(136 \times 3.175 \times 34) \text{ mm}^3}{1000^3 \text{ mm}^3 / \text{m}^3} \times 7960 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 9.81 \text{ m} / \text{s}^2 = 1.14 \text{ N}$$

Se puede apreciar que el valor del peso de las paletas es un valor despreciable en comparación con la fuerza que produce el torque del agitador.

En el punto crítico tenemos el esfuerzo causado por el momento flector:

$$\sigma_{fs} = \frac{M_f \times c}{I_f} = \frac{3131.72 \text{ Nmm} \times 7.175 \text{ mm}}{26202.66 \text{ mm}^4} = 0.857 \text{ N/mm}^2$$

A continuación, calculamos los esfuerzos cortantes:

$$\tau_{fs} = \frac{F}{A} = \frac{23.77 \text{ N}}{4 \times 34 \times 2} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

Paso final calculamos el esfuerzo equivalente:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{fs} + \sqrt{\sigma_{fs}^2 + 4\tau_{fs}^2} \right)$$

$$\sigma_{eq} = 0.86 \text{ N/mm}^2$$

Para seguir el procedimiento lo comparamos con el esfuerzo admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{v_1 \times v_2 \times v_3}{FS} = \frac{0.22 \times 0.8 \times 205 \text{ N/mm}^2}{2} = 18 \text{ N/mm}^2$$

Se cumple que:

$$\sigma_{eq} \leq \sigma_{adm}$$

3.2.18 Cálculo estructural

La estructura se compone de tres partes; la columna principal (que sirve de apoyo base del soporte superior y como apoyo de la mezcladora) y el soporte superior (que sirve como apoyo del soporte del motor) y el soporte del motor. La unión entre estos elementos estructurales es atornillada.

Los elementos críticos para analizar son el soporte del motor y la estructura base. Para el análisis de estos elementos, se inició realizando el cálculo de las fuerzas externas para posteriormente analizar el estado de esfuerzos de cada elemento.

Las cargas muertas sobre la estructura son las siguientes: el peso total del reactor(mezclador) con su capacidad máxima de fluido y el motor:

$$W_{\text{motor}} = 27 \text{ kg} \approx 265 \text{ N}$$

$$W_{\text{aceite}} = 92.0 \text{ kg} \approx 900 \text{ N}$$

$$W_{\text{mezclador}} = 25 \text{ kg} \approx 246 \text{ N}$$

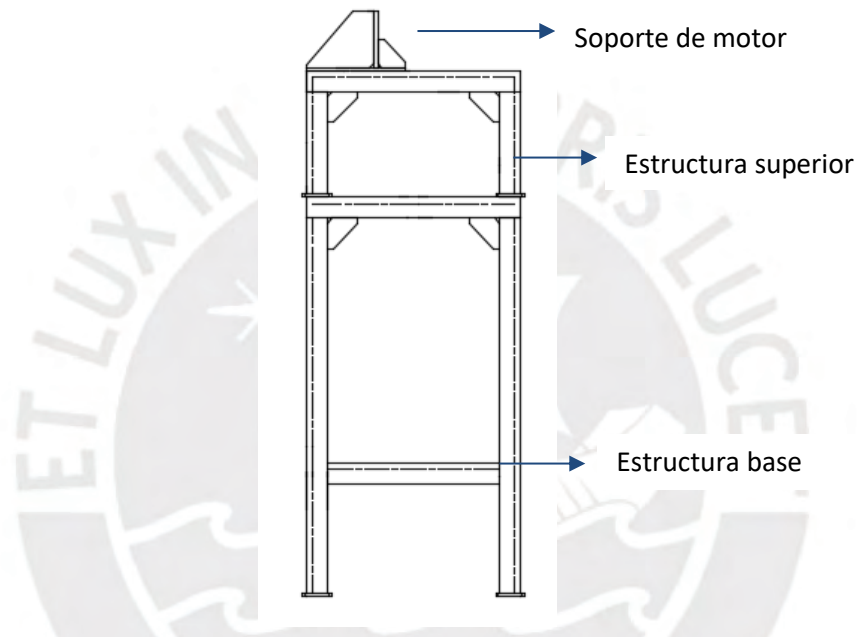


Figura N°22: Estructura del módulo de desgomado

3.2.18.1 Cálculo de soporte de motor [34]

Este elemento está afectado por el peso del motor, el torque que genera el mismo y el momento generado por el peso del motor:

- Peso del motor:

$$W_{\text{motor}} = 265 \text{ N}$$

- Momento generado por el peso del motor, respecto a la plancha de soporte:

$$M_{\text{motor}} = W_{\text{motor}} \times \text{distancia} = 265 \text{ N} \times 88 \text{ mm} = 23.32 \text{ N.m}$$

- Torque nominal generado por el motor:

$$T_n = 9.7 \text{ N.m}$$

Debido a las cargas presentes, la sección transversal de la plancha del soporte del motorreductor origina esfuerzos normales “ σ_{T_n} ” (debido al torque nominal), esfuerzos cortantes “ τ_w ” (debido al peso del motorreductor) y esfuerzos de corte “ $\tau_{M_{motor}}$ ” (debido al momento torsor generado por el peso del motorreductor).

Se procede a calcular los valores de los esfuerzos anteriormente mencionados para al final calcular el esfuerzo equivalente según Von Mises el cual debe ser menor que el esfuerzo admisible del material:

$$\sigma_{T_n} = \frac{T_n \times \frac{a}{2}}{I_y}$$

$$\sigma_{T_n} = \frac{9.7 \times \left(\frac{9.5}{2}\right) \times 1000}{\left(9.5^3 \times \frac{140}{2}\right)} = 7.29 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_w = \frac{W_{motorreductor} \times 1.5}{A}$$

$$\tau_w = \frac{265 \times 1.5}{9.5 \times 140} = 0.29 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{M_{motor}} = \frac{M_{motor} \times (3a + 1.8b)}{8a^2b^2}$$

$$\tau_{M_{motor}} = \frac{23.32 \times 1000 \times (3 \times 9.5 + 1.8 \times 140)}{8 \times 9.5^2 \times 140^2} = 0.46 \text{ N/mm}^2$$

Entonces el esfuerzo equivalente será:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{T_n}^2 + 3(\tau_w^2 + \tau_{M_{motor}}^2)}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{7.29^2 + 3(0.29^2 + 0.46^2)} = 7.35 \text{ N/mm}^2$$

Luego se cumple que:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{FLUENCIA}}{2} \geq \sigma_{eq}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{FLUENCIA}}{FS} = \frac{250 \text{ N/mm}^2}{2} = 125 \text{ N/mm}^2 \geq 7.35 \text{ N/mm}^2$$

Calculamos para cuestiones de verificación la deflexión de la plancha. En este caso la que origina el T_n puesto es el que afecta a la sección transversal de la plancha con menor momento de inercia.

La fórmula de deflexión de una plancha es:

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{1}{6EI} (3M_1x^2 - R_1x^3)$$

Dónde:

$$M_1 = -\frac{M_0}{l^2} (4la - 3a^2 - l^2); R_1 = -6 \frac{M_0}{l^3} (al - a^2); x = l - \frac{2M_2}{R_2}$$

$$l = 526 \text{ mm}; a = \frac{l}{2}; T_n = 9.7 \text{ N.mm}; E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{1}{12} \times 140 \times 9.5^3 = 10002.7 \text{ mm}^4$$

$$M_1 = -\frac{9.7 \times 1000}{526^2} (4 \times 526 \times 263 - 3 \times 263^2 - 526^2) = -2425 \text{ N.mm}$$

$$R_1 = -6 \times \frac{9.7 \times 1000}{526^3} (263 \times 526 - 263^2) = -27.66$$

$$x = 526 - \frac{2 \times 2425}{27.66} = 350 \text{ mm}$$

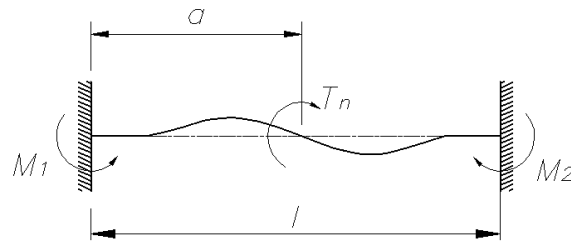


Figura N°23: Flexión causada por el torque nominal del motor

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{1}{6 \times 200000 \times 10002.7} (3 \times -2425 \times 350^2 - 27.66 \times 350^3) = -0.074mm$$

Se puede considerar entonces que se trata de una deflexión mínima.

3.2.18.2 Cálculo de columna soporte

Para el cálculo de la columna soporte, verificaremos que esta no falle por pandeo, puesto que se trata de un elemento esbelto soportando una carga axial de compresión generado por el soporte superior, el motor y los apoyos del mezclador en su máxima capacidad:

- Peso del mezclador en máxima capacidad:

$$W = W_{\text{contenido}} + W_{\text{mezclador}}$$

$$W = W_{ac} + W_{H20+acidos} + W_{mezclador} = (75Kg + 5.367Kg + 25Kg) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W \approx 1200N$$

- Motor:

$$W_{\text{motor}} = 27 \text{ kg} \approx 265 \text{ N}$$

- Peso de soporte superior:

$$W_{\text{sop.sup}} = 10\text{kg} \approx 98 \text{ N}$$

Entonces el peso total soportado por la columna superior será de:

$$W_{\text{total}} = 1200 \text{ N} + 265\text{N} + 98\text{N} = 1563\text{N}$$

- Cálculo por rigidez del perfil horizontal [34]

Se analizó la rigidez de los componentes verticales de la columna superior, los cuales soportan las cargas de los apoyos del mezclador y considerando que los extremos de la viga se encuentran empotrados. La carga “P” puntual se aplica en el punto medio de la viga.

$$P = \frac{W}{4} = \frac{1200N}{4} = 300N$$

Se aplica la fórmula para deflexión de vigas:

$$y_{max} = \frac{2P}{3EI} \frac{a^3(l-a)^2}{(3a+(l-x))^2}$$

$$y_{max} = \frac{2 \times 165N}{3 \times 210000 \times 144,8 \times 10^3 mm^4} \times \frac{237.5^3 \times (475 - 237.5)^2}{(3 \times 237.5 + (475 - 237.5))^2}$$

Entonces cumple, puesto que:

$$y_{max} = 0,005 \text{ mm}$$

- Cálculo de Pandeo del perfil crítico vertical

Se calcula el pandeo para la estructura base el cual soportara el peso tanto de la columna superior como del equipo centrifugo el cual es el que emitirá mayor peso a la estructura mediante los apoyos:

- Considerando nuestra barra con apoyos articulado-empotrado:

L : Longitud del perfil = 981 mm

L_p : Longitud efectiva = L (ver anexo)

P : Fuerza axial aplicada sobre la columna = $\frac{1560 N}{4} = 390N$

I : Inercia del perfil = $0,348 \text{ in}^4 = 144,85 \times 10^3 \text{ mm}^4$

A : Área del perfil = $0,938 \text{ in}^2 = 605 \text{ mm}^2$

r : Radio de giro = $0,609 \text{ in} = 15,47 \text{ mm}$

$F.S.$: Factor de seguridad según normas AISC = 1,92

λ : Grado de esbeltez: $\frac{L}{r}$

$$\lambda = \frac{981 \text{ mm}}{15.47 \text{ mm}} = 39$$

Una vez hallado el grado de esbeltez, se ubica en la tabla del coeficiente de esbeltez para encontrar el factor ω :

Tipo de acero	Coeficiente ω de pandeo función de la esbeltez $\lambda = l_x/i$ $\lambda +$										
	λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A37	20	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03
	30	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06
	40	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11
	50	1.12	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15	1.16	1.17	1.17	1.18
	60	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.28	1.29
	70	1.30	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.39	1.40	1.42	1.44
	80	1.45	1.47	1.49	1.51	1.53	1.55	1.57	1.59	1.61	1.63
	90	1.65	1.67	1.70	1.72	1.74	1.77	1.79	1.82	1.84	1.87
	100	1.89	1.92	1.95	1.97	2.00	2.03	2.06	2.09	2.12	2.15

Figura N°24: Coeficiente w de pandeo

$$\omega = 1.06$$

Entonces según el método omega:

$$\omega \times \frac{P}{A} \leq \frac{\sigma_{Fadm}}{FS}$$

$$1.06 \times \frac{390 \text{ N}}{605 \text{ mm}^2} \leq \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1.92}$$

$$0.683 \text{ N/mm}^2 \leq 129 \text{ N/mm}^2$$

Entonces se puede verificar que el perfil seleccionado soporta las exigencias de las cargas con mayor demanda, en este caso las fuerzas verticales.

3.2.19. Cálculo del depósito de aceite

El depósito de aceite el cual se encontrará a la salida de la centrifuga para recibir el aceite procesado será dimensionado para contener un volumen de 80 litros. Por tal motivo se dimensionará de una forma que no ocupe mucho espacio en la distribución de la máquina.

$$V_T \geq 0.0842881 \text{ m}^3$$

Asumiremos un depósito con un volumen de:

$$V_d = 0.09 \text{ m}^3 = 90 \text{ Lt}$$

Tomando como muestra la forma del reactor del mezclador:

Para la parte cilíndrica:

$$V_{dcil} = A_{basecil} \times H_{dcil}$$

Considerando una base de 600mm

$$0.09 \text{ m}^3 = \pi \times 0.3^2 \times H$$

$$H = 318 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Sin embargo, se necesita bombear el contenido para que este sea distribuido a la siguiente fase o si en caso necesite un paso más por el mezclador y centrifuga. Por tal motivo se le añadirá al cilindro un cono en la parte inferior para que el aceite pueda acumularse en la parte inferior.

$$V_{dcon} = \frac{1}{3} \times \pi \times r^2 \times H_{cono}$$

Como ya se tiene el volumen necesitado, se asumirá una altura para el cono de 80 mm el cual hará un ángulo con la horizontal de 17° el cual es el necesario para que el aceite se concentre en la parte inferior del mismo.

$$V_{dcon} = \frac{1}{3} \times \pi \times 0.6^2 \times 0.08$$

$$V_{dcon} = 0.03m^3$$

El material a utilizar será una plancha de 3mm de espesor de acero inoxidable AISI316

3.3 Descripción del separador Centrífugo:

Por la cantidad de aceite que entrará al proceso de producción, se escogerá un separador centrífugo de pequeñas magnitudes, existen diversos separadores en el mercado, sin embargo, para facilitar las especificaciones se elige el modelo ALFA LAVAL MAB102B cuyas características principales se muestran a continuación:

Diametro de tambor interior	125mm	Velocidad de tambor maxima	9375 RPM
Capacidad máxima	560L/h	Velocidad de motor 60Hz	1800 RPM
Peso	55 Kg	Potencia/Voltaje	0.36kW/380V
Dimensiones (mm)	645x307x480	Marca/Modelo	Alfa Laval MAB102B

Tabla N°8: Separador Centrifugo seleccionado

- Temperatura de trabajo: 0° a 100°C
- Temperatura de ambiente: +5° a +55°C
- Máximo tiempo de funcionamiento sin flujo,
- Tambor vacío / lleno: 180 minutos

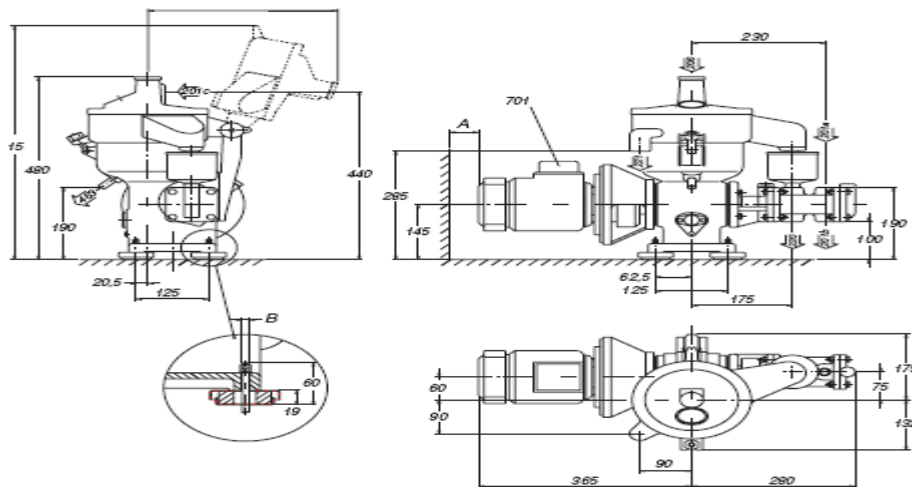


Figura N°25: Separador centrifugo de discos

3.4 Selección de válvula de 3 vías:

Puesto que nuestro modulo tendrá 2 fases de mezcla y centrifugado, se seleccionará una válvula de bola 3 vías manual para que cumpla esta función de distribución del fluido:

- 1ra Fase: Mezclado y centrifugado, el aceite desgomado con agua deberá volver al reactor de mezcla para el desgomado acido.

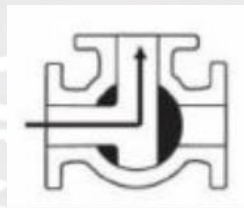


Figura N°26: Posición de válvula para la primera fase del desgomado

- 2da Fase: Luego del centrifugado del desgomado acido, el aceite completamente desgomado deberá pasar a la siguiente estación.

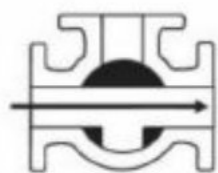


Figura N°27: Posición de válvula para con trayectoria del aceite desgomado a la fase de transesterificación.

3.5 Controlador de temperatura y tiempo:

- Para medir y controlar la temperatura necesaria dentro de la mezcladora, se utilizará un sensor de temperatura, así como una termocupla tipo J. Los cuales estarán unidos a un display donde también tendrá un cronómetro para tomar el tiempo de los procesos incluidos.



Figura N°28: pantalla de caja principal – botonera para equipo de desgomado (imagen referencial)

3.6 Diseño Final:

Finalmente, realizados todos los cálculos el equipo queda como se presenta en la siguiente figura:

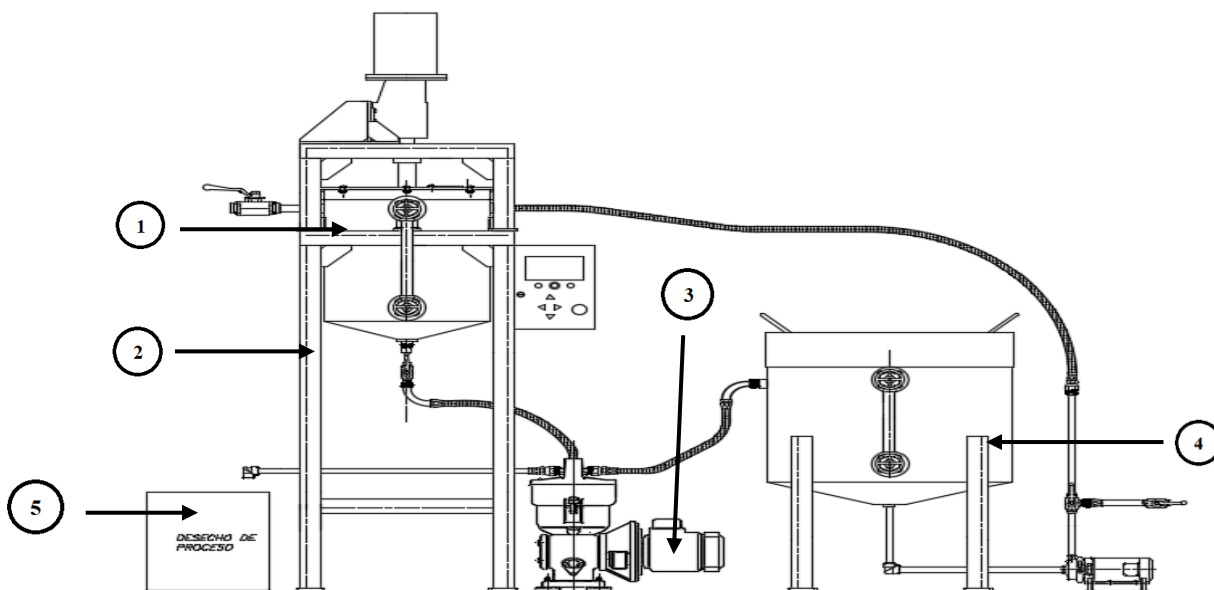


Figura N°29: Vista del diseño final: 1) mezcladora; 2) estructura metálica; 3) separador centrífugo; 4) depósito de aceite desgomado; 5) depósito de desecho. En este caso el aceite llega al reactor provisto de un agitador es decir a la mezcladora (1) donde se realiza el desgomado con agua en un primer momento y luego el desgomado ácido en una siguiente etapa; en ambos casos los productos pasan al separador centrífugo (3) desde donde se centrifuga al depósito de aceite desgomado (4) mientras que las gomas también por centrifugación pasan al depósito de desecho (5).

COSTO TOTAL ESTIMADO DE PROYECTO

Cant.	Unidad	Descripcion	Material	Empresa	Precio Unitario US\$	Precio Total US\$
ESTRUCTURA METALICA Y CARTELAS						
3	unid	Angulo estructural 2"x1/4 X 6m	A36	ACEROS AREQUIPA	25.00	75.00
1	unid	Angulo estructural 1 1/4"x1/4 X 6m	A36	ACEROS AREQUIPA	15.00	15.00
1	unid	Platina 4" x 1/4" x 6m	A36	ACEROS AREQUIPA	25.00	25.00
MEZCLADORAS Y DEPOSITO						
1	unid	1.6 M X0.5 M X3MM	A36	ACEROS AREQUIPA	20.00	20.00
2	unid	Union niple 1" NPT Hembra-Hembra	GALV	SODIMAC	0.70	1.40
1	unid	Union niple 4" NPT Hembra-Hembra	GALV	SODIMAC	2.50	2.50
1	unid	Angulo estructural 1 1/2"X3/32"X 2m	A36	ACEROS AREQUIPA	19.00	19.00
1	unid	Platina 2"X1/8" X 2m	A36	ACEROS AREQUIPA	3.00	3.00
1	unid	Platina 2"X5/16"X 6m	A36	ACEROS AREQUIPA	9.00	9.00
1	unid	Plancha 1.9 m X0.45 m X 3mm	A36	ACEROS AREQUIPA	30.00	30.00
1	unid	Union niple 1/2" NPT Hembra-Hembra	GALV	SODIMAC	0.30	0.30
1	unid	Union niple 3/4" NPT Hembra-Hembra	GALV	SODIMAC	0.50	0.50
TAPAS						
1	unid	Plancha 0.5 m X0.5m X 5mm	A36	ACEROS AREQUIPA	80.00	80.00
1	unid	Plancha 0.85 mX 0.85m X 3mm	A36	ACEROS AREQUIPA	40.00	40.00
SOPORTE MOTORRED						
1	unid	Plancha 0.62m X 0.25mX 3/8"	A36	ACEROS AREQUIPA	15.00	15.00
1	unid	Plancha 0.61mX0.14mX3/8"	A36	ACEROS AREQUIPA	15.00	15.00
1	unid	Plancha 0.14mX0.5m X 5mm	A36	ACEROS AREQUIPA	20.00	20.00
FERRETERIA						
1	unid	Tablero electrico	-	-	350.00	350.00
1	glb	Perneria			30.00	30.00
EQUIPOS Y ELEMENTOS EXTRA						
1	unid	Termocupla tipo J	-	-	20	20.00
1	unid	Resistencia electrica 4 KW	-	-	80.00	80.00
1	unid	Motorreductor trifasico Siemens 1 HP		SIEMENS	500.00	500.00
1	unid	Bomba para aceite			150.00	150.00
1	unid	Separador Centrifugo		ALFA LAVAL	3000.00	3000.00
1	glb	Tuberia PVC 1/4" x 10 metros		PAVCO	15.00	15.00
1	glb	Mangueras y Valvulas			80.00	80.00
OTROS						
1	glb	Gastos generales de fabricacion			1077.00	1077.00

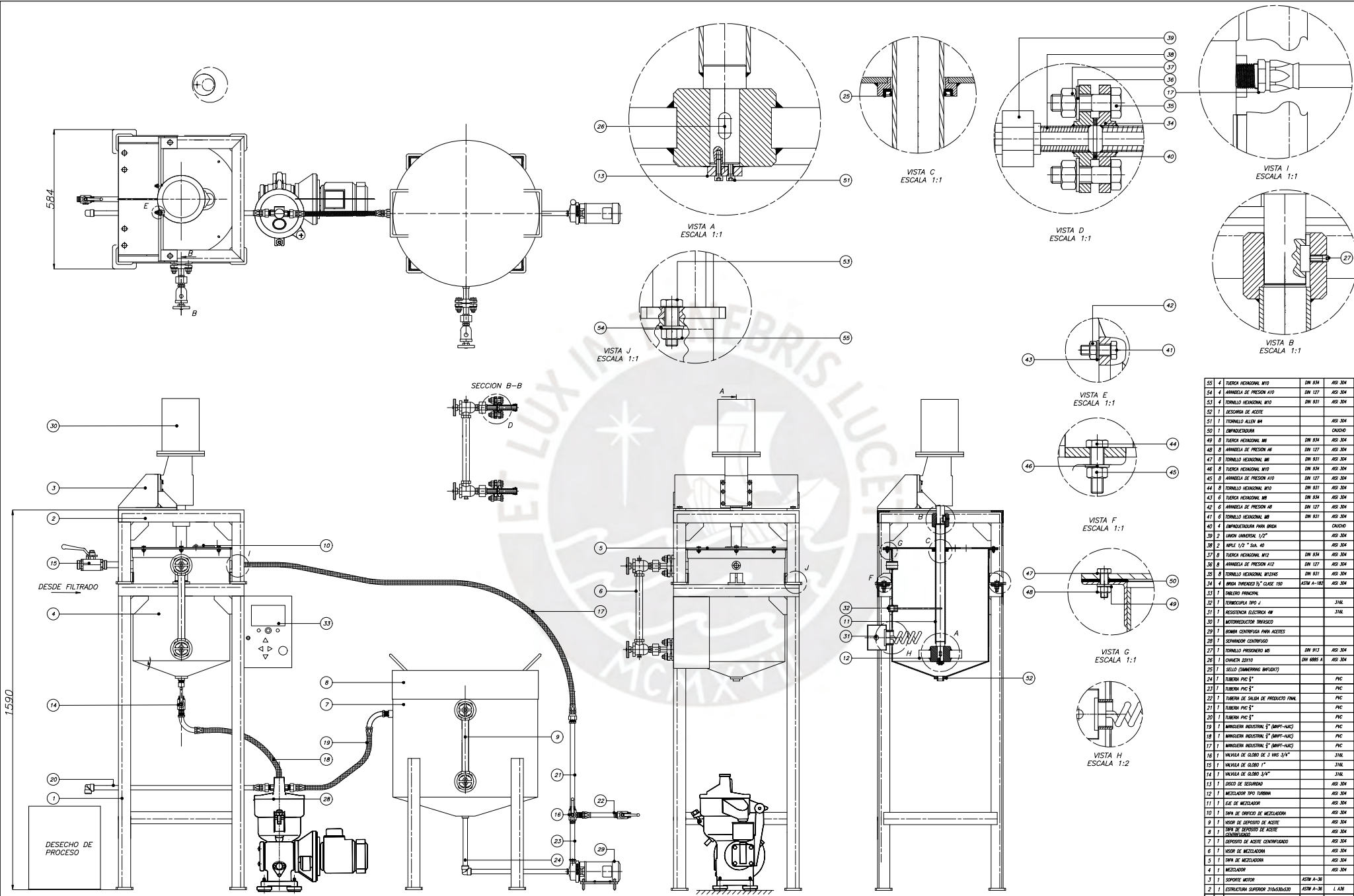
TOTAL (USD)	5672.70
--------------------	----------------

GASTOS GENERALES DE FABRICACION

ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	PRECIO (USD)
TRABAJO METALMECANICO			
1	Corte de perfil para columna soporte y estructura principal	Perfil L - A36	479.04
2	Corte de planchas para soporte de motoreductor	A36	
3	Corte de planchas para tapas de mezclador y deposito	A36	
4	Corte de plancha para mezclador y deposito	A36	
5	Ensamblaje de piezas	A36	
6	Montaje de equipos	-	
TRABAJO DE SOLDADURA			
1	Soldadura de perfiles metalicos		359.28
2	Soldadura de planchas (soporte, mezclador, deposito, tapas)		
TRABAJO ELECTRICO			
1	Montaje de tablero electrico		239.52
2	Instalacion de sistema electrico		
3	Pruebas finales		
TOTAL			1077.8

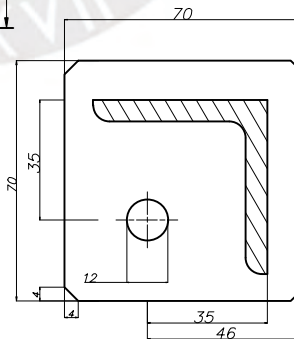
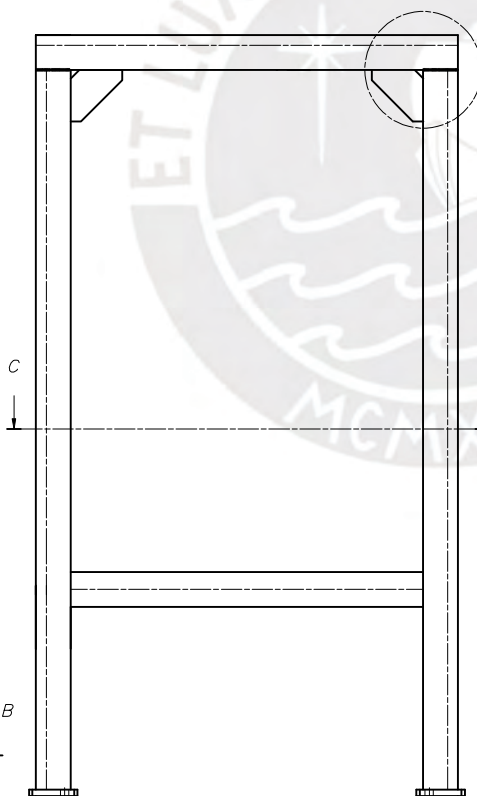
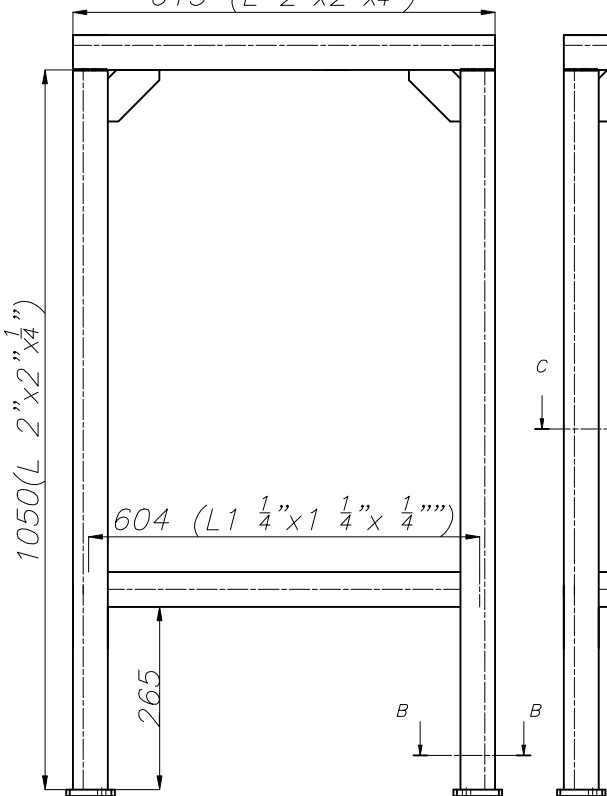
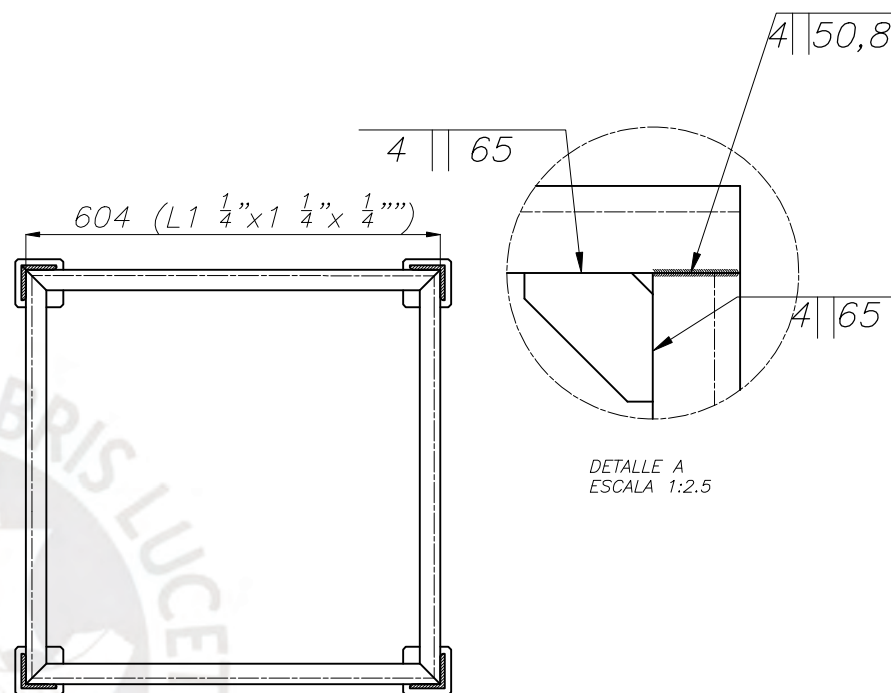
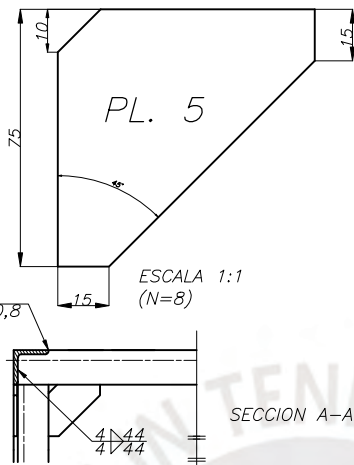
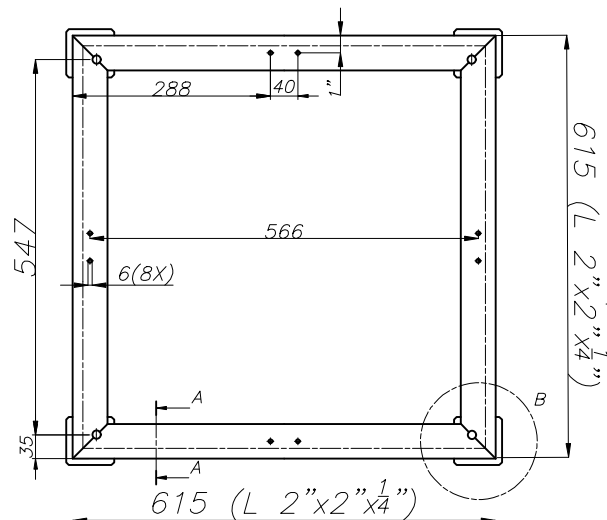
CAPITULO 5**PLANOS**

N°PLANOS	DESCRIPCION
ENS-E1-A0	Ensamble general del módulo de desgomado
DES-D1-A1	Despiece de columna soporte
DES-D2-A3	Despiece de estructura superior
DES-D3-A4	Despiece de soporte de motorreductor
DES-D4-A2	Despiece de mezcladora
DES-D5-A4	Despiece de tapa de mezcladora
DES-D6-A4	Despiece de eje de mezcladora
DES-D7-A4	Despiece de agitador de mezcladora
DES-D8-A3	Despiece de depósito de aceite
DES-D9-A4	Despiece de tapa de depósito de aceite
DES-D10-A4	Despiece de disco de seguridad



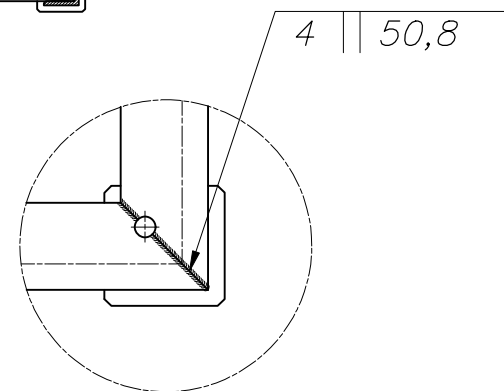
55	4	FLUJERA HEXAGONAL M10	DN 834	402 304	aporte ag-aporte
54	4	ARMADURA DE PRESION A10	DN 127	402 304	aporte ag-aporte
53	4	TORNILLO HEXAGONAL M10	DN 831	402 304	aporte ag-aporte
52	1	RECUBRIDA DE ACEITE			n=3/4"
51	1	TORNILLO ALLEN M4		402 304	meclador-DISCO
50	1	EMPACOTAMIENTO			CAUCHO
49	8	FLUJERA HEXAGONAL M8	DN 834	402 304	meclador-tipo
48	8	ARMADURA DE PRESION M8	DN 127	402 304	meclador-tipo
47	8	TORNILLO HEXAGONAL M8	DN 831	402 304	meclador-tipo
46	8	FLUJERA HEXAGONAL M10	DN 834	402 304	meclador-aporte
45	8	ARMADURA DE PRESION A10	DN 127	402 304	meclador-aporte
44	8	TORNILLO HEXAGONAL M10	DN 831	402 304	meclador-aporte
43	6	FLUJERA HEXAGONAL M6	DN 834	402 304	meclador-aporte
42	6	ARMADURA DE PRESION M6	DN 127	402 304	meclador-aporte
41	6	TORNILLO HEXAGONAL M6	DN 831	402 304	meclador-aporte
40	4	EMPACOTAMIENTO PARA BRIDA			CAUCHO
39	2	LINDO CANTONERA 1/2"		402 304	brida de bobina
38	2	MPLE 1/2" S&W 40		402 304	brida de 1/2"
37	8	FLUJERA HEXAGONAL M12	DN 834	402 304	brida de bobina
36	8	ARMADURA DE PRESION M12	DN 127	402 304	brida de bobina
35	8	TORNILLO HEXAGONAL M12x45	DN 831	402 304	brida de bobina
34	4	BRIDA FORNADA BY CLASE 150	ASTM A-182	402 304	brida de bobina
33	1	PLACAS FRONTAL			
32	1	TERMOVALVULA IPO J		316	SUPERFICIE HELICOIDAL
31	1	RESISTENCIA ELECTRICA 4W		316	SUPERFICIE HELICOIDAL
30	1	MOTORELECTRICADOR INVERSICO			0.75 HP - 400 RPM
29	1	BOMBA CENTRIFUGA PARA ACEITES			DEBIDO
28	1	SEPARADOR CENTRIFUGO			SEPARADOR
27	1	TORNILLO PROXIMOS M8	DN 813	402 304	MECL. DE ESTOP
26	1	CANTONERA 25X10	DN 885 A	402 304	MECLADORA
25	1	SELO (CONJUNTO IMPACTO)			4" x 6"mm
24	1	TUBERIA PVC 1"		PVC	SEPTOR-DIVISOR
23	1	TUBERIA PVC 1"		PVC	SEPTOR-DIVISOR
22	1	TUBERIA DE SALIDA DE PRODUCTO FINAL		PVC	JUNTA-MECLADORA
21	1	TUBERIA PVC 1"		PVC	JUNTA-MECLADORA
20	1	TUBERIA PVC 1"		PVC	SEPTOR DE SEPTOR DE PRODUCTO
19	1	BRIDAJERA INDUSTRIAL 1" (BWT-HAC)		PVC	SEPARADOR-SEPTOR
18	1	BRIDAJERA INDUSTRIAL 1" (BWT-HAC)		PVC	MECLADORA-SEPTOR
17	1	BRIDAJERA INDUSTRIAL 1" (BWT-HAC)		PVC	SEPTOR-MECLADORA
16	1	VALVULA DE GLOBO DE 1" M&S 3/4"		316	SEPTOR-MECLADORA
15	1	VALVULA DE GLOBO 1"		316	MECL. ACOTE PL. PROD.
14	1	VALVULA DE GLOBO 3/4"		316	MECLADORA-SEPTOR
13	1	DISCO DE SEGURIDAD		402 304	MECLADORA - C/E
12	1	MECLADOR IPO TUBERIA		402 304	4 PALAS
11	1	CAJE DE MECLADOR		402 304	
10	1	OPVA DE DEPÓSITO DE MECLADORA		402 304	MECLADORA
9	1	HOJER DE DEPÓSITO DE ACEITE		402 304	
8	1	HOJER DE DEPÓSITO DE ACEITE		402 304	4 PALAS
7	1	DEPÓSITO DE ACEITE CENTRIFUGADO		402 304	
6	1	HOJER DE MECLADORA		402 304	tipo 30-100 LL.
5	1	OPVA DE MECLADORA		402 304	n=450mm
4	1	MECLADOR		402 304	
3	1	SEPTOR MOTOR	ASTM A-36		PC n=1/4"
2	1	ESTRUCTURA SUPERIOR TRIANGULAR	ASTM A-36	L 3M	L 2x 2 1/2"
1	1	ESTRUCTURA BASE/ALICATA	ASTM A-36	L 3M	L 2x 2 1/2"

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECANICA
 METRO DE PROCESO I
 DISEÑO DEL MÓDULO DE SEPARADO DE UNA PLANTA
 PARA EL ACORTE DE LA INDUSTRIA DE ACEITE Y PALAS
 DE UNAS COMERCIALES DESECHO DE PALAS
 OLIVOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO



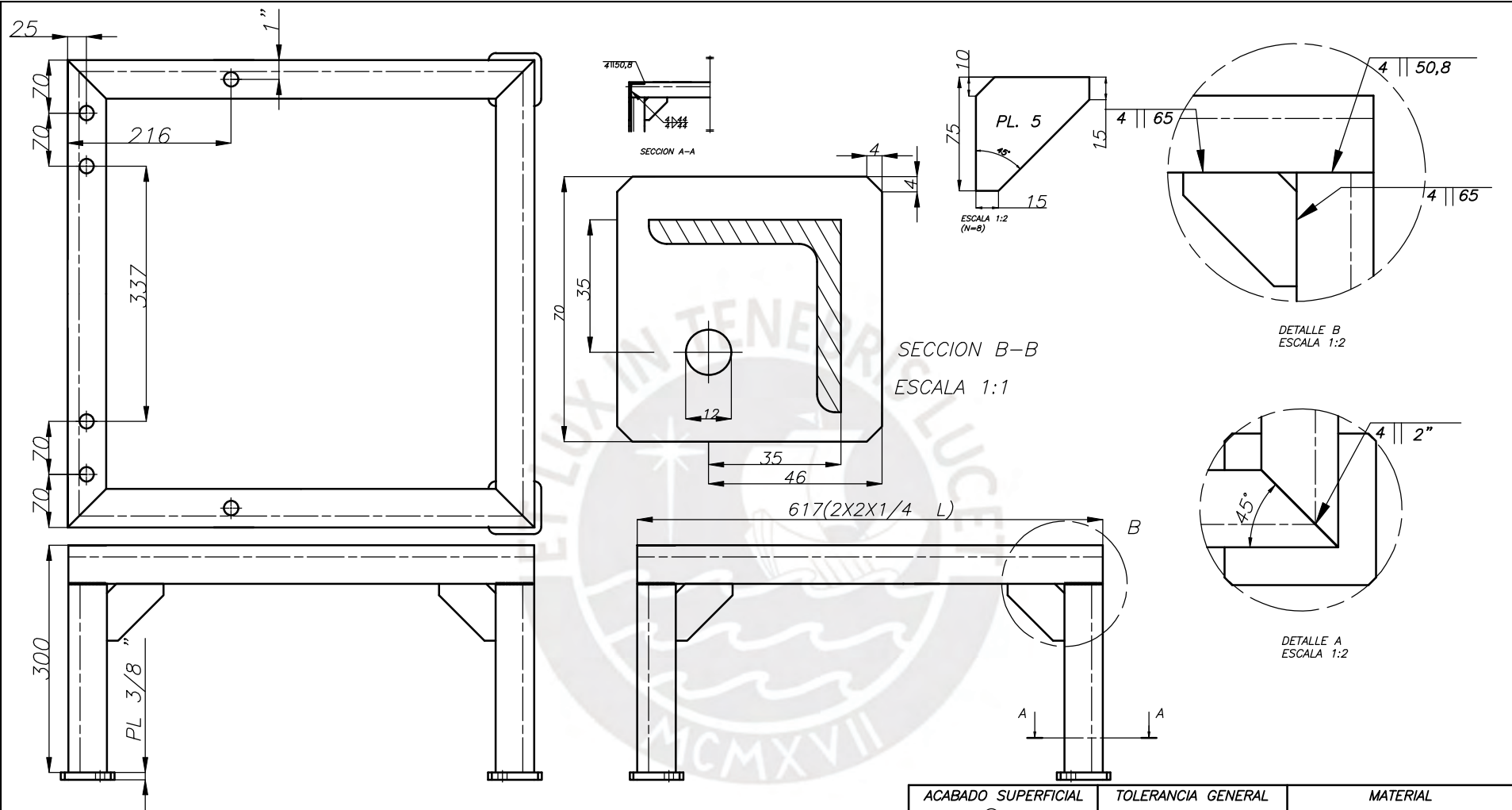
SECCION B-B
ESCALA 1:1

e=10 mm



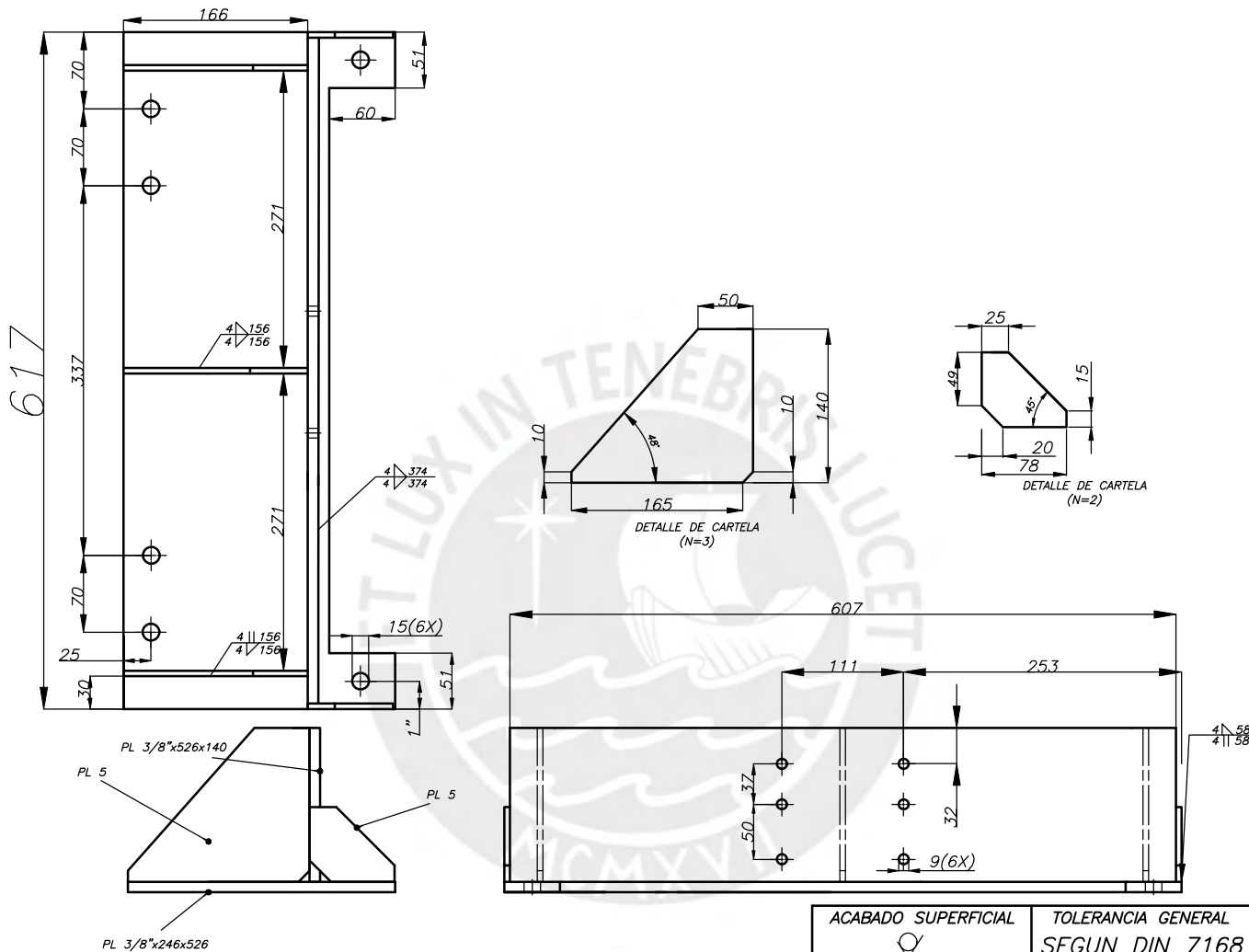
DETALLE B
ESCALA 1:2.5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION 	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:5
2003.0600	DESPIECE DE ESTRUCTURA BASE	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D1-A2



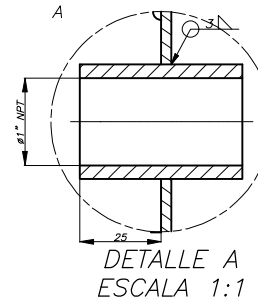
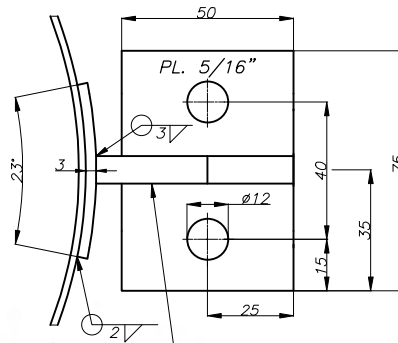
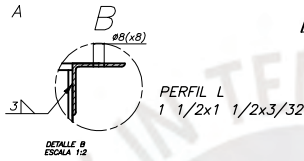
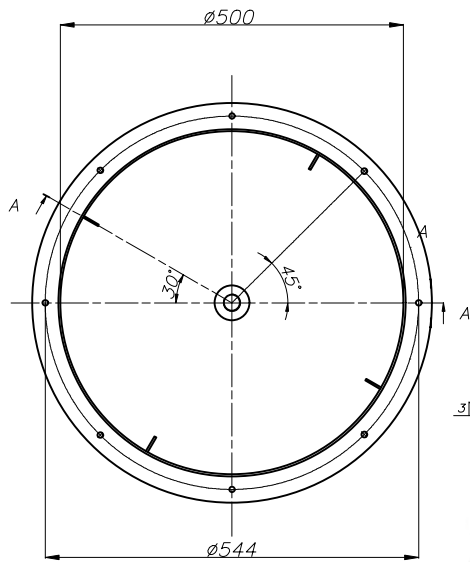
TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168					
MEDIDA NOMINAL	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400
MEDIA	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL ▽	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION ⊕	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:5
2003.0600	DESPIECE DE ESTRUCTURA SUPERIOR	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D2-A3



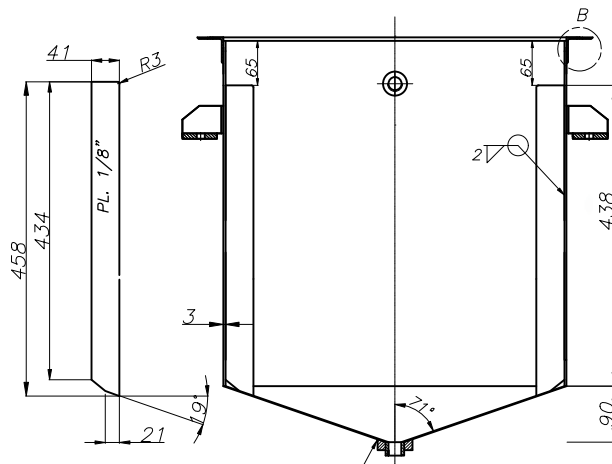
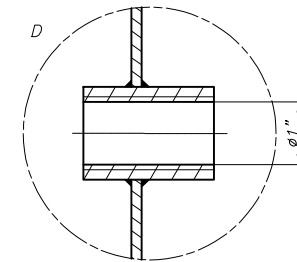
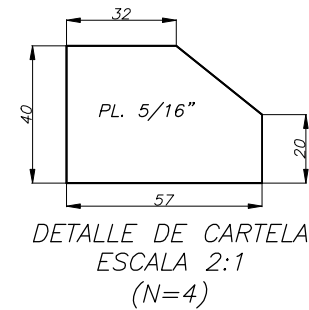
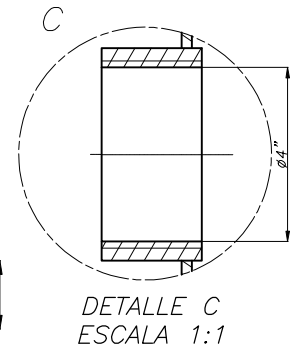
TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168					
MEDIDA NOMINAL	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400
MEDIA	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL ▽	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION ⊕	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:5
2003.0600	DESPIECE DE SOPORTE DE MOTORREDUCTOR	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D2-A3



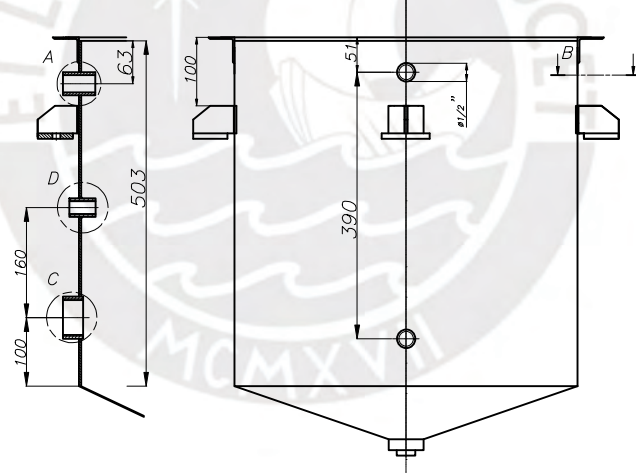
SOLDAR LOS SOPORTES CUANDO SE MONTE SOBRE LA ESTRUCTURA CON EL MOTORREDUCTOR Y EL EJE ENSAMBLADO

SECCION B-B ESCALA 1:1



DETALLE DE DEFLECTOR (N=4)

SECCION A-A

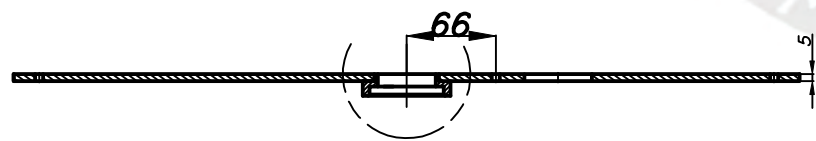
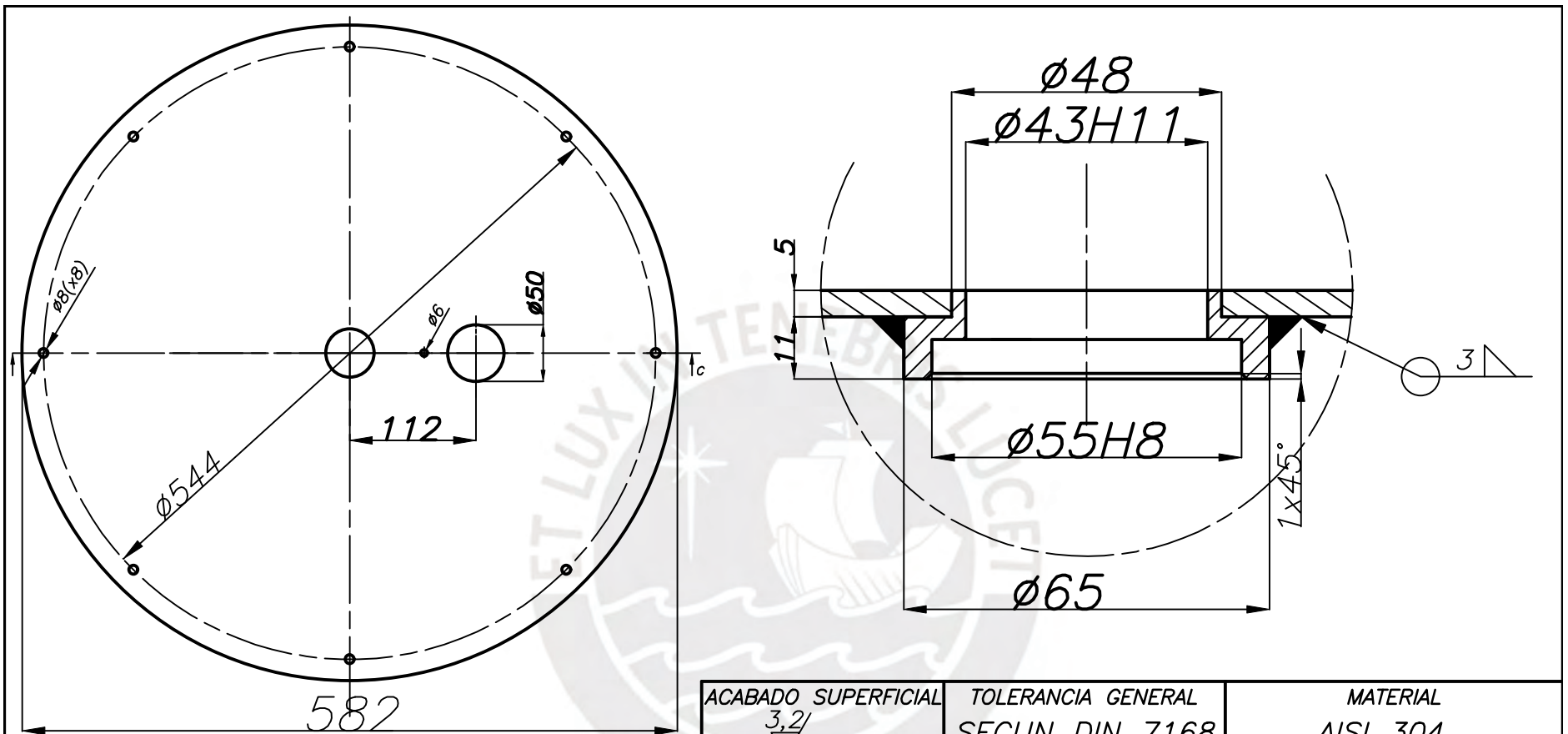


DETALLE D ESCALA 1:1

TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168					
MEDIDA NOMINAL	0,5 hasta	más de 0,5 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 600
MEDIA	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

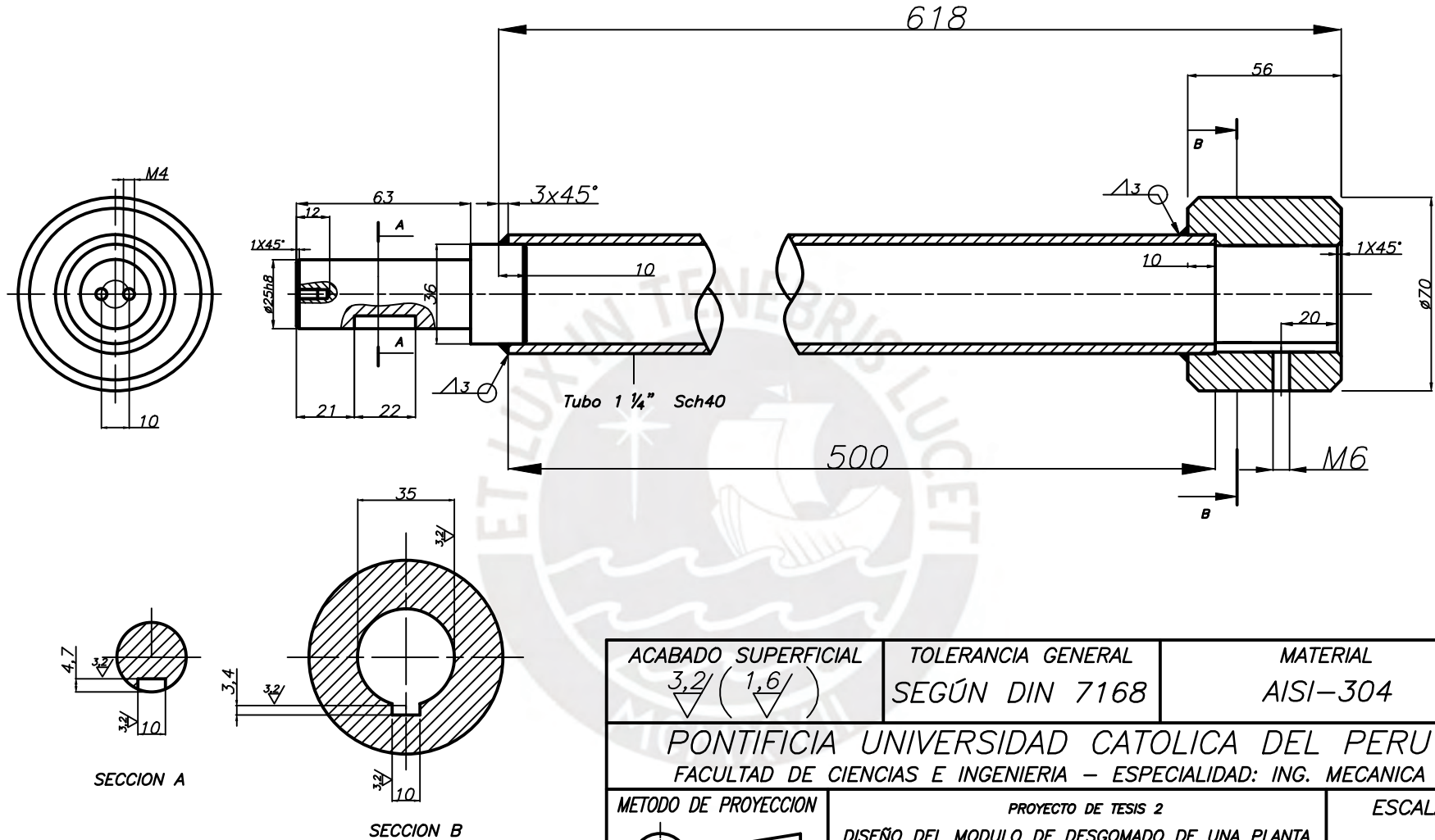
ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS 2 DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:5
2003.0.600	DESPIECE DE CUERPO DE MEZCLADORA	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D4-A2



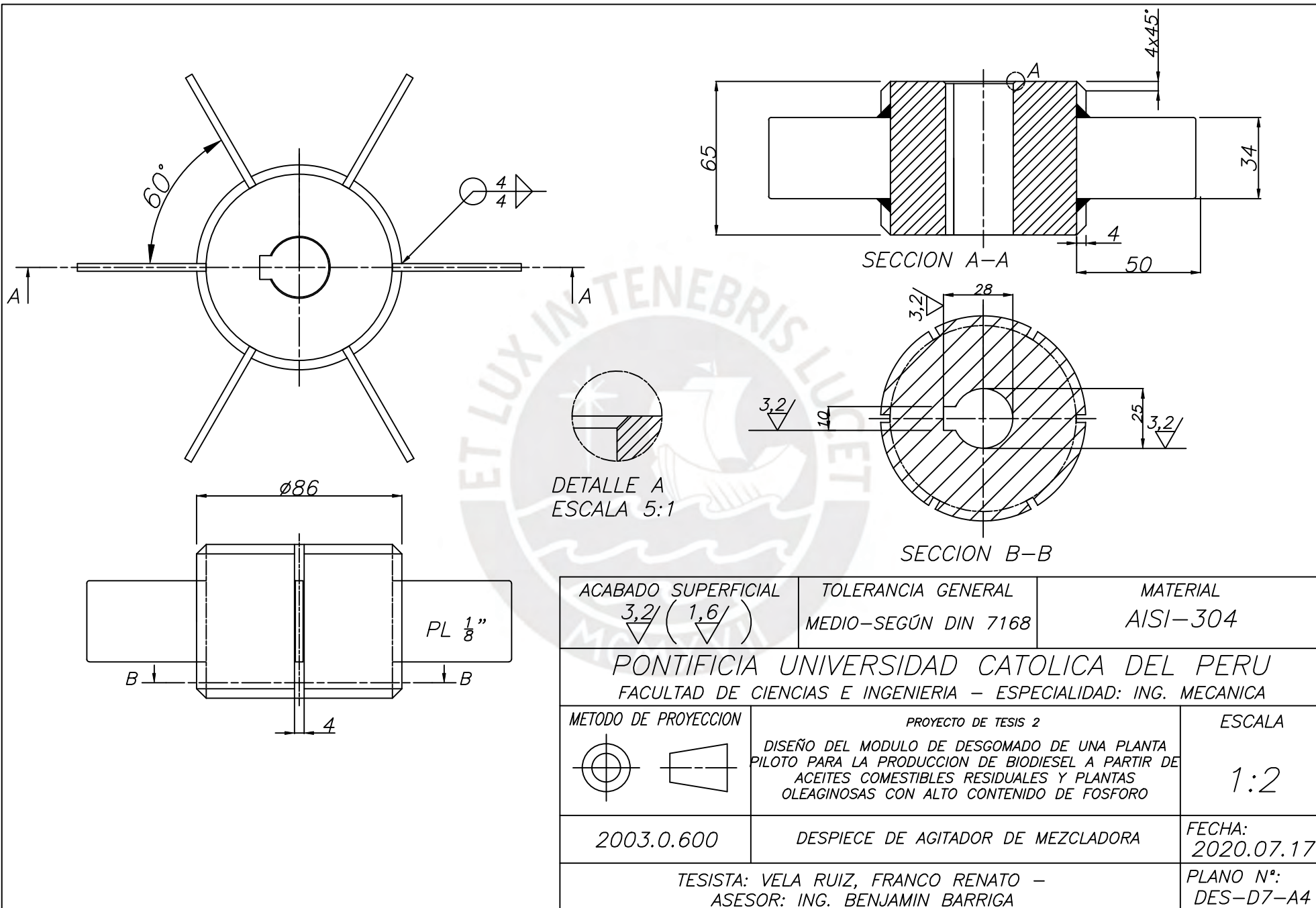
SECCION C-C

TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168					
MEDIDA NOMINAL	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400
MEDIA	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

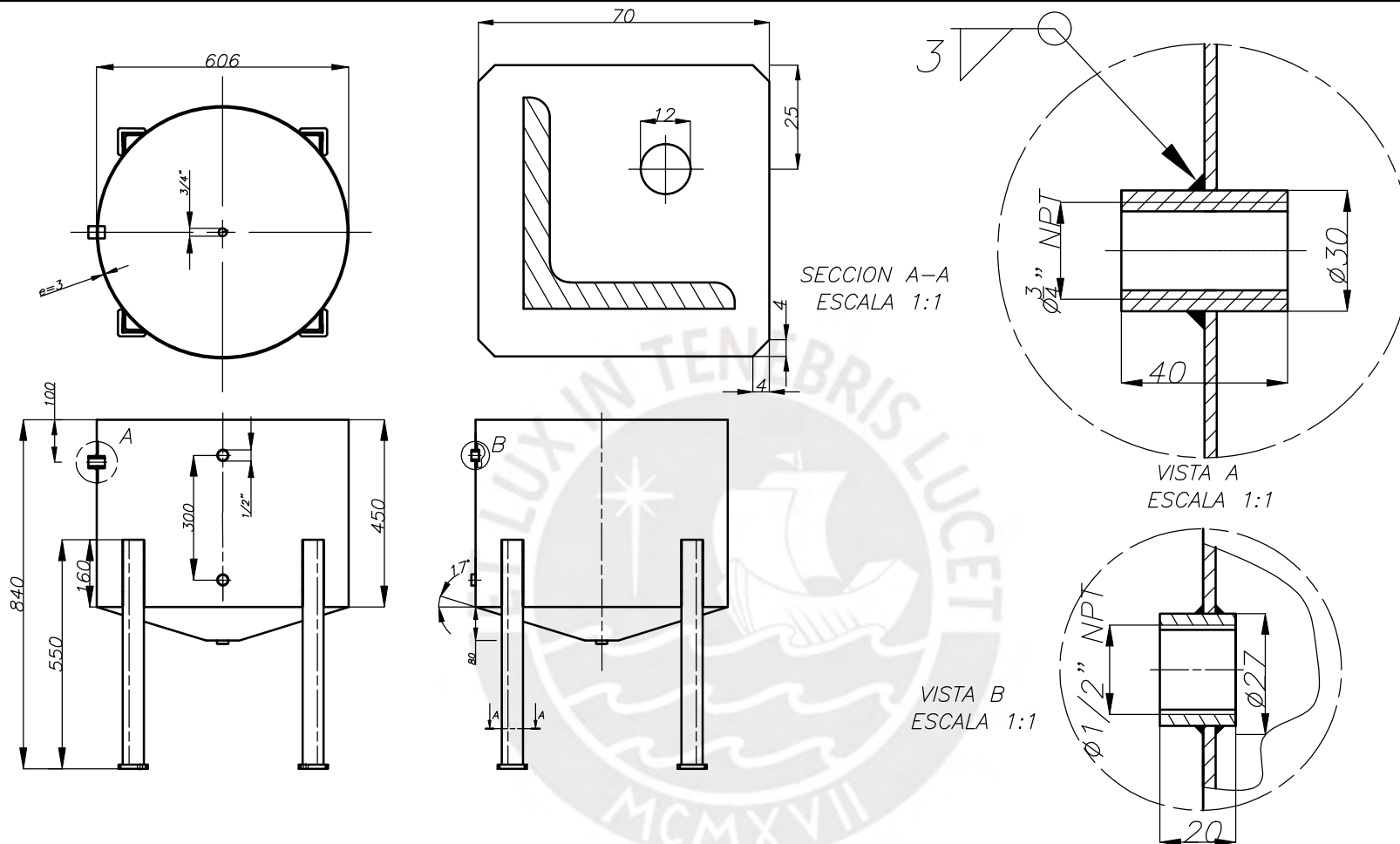
ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION 	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIFUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:5
2003.0600	DESPIECE TAPA DE MEZCLADORA	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D5-A4



ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ (1,6/)	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168	MATERIAL AISI-304						
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA								
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS 2 DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:2						
20030600	DESPIECE DE EJE DE MEZCLADORA	FECHA: 2020.07.17						
<table border="1"> <tr> <td>25h8</td> <td>25,000</td> <td>28,967</td> </tr> <tr> <td>COTA NOMINAL</td> <td>COTA MAXIMA</td> <td>COTA MINIMA</td> </tr> </table>	25h8	25,000	28,967	COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA	TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA	PLANO N°: DES-D6-A4
25h8	25,000	28,967						
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA						

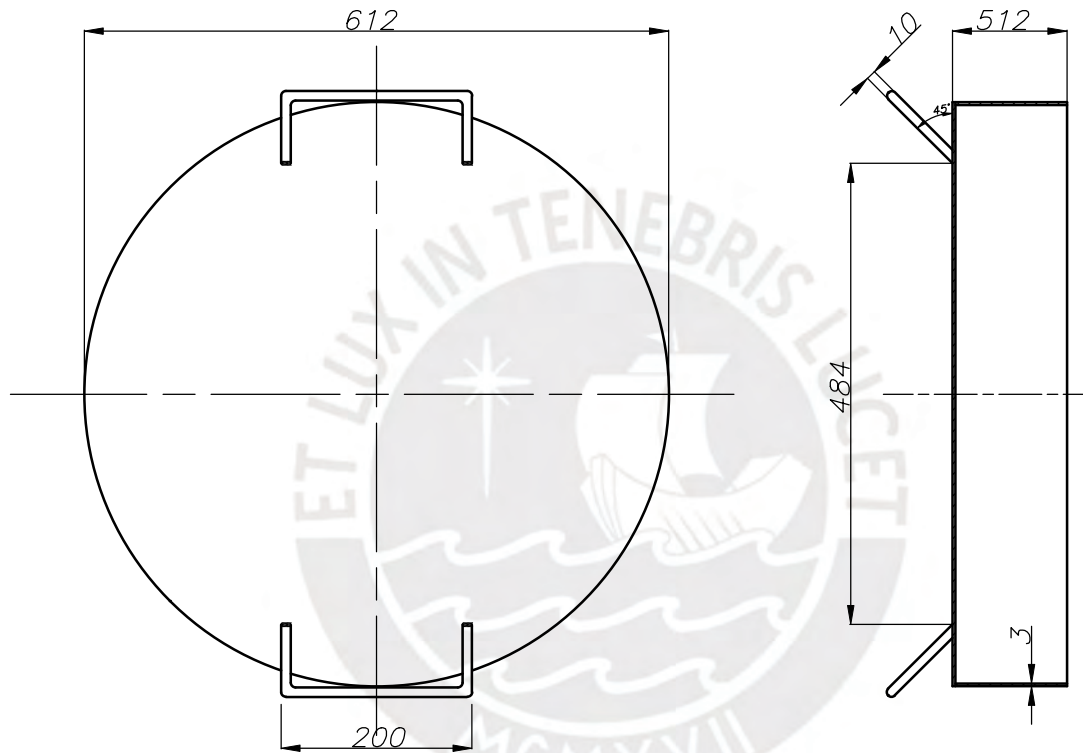


ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ (1,6/)	TOLERANCIA GENERAL MEDIO-SEGÚN DIN 7168	MATERIAL AISI-304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS 2 DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:2
2003.0.600	DESPIECE DE AGITADOR DE MEZCLADORA	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D7-A4



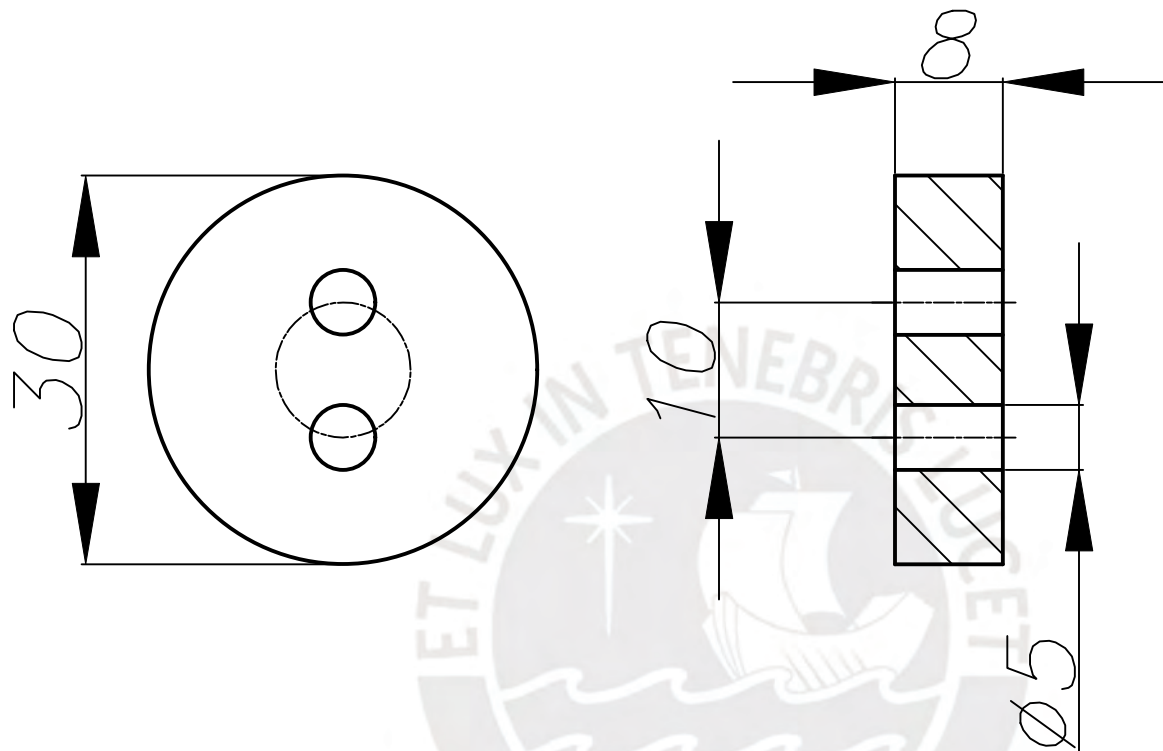
ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA					
TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168					
MEDIDA NOMINAL	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400
MEDIA	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL ▽	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION ⊕	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:10
2003.0600	DESPIECE DE DEPOSITO DE ACEITE	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D8-A3



TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168					
MEDIDA NOMINAL	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400
MEDIA	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL ▽	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION ⊕ ▭	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 1:5
2003.0600	DESPIECE DE TAPA DE DEPOSITO DE ACEITE	FECHA: 2020.07.17
TESISTA: VELA RUIZ, FRANCO RENATO – ASESOR: ING. BENJAMIN BARRIGA		PLANO N°: DES-D9-A3



ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL AISI-304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECANICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS 2 DISEÑO DEL MODULO DE DESGOMADO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES COMESTIBLES RESIDUALES Y PLANTAS OLEAGINOSAS CON ALTO CONTENIDO DE FOSFORO	ESCALA 2:1
2003.0.600	DISCO DE SEGURIDAD	FECHA: 2020.07.17
VELA RUIZ, FRANCO RENATO		PLANO N°: DES-D10-A4

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

- **CONCLUSIONES**

1. Usando la metodología de diseño mecánico, después de evaluar tres alternativas de solución se escogió la primera opción. Con ello se cumple con lo especificado en la lista de exigencias, de lo cual se puede resaltar:
 - a. el diseño propuesto presenta un modelo compacto el que no ocupa un espacio mayor a 5m²
 - b. un bajo consumo de energía (motor eléctrico para el mezclador de 1,1 kW, el motor eléctrico del separador centrifugo de 0,75kw; la resistencia eléctrica que sirve para calentar el producto de 3,8 KW, todos ellos no superan los 6 KW.
 - c. el uso de acero inox. 304, garantiza la resistencia a la corrosión y la durabilidad del módulo.
 - d. también es importante mencionar que todos los elementos seleccionados para el diseño de este módulo son materiales comerciales, que se pueden encontrar de forma fácil en el mercado local, esto asegura el mantenimiento con recursos locales.
 - e. el montaje entre los elementos que intervienen en el módulo es de forma sencilla utilizando como método de unión: uniones atornilladas, esto permite la facilidad tanto de ensamblaje, como mantenimiento y cambio de partes. El diseño propuesto también otorga la facilidad de poder ser transportado sin necesidad de utilizar vehículos de carga pesada.
 - f. el análisis económico del proceso de fabricación tanto de los materiales como de los procesos seguidos para su construcción e instalación, da como presupuesto final aproximado la suma de 5672.70 USD lo que está dentro de los alcances del presupuesto.
 - g. Se tiene como resultado un módulo viable tanto tecnológica como económicamente.
2. El módulo diseñado para el desgomado, consiste en el diseño de una estructura, un mezclador tipo turbina (a condiciones de temperatura y presión atmosféricas; así como revoluciones de giro constantes) y un separador centrífugo; el que permite obtener el aceite desgomado en un tiempo menor (aproximadamente 30-50 minutos) en comparación a la técnica de decantación, la que necesita más o menos 1 día para obtener la separación de las gomas del aceite. De este modo se minimizan el tiempo total de producción del proceso de

producción de biodiesel para el caso de los aceites comestibles residuales y plantas oleaginosas con alto contenido de fosforo.

3. Este trabajo se relaciona con la tesis “Diseño del módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina” realizada por el E. Barriga M.[3], en la que se propone e implementa un módulo de transesterificación de 40 litros de aceite. Con este trabajo se aporta a la construcción de la planta de producción de biodiesel, porque se diseña uno de los módulos para pre tratar el aceite que pudiera contener gomas de diferente tipo y acondicionar la materia prima, es decir el aceite, para la etapa de transesterificación.
4. El módulo diseñado es para una planta piloto, esta experiencia permite reunir experiencias que sirven para un escalamiento mayor.
5. Finalizando, con este trabajo se aporta al problema actual de la contaminación ambiental y la demanda de combustibles fósiles no contaminantes, avanzando con la investigación y desarrollo de alternativas de solución a este problema y demanda. También aporta a la toma de conciencia y difusión el uso de energías alternativas en el Perú que son amigables con el medio ambiente.

- **RECOMENDACIONES**

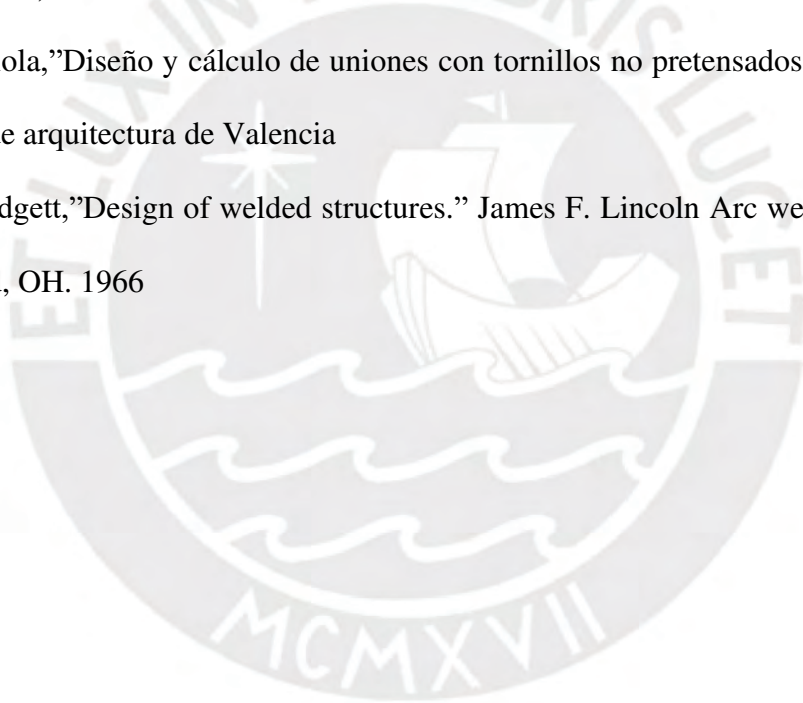
1. Se puede mejorar el presente diseño planteando una automatización del proceso haciendo que los procesos intermedios tengan menor tiempo de operación, dando como resultado una mayor productividad y menores tiempos de manipuleo; lo cual resultara en una mayor rentabilidad al proyecto. A su vez se puede rediseñar el modelo, realizando modificaciones y/o realizar modelos a escala de los equipos que intervienen, mejorándolo tanto económicamente como técnicamente.
2. Se recomienda realizar/construir un modelo en laboratorio para llevar a cabo el análisis de la calidad del biodiesel con este método y también un análisis de calidad de biodiesel sin proceso de desgomado para verificar las ventajas de este proceso y cómo influyen en el producto final.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] M.T. Colque Pinelo, V. Sanchez Campos, “Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el Calentamiento Global?” 2007
- [2] D. Lizana Rojas, “Prediseño de una Planta Piloto de Biodiésel a partir de aceites reciclados de Cocina con fines I+D”. Máster Europeo en Energías Renovables. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España, pp.75, 2007.
- [3] E. Barriga, "Diseño del módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina", trabajo fin de grado PUCP, Lima, Perú 112 pp, 2011.
- [4] P. Castro, “Opciones para la Producción y Uso del Biodiesel en el Perú. Soluciones Prácticas.” 115p, 2007
- [5] *Reglamento para la comercialización de biocombustibles*, OSINERGMIN, 2007
- [6] D. Franco, “Alimentos Argentinos” [En línea]. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/aceites/Informes/AplicacionesAceitesGrasas_2011_11Nov.pdf
- [7] E. Marabert, “Desgomados de aceites crudos” [En línea]. Disponible en: http://www.oleosegorduras.org.br/imagens/file/Degomagem_Oleos_Brutos_Processamento_Sub-produtos_Qualidade_no_Refino.pdf
- [8] Ma. Alarcon Herrera, “Producción de Biodiesel a partir de micro algas” [En línea] Disponible en: https://www.academia.edu/34277651/Produccion_de_bio_diesel_a_partir_de_micro_algas
- [9] R. McCormick, S. Westbook, “Biodiesel y mezclas de biodiesel” [En línea]. Disponible en: <http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/Q207/q207aprmccwes.html>
- [10] “ONU: ‘Hay que eliminar los combustibles fósiles para 2100’”, *BBC NEWS*, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/ultimas_noticias/2014/11/141102_ultnot_ciencia_cambio_climatico_panel_combustibles_fosiles_lv
- [11] P. Castro, S. Sevilla, y J. Coello, “Estudio sobre la situación de los biocombustibles en Perú”, *Soluciones Prácticas*, Lima, Perú. Jun. 2008. pp. 18
- [12] T. Verleyen, U. Sosinska, S. Ioannidou, R. Verhe, K. Dewettinck, A. Huyghebaert, and W. De Greyt, “Influence of the Vegetable Oil Refining Process on Free and Eterified Sterols”, *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 79, pp. 947-953, 2002

- [13] T. N Indira, J. Hemavathy, S. Khatoon, A.G Gopala Krishna and S. Bhattacharya, "Water degumming of rice bran oil: a response Surface approach", *Journal of Food Engineering*, vol. 43, pp. 83-90, 2000.
- [14] G. Mangesh, G. Kulkarni, and K. Dalai Ajay, "Waste Cooking Oils An Economical Source for Biodiesel", *American Chemical Society*, vol. 45, pp. 2901-2913, 2006.
- [15] C. Leiva, "Control de calidad del biodiesel", pp 23
- [16] M. Canakci, J. Van Gerpen, "A Pilot Plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks", *ASAE*, 2001
- [17] G. Mendow, F.C. Monella2011, "Biodiesel production from non-degummed vegetable oils: Phosphorus balance throughout". *Fuel Processing Technology*. ELSEVIER p.864-870, 2011.
- [18] L. Kuan-Ting, "Effect of process conditions on the removal of phospholipids from *Jatropha curcas* oil during the degumming process". *Chemical Engineering Research and Design*. ELSEVIER p.1381-1386, 2012.
- [19] S. Mujica, "Información personal Grupo de EQSAC Grupo de investigación en Salud, Seguridad, Ambiente y Calidad – Eq-SAC"
- [20] O. Zufarov, "Degumming of rapeseed and sunflower oils", Institute of Biotechnology and Food Science and Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic, 2008.
- [21] A. Dijkstra, M. Van Opstal, "The Total Degumming Process", N.V. Vandermoortele Coordination Center, Research & Development Department. Belgium, 1989
- [22] B. Barriga, "Método de diseño en Ingeniería Mecánica", 1985.
- [23] Aceros Inoxidables. [En línea]. Disponible en: <http://www.sumiteccr.com>
- [24] E.L.Paul, V.Atiemo-Obeng, S.Kresta, "Handbook of industrial mixing: science and practice" Wiley-IEE, 2004, p. 1293-1313.
- [25] R. Perry, "Manual del Ingeniero Químico." 6ta ed., McGraw Hill.2004
- [26] S. Casas, "Diseño de una lavadora de hojuelas de plástico de 100kg/h de capacidad." PUCP, 2010, p 112.

- [27] F. Vargas Machuca, “Máquinas eléctricas rotativas.” 1a ed. Lima, Perú. 2010
- [28] I. Mirolubov, S. Engalichev, N. Sergurevski, “Problemas de resistencia de materiales.” 4ta edición. Rusia: MIR
- [29] N. Harnby, M.F. Edwards, A.W. Nienow, “Mixing in the process industries”. 2a. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 1997.
- [30] V. Badiola, “Diseño de Maquinas 1”, 2004
- [31] V.M. Faires, “Diseño de Elementos de Máquinas.” México: Uteha, 1985 p. 229
- [32] C.Y. Warren, “Roark’s Formulas for stress and strain.” 7ma. edición. USA, 2010
- [33] A. Guardiola, “Diseño y cálculo de uniones con tornillos no pretensados” Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia
- [34] O.W. Blodgett, “Design of welded structures.” James F. Lincoln Arc welding foundation. Cleveland, OH. 1966



ANEXO 1: NORMAS TECNICAS DE CALIDAD PARA EL BIODIESEL

Propiedad	NTP 321.125	Norma Europea (EN 14214)	Unidades
Contenido de calcio y magnesio, combinado	5 Máx.		ppm ($\mu\text{g/g}$)
Punto de inflamación. (Copa cerrada)	93 Min	120 Min	$^{\circ}\text{C}$
Control de Alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido:)			
1. Contenido de Metanol	0.2 Máx	0.2 Máx	% volumen
2. Punto de inflamación.	130,0 mín	120,0 mín	$^{\circ}\text{C}$
Agua y sedimento	0.050 Máx		% volumen
Viscosidad cinemática a 40°C	1,9 - 6,0 (b)	3.5 - 5	mm^2/s
Densidad a 15°C		860 - 900	Kg/m^3
Ceniza sulfatada	0.020 Máx	0.02	% masa
Azufre ©	0.005 Máx. (50) (1)	10 Máx (2)	% masa ppm(1) mg/kg (2)
Corrosión a la lámina de cobre	N°3		
Número de Cetano	47 mín.	51	
Punto nube	Reportar (d)		$^{\circ}\text{C}$
Residuo de carbón (e)	0,050 Máx	0,30	% masa
Número de acidez	0.50 Máx	0.50 Máx	Mg OH/g
Glicerina libre	0,020 Máx		% masa
Glicerina total	0,240 Máx		% masa
Contenido de fósforo	0,001 Máx.		% masa
Temperatura de destilación			
Temperatura del 90% recuperado equivalente a presión atmosférica.	360 Máx.		$^{\circ}\text{C}$
Contenido de sodio y potasio, combinado	5 Máx.		ppm ($\mu\text{g/g}$)
Estabilidad a la oxidación	3 mín.	6 mín	horas
Contenido de éster		96.5 mín	% peso
Monoglicéridos		0.8 máx	% peso
Diglicéridos		0.2 máx	% peso
Triglicéridos		0.2 máx	% peso

Fuente: NTP 21.125 2008/ EN 14214

ANEXO 2: ACERO INOXIDABLE AISI 304 – CARACTERISTICAS

ACERO INOXIDABLE 304 (UNS S30400)

1. Descripción: éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

2. Normas involucradas: ASTM A 276

3. Propiedades mecánicas: Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
Elongación 30 % (en 50mm)
Reducción de área 40 %
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.8 g/cm³ (0.28 lb/in³)

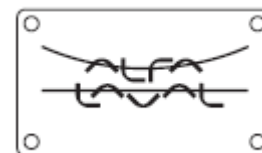
5. Propiedades químicas: 0.08 % C mín
2.00 % Mn
1.00 % Si
18.0 – 20.0 % Cr
8.0 – 10.5 % Ni
0.045 % P
0.03 % S

6. Usos: sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

7. Tratamientos térmicos: éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente

ANEXO 3: ESPECIFICACIONES Y VENTA DE SEPARADOR CENTRÍFUGO

Motor power:	0,37 kW	
Power consumption, idling / max. capacity:	0,2 kW	0,2 kW
Gear ratio, 50 / 60 Hz:	50:8	47:9
Max. bowl inner diameter:	125 mm	
Jp reduced to motor shaft, 50 / 60 Hz	0,8 kgm ²	0,5 kgm ²
Start time, min. / max. :	2 minutes	4 minutes
Max. density feed / sediment:	1100 kg/m ³	1600 kg/m ³
Min. / Max. feed temperature:	0 °C	100 °C
Max. running time without flow, bowl empty / filled:	180 minutes	180 minutes



OPERATING DATA:

Max. allowed speed	9375 r/minutes	
Motor speed, synchronous, 50 / 60 Hz:	1500 r/minutes	1800 r/minutes
Stop time, max. :	7 minutes	
Sound power / Uncertainty:	7,5 bel(A)	0,5 bel(A)
Sound pressure / Uncertainty:	62 dB(A)	5 dB(A)
Vibrations, separator in use:	9 mm/s (r.m.s.)	

VOLUME AND CAPACITY DATA:

Max. hydraulic capacity, bowl:	0,56 m ³ /h	
Bowl liquid volume:	0,6 litres	
Sludge volume, efficient / total:	0,09 litres	0,20 litres
Lubricating oil volume:	0,4 litres	

PUMP DATA:

Max suction lift	4 m
Max delivery head	15 m

WEIGHT INFORMATION:

Bowl weight:	6,4 kg
Motor weight:	6,5 kg
Weight of separator:	40 kg

ANEXO 4: CATALOGO ABB



Motores de aplicación general en hierro fundido - 60 Hz

Datos técnicos para motores trifásicos del tipo jaula de ardilla totalmente cerrados y autoventilados

IP55 - IC 411 - AISLAMIENTO CLASE F / ΔT B - 220-230/380/440-460 V

Potencia		Tipo	r/min	Eficiencia [%]			Factor de potencia			FS	Corriente			Torque			Momento de inercia J=1/4GD2 [kgm ²]	Peso [kg]	Ruido [dBA]	
[kW]	[HP]			50	75	100	50	75	100		In [A]	Is In	Ivacio [A]	Tn [Nm]	Ts Tn	Tmax Tn				
4 polos = 1800 r/min		440 V 60 Hz																		
0,25	0,33	M2QA	71 M4A	1679	60,1	66,3	66,9	0,48	0,63	0,72	1,15	0,68	3,2	0,6	1,4	2,2	2,7	0,00053	11	46
0,37	0,5	M2QA	71 M4A	1614	66,2	66,4	62,7	0,62	0,75	0,82	1,15	0,95	4,9	0,8	2,2	1,4	1,7	0,00053	11	46
0,55	0,75	M2QA	71 M4B	1809	69,4	69,2	65,3	0,66	0,78	0,85	1,15	1,3	4,9	0,6	3,3	1,4	1,7	0,00066	11	48
0,75	1	M2QA	80 M4B	1687	69,2	74,8	75,4	0,53	0,67	0,77	1,15	1,7	5,6	1,3	4,2	2,5	2,5	0,00174	17	50
1,1	1,5	M2QA	80 M4B*	1625	74,7	74,7	70,9	0,67	0,80	0,85	1	2,4	5,6	1,3	6,6	1,6	1,6	0,00174	17	50
1,5	2	M2QA	90 S4A	1644	76,8	77,8	75,0	0,65	0,77	0,83	1,15	3,1	5,5	1,4	8,7	1,7	1,7	0,00254	21	56
2,2	3	M2QA	100 L4A	1724	80,0	82,7	82,1	0,63	0,74	0,80	1,15	4,4	5,5	2,6	12,2	2,3	2,6	0,00679	32	57
3	4	M2QA	100 L4B	1706	81,1	83,6	83,1	0,72	0,81	0,87	1,15	5,5	6,0	2,8	16,8	2,3	2,6	0,00882	36	57
3,7	5	M2QA	112 M4A	1730	82,6	85,4	85,4	0,61	0,73	0,80	1,15	7,2	6,0	4,4	20,4	2,6	3,0	0,01306	45	60
4,5	6	M2QA	112 M4A	1715	84,3	85,5	84,6	0,67	0,77	0,84	1,15	8,3	4,8	4,4	25,1	2,1	2,4	0,01306	45	60
5,5	7,5	M2QA	112 L4A*	1720	83,5	84,5	83,5	0,71	0,80	0,84	1	10,5	7,0	5,6	35	2,2	2,2	0,01484	49	67
7,5	10	M2QA	132 M4A	1734	86,2	87,9	88,1	0,70	0,79	0,85	1,15	13,2	5,8	5,4	41	2,4	2,6	0,03432	73	62
9,2	12,5	M2QA	132 M4B*	1720	88,0	89,0	88,0	0,73	0,82	0,86	1	16,1	7,0	7,4	59	2,2	2,2	0,03470	75	74
11	15	M2QA	132 M4C*	1720	83,5	84,5	83,5	0,74	0,83	0,87	1	20,2	6,5	8,8	71	2,2	2,2	0,04227	80	76
15	20	M2QA	160 L4A	1755	89,7	91,5	91,6	0,79	0,86	0,89	1,15	23,9	5,0	8,6	81	2,4	2,6	0,09349	137	69
18,5	25	M2QA	160 L4A*	1743	91,0	91,6	91,6	0,83	0,89	0,90	1	29,7	5,0	8,6	102	1,9	2,0	0,09349	137	69
22	30	M2QA	180 L4A	1765	91,4	93,0	93,1	0,81	0,87	0,90	1,15	35,0	5,4	15,1	121	2,4	3,2	0,18046	186	69
30	40	M2QA	180 L4B	1750	89,0	90,0	90,0	0,79	0,85	0,87	1	50,1	6,5	13,7	116	2,2	2,4	0,10686	147	69
37	50	M2QA	200 L4B	1760	90,5	91,5	91,5	0,80	0,86	0,88	1,15	60,8	6,5	20,4	187	2,3	2,7	0,20763	200	73
45	60	M2QA	225 M4B	1760	91,6	92,6	92,6	0,81	0,87	0,89	1,15	71,3	6,5	26	231	2,2	2,6	0,29715	277	75
55	75	M2QA	225 M4B	1790	92,0	93,0	93,0	0,80	0,86	0,88	1,15	89,8	7,0	35	338	2,1	2,4	0,62440	351	78
75	100	M2QA	250 M4B	1780	93,0	94,0	94,0	0,81	0,87	0,89	1,15	118	7,0	45	481	2,3	2,4	0,91250	485	80
90	125	M2QA	280 M4A	1776	92,6	94,1	94,2	0,79	0,86	0,88	1,15	146	6,4	38	500	2,3	2,9	1,35000	592	81
110	150	M2QA	280 M4B*	1780	97,0	98,0	98,0	0,81	0,87	0,89	1	168	7,2	70	671	2,3	2,8	1,60000	679	82
132	175	M2QA	315 S4A	1781	94,2	95,0	95,0	0,82	0,88	0,90	1,15	201	6,3	47	702	1,8	2,4	2,85960	930	83
150	200	M2QA	315 M4A	1782	94,0	95,1	95,1	0,82	0,88	0,90	1,15	229	5,3	53	799	1,9	2,4	3,18480	1030	83
190	250	M2QA	315 L4A*	1780	94,4	95,3	95,3	0,83	0,89	0,91	1	283	6,3	56	1003	1,9	2,3	3,67650	1050	89

* Incremento de temperatura clase F

Corriente nominal a 440 V

Para obtener la corriente en 220 V multiplicar por 2. En 230 V multiplicar por 1,91. En 380 V multiplicar por 1,58. En 460 V multiplicar por 0,96

Conexión en 380 V opcional para motores <10 HP

Eficiencia determinada según método IEC 60034-2:1996