



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS

**Seminario de Titulación presentado
en conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero de
Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:
Sr. Richard Verdugo L.**

**Vladimir Castillo Uribe
OCTUBRE 2013**

RESUMEN

En el seminario descrito se realizó el diseño y cálculo de un agitador de fluidos, el cual se requiere para agitar el interior de un estanque que contiene una mezcla de agua y soda cáustica (hidróxido de sodio).

Esta mezcla se utiliza como parte del servicio que presta la empresa Proseín Ambiental en el proceso de plantas de tratamiento de aguas residuales en el control de pH de los fluidos que son tratados.

Dentro del marco teórico se definieron los conceptos básicos de la agitación y las aplicaciones utilizadas en los variados procesos dentro de la industria.

En los capítulos específicos de la agitación se identificaron los tres principales tipos de flujo que puede poseer un fluido en un estanque, dependiendo esto de la geometría del impulsor y su posición dentro de éste. Se mostraron las soluciones que se emplean para evitar ciertos problemas característicos que pueden ocurrir en este proceso.

Se clasificaron los distintos tipos de agitadores, sus características principales, para de esta manera poder seleccionar el más adecuado.

Se definieron y obtuvieron los principales cálculos de esfuerzos del agitador seleccionado y sus partes más solicitadas, considerando los parámetros dimensionales del estanque y particularidades del fluido a agitar.

Finalmente se realizó un cuadro de costos en relación a la cubicación de los materiales utilizados en el diseño, fabricación y montaje.

GLOSARIO

bar	unidad de presión
°C	grados Celsius
d	Diámetro
Da	Diámetro de palas
DCL	Diagrama de cuerpo libre
Dt	Diámetro estanque
Fr	Número de Froude
g	Ancho paleta
g	Aceleración de gravedad
H	altura del fluido
HP	Caballo de fuerza
J	Ancho placa deflectora
Km	Coefficiente del momento torsor
Ks	Coefficiente del momento flector
kW	kilowatt
m³	metros cúbicos.
mm	milímetros
mPa	miliPascal
Mpa	Mega Pascal
m/s	metros por segundo
N	Velocidad de rotación (rps)
N° Re	Número de Reynolds
Nm	Newton metros
Np	Número de potencia
P	Potencia
Pa s	Pascal x segundos
pH	medida de acidez o alcalinidad de una disolución.
rpm	revoluciones x minuto
Sr	Esfuerzo de ruptura
Sy	Esfuerzo de fluencia

CONTENIDO

Introducción.....	1
Objetivos	2
Capítulo I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.- Tratamiento de residuos industriales	4
Capítulo II AGITADORES	5
2.- Clasificación de los agitadores.....	6
2.1.- Agitadores de flujo axial	6
2.2.- Agitadores de flujo radial.....	6
2.3.- Agitadores de paso cerrado	7
Capítulo III APLICACIÓN DE LA AGITACIÓN EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS	8
3.- Introducción	9
3.1.- Homogeneización de un fluido.....	9
3.2.- Suspensión de un sólido en un líquido	9
3.3.- Emulsión de dos fluidos insolubles	10
3.4.- Inyección de gas en un fluido.....	10
3.5.- Intercambio térmico entre un fluido y superficie de enfriamiento	11
3.6.- Fermentación	11
3.7.- Cristalización.....	12
3.8.- Hidrogenación.....	12
Capítulo IV IMPULSORES	13
4.- Tipos de impulsores	14
4.1.- Impulsores de pala.....	14
4.1.1.- De pala tipo ancla	15
4.1.2.- De pala tipo paleta o rejilla.....	16
4.2.- Impulsores de hélice	17
4.3.- Impulsores de turbina	18

4.3.1.- De turbina tipo hojas planas.....	18
4.3.2.- De turbina tipo hojas inclinadas	19
4.3.3.- De turbina tipo hojas curvas.....	19
4.3.4.- De turbina tipo hojas planas y disco	20
Capítulo V MODELOS DE FLUJO.....	21
5.1.- Flujo axial, radial y tangencial	22
5.2.- Flujo circulatorio	23
5.3.- Prevención del flujo circulatorio	24
5.3.1.- Descentrado del eje	24
5.3.2.- Posición lateral del agitador	24
5.3.3.- Utilización de placas deflectoras	25
Capítulo VI DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS	26
6.1.- Datos de entrada	27
6.2.- Parámetros de diseño	28
6.3.- Semejanzas geométricas.....	29
6.3.1.- Sistema de agitación del tipo hélice	29
6.3.2.- Sistema de agitación del tipo palas inclinadas	30
6.3.3.- Sistema de agitación del tipo turbina	30
6.4.- Dimensiones generales.....	31
6.5.- Identificación de esfuerzos (DCL)	33
6.6.- Cálculo de potencia en el agitador	34
6.6.1.- Números adimensionales.....	34
6.6.2.- Número de Reynolds (Re)	34
6.6.3.- Número de potencia (Np).....	35
6.6.4.- Número de Froude (Fr)	36
6.7.- Consumo de potencia para $Re < 300$ con o sin placas deflectoras	36
6.8.- Consumo de potencia para $Re > 10000$ con placas deflectoras	36
6.9.- Cálculo de la potencia consumida	38

6.10.- Selección del motor	39
6.11.- Cálculo del diámetro del eje.....	40
6.10.1.- Utilización de la norma ASME.....	40
6.11.- Análisis de velocidad crítica	42
6.12.- Acoplamiento superior	44
6.12.1.- Selección de machón.....	44
6.12.2.- Tabla dimensiones generales acoplamiento rígido de platillo	45
6.12.3.- Cálculo de pernos acoplamiento superior	46
6.12.4.- Selección de chaveta	49
6.13.- Acoplamiento inferior	50
6.13.1.- Cálculo de pernos acoplamiento inferior	50
6.13.2.- Diseño acoplamiento inferior.....	50
Capítulo VII CÁLCULO ESTRUCTURA SOPORTANTE CONJUNTO	52
7.1.- Datos de entrada	53
7.1.1- Esfuerzo de miembros 6mm de espesor.....	53
7.1.2- Esfuerzo de miembros 4mm de espesor.....	54
7.1.3- Esfuerzo de miembros 3mm de espesor.....	55
Capítulo VIII ANÁLISIS DE COSTOS.....	56
Tabla 8.1- Costos directos materiales y equipos.....	57
Tabla 8.2- Costos de fabricación.....	58
Tabla 8.3- Costos de montaje	58
Tabla 8.4- Resumen de costos	58
Tabla 8.5- Cotización de agitador importado de similares características	59
Capítulo IX CONCLUSIONES.....	60
9.1.- Conclusiones	61
- Bibliografía.....	63
ANEXOS	
A.- Resultado de análisis estructura soportante conjunto	64
B.- Planos	69

INTRODUCCION

La agitación y la mezcla son operaciones básicas utilizadas en la ingeniería de procesos.

La agitación se refiere principalmente al movimiento que se genera en un material de una manera específica, principalmente con un equipo que genera movimiento circulatorio dentro de algún tipo de contenedor o estanque el cual puede ser cerrado o abierto.

La mezcla consiste en la homogenización al azar de dos o más materiales que en un inicio se encontraban separados.

Para este seminario se estudia la operación de la agitación y no la mezcla, la cual definirá el diseño del agitador.

Un sistema de agitación puede ser clasificado dependiendo de varios criterios dentro de los cuales se pueden indicar los siguientes:

- Según el modelo de flujo producido (axial, radial, tangencial).
- Dependiendo de la viscosidad del fluido.
- La relación que existe entre el diámetro del agitador y el del estanque.
- La velocidad inducida en el fluido.
- El tipo de régimen al que está sometido el fluido (laminar ó turbulento)
- La geometría del fondo del estanque, etc.

Un agitador de fluidos puede realizar varios propósitos al mismo tiempo y dependerán entonces para su elección tanto las características mecánicas y de proceso solicitadas en un proyecto determinado.

El presente seminario trata la agitación de fluidos de mediana y baja viscosidad y no de fluidos muy viscosos como pastas y polvos de sólidos secos.

OBJETIVOS

Generales:

- Conocer los tipos y características principales de los agitadores de fluidos y sus diversas aplicaciones en la industria.

Específicos:

- Diseñar un agitador de fluidos para una mezcla de agua y soda cáustica utilizado en el proceso de tratamiento de residuos industriales, aplicando los conceptos aprendidos de agitación.
- Identificar los esfuerzos a los que es sometido el agitador y sus partes principales. Calcular, diseñar y seleccionar sus elementos, disminuyendo de esta forma los costos por sobredimensión de material.
- Realizar un cuadro de costos del proyecto y determinar si amerita realizar la fabricación de un agitador de fluidos comparando los valores de los materiales, mano de obra y montaje versus el valor de un producto importado con similares características.

Capítulo I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.- Tratamiento de residuos industriales (RILES)

Los RILES corresponden a todo fluido que es parte de un proceso industrial que ya no es utilizado y que es descargado fuera de la planta, ya sea a través del alcantarillado u otro efluente (rio, mar, etc.)

La composición química de los RILES va a depender directamente de la naturaleza de los materiales empleados en el proceso.

Una de las etapas del tratamiento de residuos líquidos es la coagulación, la que consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado.

El coloide es un sistema formado por dos o más fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas. La fase dispersa es la que se halla en menor proporción. Normalmente la fase continúa siendo líquido, pero pueden encontrarse coloides cuyos componentes se encuentran en otros estados (espuma), como indica la figura 1.1.

El pH es considerado un factor crítico en el proceso de la coagulación y siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor. Cada vez que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de la zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta. Si el pH del lodo no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de ayudantes de la coagulación, como lo es la soda caustica y una correcta agitación.



Fig. 1.1 La agitación y el pH correcto permiten la coagulación de los coloides y grasas en el lodo.

Capítulo II

AGITADORES

2.- Clasificación de los agitadores

Existen tres tipos básicos de agitadores, los que están relacionados con los tres modelos de flujo fundamentales.

2.1.- Agitadores de flujo axial:

Estos permiten un flujo que se desprende de las palas del impulsor aproximadamente a 45° y por lo tanto presenta recirculación, luego retorna hasta la zona central de las palas, creando un campo de flujo de ida y vuelta paralelo al eje de giro. Este tipo de flujo se presenta con un Reynolds de entre 200 a 600, y se transforma en flujo radial cuando el número de Reynolds disminuye. Los agitadores de flujo axial incluyen a todos los que tienen palas que forman un ángulo menor de 90° con el plano perpendicular al eje. Las hélices y turbinas de palas o aspas inclinadas son las más representativas de este tipo de agitadores.

Existen dos rangos básicos de velocidades de giro: de 1150 a 1750 rpm con transmisión directa, y de 350 a 420 rpm con transmisión por engranajes. Para la suspensión de sólidos es habitual utilizar las unidades de transmisión por engranajes, mientras que para reacciones o dispersiones rápidas son más apropiadas las unidades de alta velocidad.

2.2.- Agitadores de flujo radial:

Los más representativos son los agitadores de palas planas. Éste tipo de agitadores incluyen palas (o aspas) paralelas al eje del motor. Los más pequeños y de aspas múltiples se denominan “turbinas”; los mayores, de velocidades más bajas, con dos o cuatro aspas, se denominan agitadores de palas o de paletas. Generan un flujo radial para cualquier Reynolds y proporcionan alta velocidad tangencial aunque baja capacidad de impulsión.

En la mayoría de los procesos industriales de mezclado se busca que la capacidad de impulsión sea lo mayor posible, mientras que la velocidad tangencial no constituye un factor de importancia y por lo tanto se prefiere evitar. Por esto, este tipo de agitador no es de uso común, siendo los más utilizados los que principalmente maximizan el flujo y minimizan la velocidad tangencial. Estos

agitadores de palas rígidas se clasifican según el valor del cociente entre el área total de las palas con respecto al del círculo que circunscribe al agitador; y, según aumenta la viscosidad del fluido, un mayor valor del cociente anteriormente definido resulta más efectivo para proporcionar un tipo de flujo predominantemente axial.

2.3.- Agitadores de paso cerrado:

En este tipo de agitadores se incluyen los de tipo de tipo ancla y helicoidal. Su principal característica es que trabajan muy cercanos a la pared del estanque y son particularmente eficaces para fluidos de alta viscosidad, en los que es necesario tener concentrada la capacidad de mezcla cerca de la pared, consiguiéndose un campo de flujo más efectivo que con los agitadores anteriormente mencionados.

Capítulo III

APLICACIÓN DE LA AGITACIÓN EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

3.- Introducción

La agitación en los procesos productivos puede ser utilizada para diversos fines y dependerá de cual o cuales sean estos para el tipo de proceso a emplear. Entre estas aplicaciones se mencionan las siguientes:

3.1.- Homogeneización de un fluido

Se define como la mezcla de fluidos solubles (Fig.3.1), cuyos objetivos principales son lograr el equilibrio de gradiente de temperatura y de gradiente de concentración. Se utiliza entre otras cosas para la neutralización de ácidos/base, diluir disoluciones de alta concentración, mezcla de fluidos con temperaturas distintas y distribución de polímeros en suspensión para floculación.

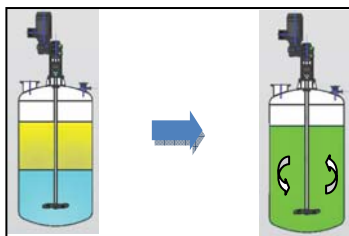


Figura 3.1. Homogeneización de dos fluidos

3.2.- Suspensión de un sólido en un líquido

Consiste en la distribución de un sólido disperso en un fluido cuyo objetivo es mantener los sólidos en suspensión, conseguir una distribución homogénea y disolver sólidos. El agitador permite mantener en suspensión partículas sólidas en la totalidad del líquido (Fig.3.2). La capacidad de suspensión de un agitador varía en función de la densidad y viscosidad del fluido y de la densidad, concentración y tamaño de las partículas del sólido. Se utiliza en procesos de cristalización y para obtener reacciones entre un líquido y sólido con catalizador.

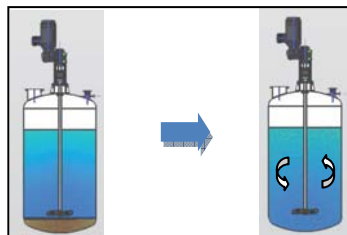


Figura 3.2. La agitación permite mantener los sólidos en suspensión.

3.3.- Emulsión de dos fluidos insolubles

Consiste en la dispersión de un fluido en otro fluido, siendo éstos insolubles o inmiscibles entre sí (Fig.3.3). Su objetivo es aumentar la superficie específica de uno de los fluidos. Se utiliza en procesos de emulsión-polimerización en suspensión, polimerización en emulsión y extracción líquido-líquido.

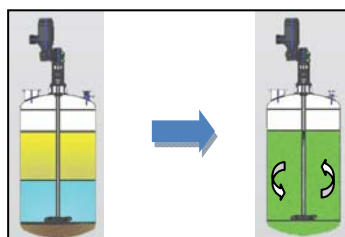


Figura 3.3 Dispersión de 3 fluidos insolubles

3.4.- Inyección de gas en un fluido

Consiste en la dispersión de un gas en un fluido. Se utiliza para obtener reacciones entre un gas y un líquido, fermentaciones aerobias, realizar aportes de oxígeno en estanques aireados (Fig.3.4).

Las reacciones gas-líquido requieren normalmente la máxima área interfacial que se consigue con burbujas pequeñas que se logran fundamentalmente con un nivel de agitación intenso.

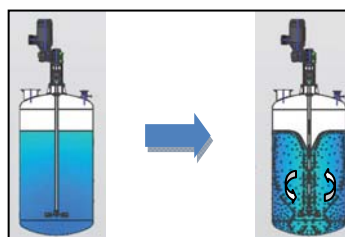


Figura 3.4 El gas pasa a través del eje hacia el fluido agitado.

3.5.- Intercambio térmico entre un fluido y superficie de enfriamiento

Consiste en el intercambio de calor entre fluido y superficie de fluidos a distinta temperatura (Fig.3.5), permite eliminar el calor de reacción y es posible lograr la disminución de la viscosidad de un fluido gracias al calentamiento. Permite a su vez lograr que la temperatura sea homogénea en todo el producto. Con la agitación se consiguen coeficientes de transmisión más elevados que solo con convección natural con lo que es posible el ahorro de superficie de intercambio térmico.

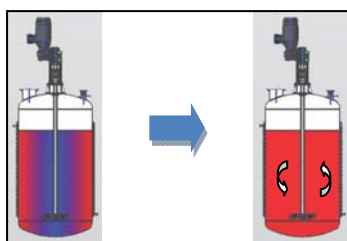


Figura 3.5 La agitación permite temperaturas homogéneas en todo el estanque.

3.6.- Fermentación

Es un proceso biológico con presencia o ausencia de oxígeno (aerobias o anaerobias). La agitación en la fermentación consiste en asegurar la suspensión homogénea de los microorganismos en el medio que contiene los nutrientes (Fig.3.6). En dichos procesos también suele ser muy importante el control de la temperatura, pH, incorporación de oxígeno en fermentaciones aerobias y eliminación de los gases formados en las anaerobias.

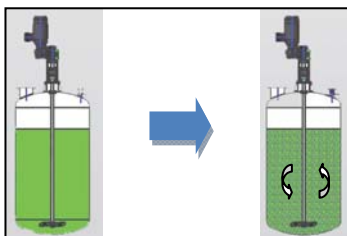


Figura 3.6 Microorganismos suspendidos a través de la agitación.

3.7.- Cristalización

La cristalización se emplea con el fin de purificar una sustancia sólida. La agitación debe ser suficientemente enérgica para mantener los cristales en suspensión (Fig.3.7), pero suficientemente suave para no romper los cristales.

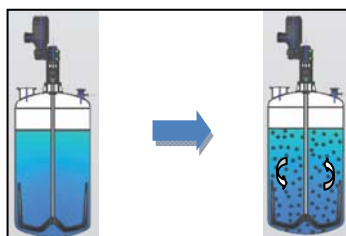


Figura 3.7 Cristales suspendidos en el proceso de agitación.

3.8.- Hidrogenación

La hidrogenación tiene aplicaciones en la industria farmacéutica, química y alimentaria. Se fabrican desde hidrogenadores piloto hasta equipos industriales de 20 m³. La entrada de hidrógeno se puede realizar externamente al agitador o a través de un eje hueco (Fig.3.8), aprovechando la aspiración de una turbina especialmente diseñada para éste fin.

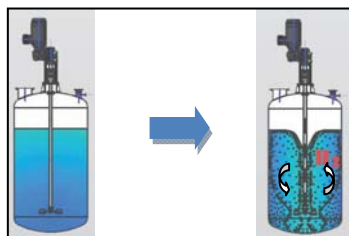


Figura 3.8 Adición de hidrógeno a través del eje del agitador.

Capítulo IV

IMPULSORES

4.- Tipos de impulsores

Los tres principales tipos de impulsores son de **palas, turbinas y hélices**. Si bien existen otros tipos, los mencionados solucionan entre un 95 y 100% de todos los problemas de agitación.

4.1.- Impulsores de Pala

Por lo general son agitadores de palas planas que giran sobre un eje vertical y cumplen eficazmente problemas sencillos de agitación. Son frecuentes los agitadores de dos y cuatro palas.

A veces las palas tiene un cierto grado de inclinación, pero lo más frecuente es que su posición sea vertical. Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del estanque, impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que haya prácticamente movimiento vertical a excepción de que las placas se encuentren inclinadas. Las corrientes que generan se desplazan hacia fuera hasta la pared del estanque y después hacia arriba o hacia abajo.

En estanques de gran altura se instalan varias palas, unas sobre otras, en un mismo eje. Los agitadores de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm aproximadamente. La longitud total de un rodete de palas comprende entre el 50 y el 80 % del diámetro interior del estanque y la anchura de la pala es de 1/6 a 1/10 de su longitud.

A velocidades muy bajas los agitadores de palas generan una agitación muy suave en estanques sin placas deflectoras. Para velocidades más elevadas, estas que son necesarias ya que de lo contrario el líquido se desplaza en bloque alrededor del estanque con alta velocidad, pero con poca mezcla.

4.1.1.- De pala tipo ancla:

Este tipo de impulsor se ajusta a los contornos interiores de las paredes del estanque, girando por esta superficie con una muy pequeña holgura como muestra la figura 4.1. Cubren entre un 50 u 80% de este. Previenen la adhesión de materiales sólidos pegajosos sobre su superficie y originan una buena transferencia de calor con las paredes (Características principales indicadas en Tabla 4.1). Su capacidad de mezcla con respecto a otros sistemas no es óptima. En la mayoría de los casos trabajan en conjunto con un agitador de alta velocidad que generalmente gira en sentido contrario.

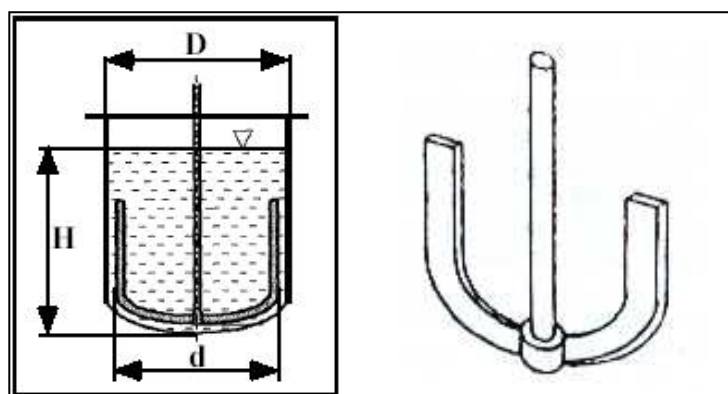


Fig. 4.1 Pala tipo ancla

Tabla 4.1 Características impulsor de pala tipo ancla.

Descripción	- Dos brazos que llegan cerca de la pared - Forma adaptada al fondo y a las paredes del estanque
Campo de flujo generado	Tangencial
Régimen alcanzado	Laminar
Velocidad tangencial	hasta 2 m/s
Viscosidad del medio	hasta 1000 Pa·s
Posición del rodete (d_2 / d_1)	0,9 – 0,98 (cerca de la pared)
Aplicaciones	-Favorecer el intercambio de calor - disminuye la capa límite en la pared

4.1.2.- De pala tipo paleta o rejilla:

Trabaja a bajas velocidades, en estanques amplios y bajos (Características principales indicadas en Tabla 4.2). Se utiliza principalmente para fluidos muy viscosos que requieren poco esfuerzo de corte (Fig.4.2).

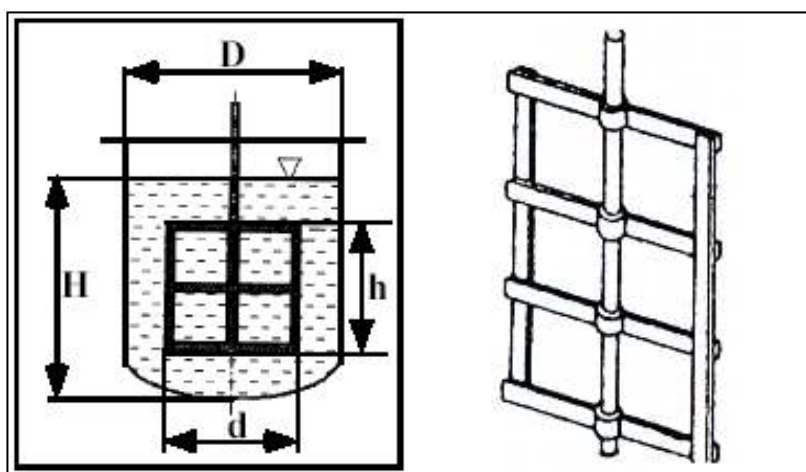


Fig.4.2 Pala tipo paleta o rejilla

Tabla 4.2 Características impulsor de pala tipo paleta o rejilla

Descripción	Conforman una estructura de malla
Campo de flujo generado	Tangencial
Régimen alcanzado	Laminar
Velocidad tangencial	2 – 5 m/s
Viscosidad del medio	hasta 10 Pa·s

4.2.- Impulsores de Hélice

El flujo de un impulsor de hélice es axial, trabaja a altas velocidades y se utiliza para líquidos de baja viscosidad (Fig.4.3). Las hélices pequeñas pueden girar utilizando transmisión directa a una velocidad que varía entre 1150 y 1750 rpm; las hélices grandes pueden girar entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del impulsor continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del estanque.

La columna de fluido axial que produce es altamente turbulenta, generando remolinos de líquido que abandonan el impulsor, arrastrando el líquido estancado. Las placas de este impulsor cortan el líquido, debido a la persistencia de las corrientes de flujo, siendo muy eficaces en estanques de gran tamaño (Características principales indicadas en Tabla 4.2).

Se utilizan para homogenizar, suspender fluidos y favorecer el intercambio de calor.

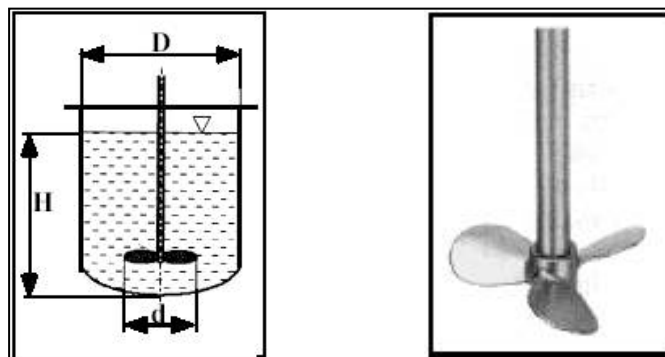


Fig. 4.3 Impulsor de hélice.

Tabla 4.3 Características impulsor tipo hélice.

Descripción	Generalmente utilizan 3 alabes o paletas
Campo de flujo generado	Axial
Régimen alcanzado	Turbulento
Velocidad tangencial	3 – 15 m/s
Viscosidad del medio	< 8 Pa·s

4.3.- Impulsores de turbina

El impulsor se compone generalmente de numerosas palas cortas, las que giran medias y altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el estanque. Se consideran velocidades medias de 100 a 300 rpm y elevadas de 300 a 1000 rpm. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El impulsor puede ser abierto, semi-cerrado o cerrado. El diámetro puede variar entre un 30 y un 50 % del diámetro del estanque. Los de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. En líquidos de baja viscosidad los impulsores de turbina generan fuertes corrientes que se distribuyen por todo el estanque, destruyendo bolsas de fluido estancado. Cerca del impulsor se produce una zona de corrientes rápidas, una elevada turbulencia y un intenso esfuerzo de corte. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, los que se evitan utilizando placas deflectoras o mediante un anillo difusor para lograr que la agitación sea más eficaz.

4.3.1.- De turbina tipo hojas planas:

Esta variante de impulsor de turbina produce un flujo radial que se desplaza hacia las paredes del estanque. Su diseño es versátil y simple (Fig.4.4) y se utiliza para fluidos cuya viscosidad alcanza hasta los 0.11 Pa·s. El comportamiento del fluido que mueve es el más predecible de los agitadores.

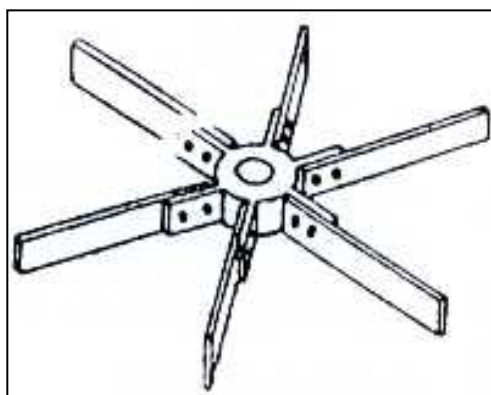


Fig. 4.4 Turbina hojas planas.

4.3.2.- De turbina tipo hojas inclinadas:

Este tipo de impulsor combina flujo radial con flujo axial (Fig.4.5), se utiliza especialmente para homogeneizar y mejorar la transferencia de calor con las paredes o serpentines dispuestos en el interior del estanque (Características principales indicadas en Tabla 4.4).

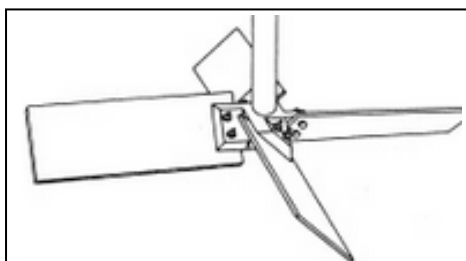


Fig. 4.5 Turbina hojas inclinadas.

Tabla 4.4 Características turbina hojas inclinadas

Descripción	3 palas inclinadas curvadas hacia atrás en dirección del flujo.
Campo de flujo generado	Axial / Radial
Régimen alcanzado	De transición / Turbulento
Velocidad tangencial	3 – 8 m/s
Viscosidad del medio	Hasta 100 Pa·s

4.3.3.- De turbina tipo hojas curvas:

Son especialmente útiles para dispersar materiales fibrosos y poseen un torque inicial menor que las hojas rectas (Fig.4.6).

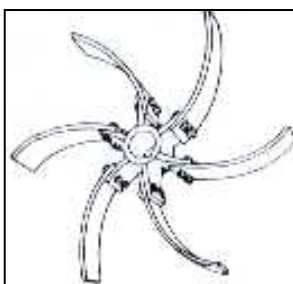


Fig. 4.6 Turbina hojas curvas.

4.3.4.- De turbina tipo hojas planas y disco:

Este tipo de impulsor produce corrientes radiales y axiales. El disco que posee produce un efecto estabilizante (Fig.4.7). Se encuentra también con hojas curvas y su diámetro cubre entre un 30 y un 50 % del diámetro del estanque (Características principales indicadas en Tabla 4.5).



Fig. 4.7 Turbina hojas planas y disco

Tabla 4.5 Características turbina hojas planas y disco

Descripción	6 palas rectas
Campo de flujo generado	Radial
Régimen alcanzado	Turbulento
Velocidad tangencial	3 – 7 m/s
Viscosidad del medio	Hasta 10 Pa·s

Capítulo V

MODELOS DE FLUJO

5.1.- Flujos axial, radial y tangencial

El tipo de flujo que se produce en un estanque en agitación, va a depender del tipo de impulsor, de las características del fluido, del tamaño, proporciones del estanque, del tipo de agitador y si lleva o no placas deflectoras.

La velocidad del fluido en cualquier punto del estanque tiene tres componentes, y el tipo de flujo predominante va a depender de las variaciones del movimiento y de la velocidad de estas.

La primera componente de velocidad es **radial** y actúa en dirección perpendicular al eje del impulsor. La segunda es **longitudinal o axial** y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es **tangencial o rotacional**, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el impulsor (Fig.5.1).

El flujo será definido por el tipo de impulsor a utilizar. Generalmente para flujos radiales se utilizan impulsores de turbinas planas, para flujos axiales se utilizan hélices marinas con ángulos en sus palas no mayores a 90° y para flujos tangenciales (velocidades bajas) se utilizan impulsores de palas.

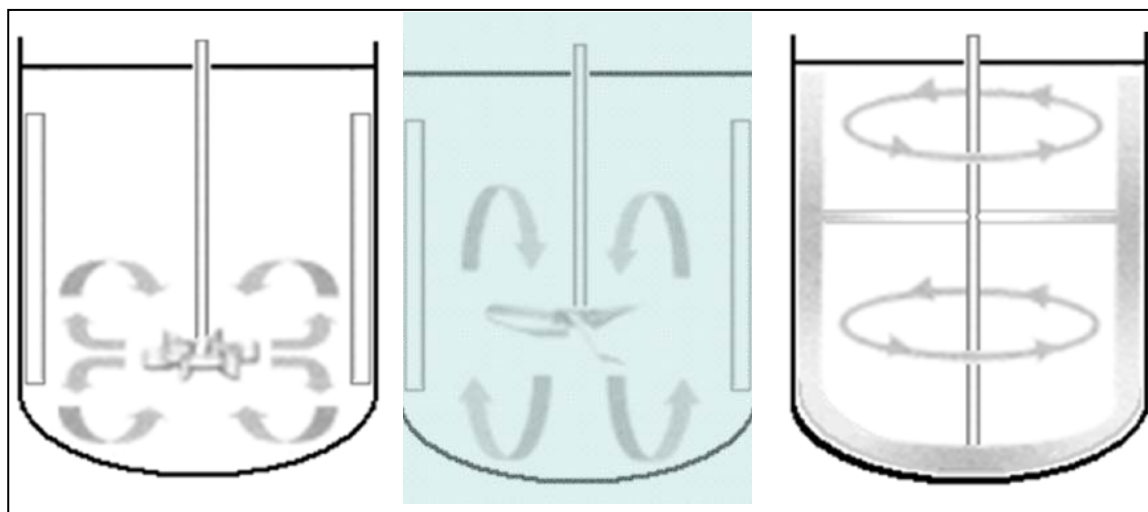


Fig. 5.1 Representación de flujos: Radial, Axial y Tangencial.

5.2.- Flujo circulatorio

Para el caso donde un agitador tiene un eje vertical, las componentes radial y tangencial se encuentran en un plano horizontal mientras que la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal de un fluido son útiles ya que producen el flujo necesario para la mezcla. Cuando el eje es vertical y se encuentra ubicado en el centro del estanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla.

El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje (Fig. 5.2), la que genera un vórtice en la superficie del líquido que, debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. Si en el fluido hay presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar estas partículas contra la pared del estanque, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del estanque. Por lo tanto, en vez de mezcla se produce la acción contraria, o sea, concentración. En el flujo circulatorio el líquido fluye según la dirección del movimiento de las palas del impulsor, de esta manera disminuye la velocidad relativa que existe entre las palas y el líquido, con lo cual se limita la potencia que puede ser absorbida por el líquido. En un estanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio predominará independiente del tipo de impulsor utilizado, tanto si el flujo es axial como radial. Para velocidades de giro elevadas, la profundidad del vórtice puede ser tan grande que llegue a las paletas, dando lugar a que en el líquido se introduzca el gas que está encima de él, lo que normalmente debe evitarse.

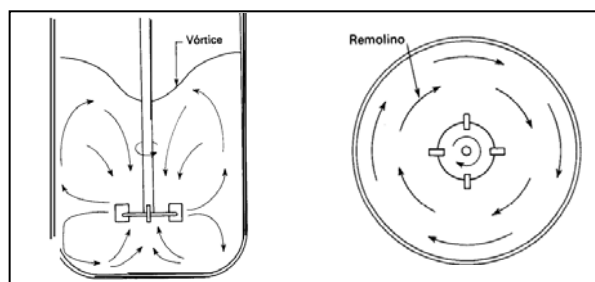


Fig. 5.2 Formación de vórtice y tipo de flujo en estanque agitado.

5.3.- Prevención del flujo circulatorio

El flujo circulatorio y los remolinos que se producen en un estanque agitado se pueden evitar por medio de los siguientes métodos:

5.3.1.- Descentrado del eje:

Cuando las dimensiones del estanque son pequeñas, el eje del agitador se puede ubicar descentrado del eje del estanque (Fig.5.3), inclinándose luego según un plano perpendicular a la dirección del movimiento.

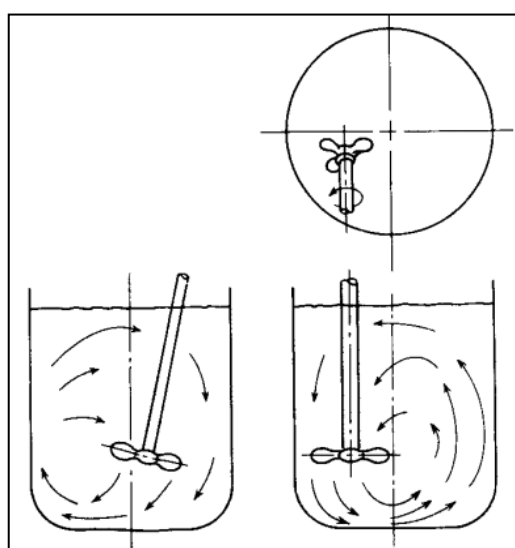


Fig. 5.3 Agitador no centrado.

5.3.2.- Posición lateral del agitador:

En los estanques de mayor tamaño, el agitador puede montarse en la parte lateral del estanque, con el eje en un plano horizontal, formando un cierto ángulo con el radio (Fig.5.4).

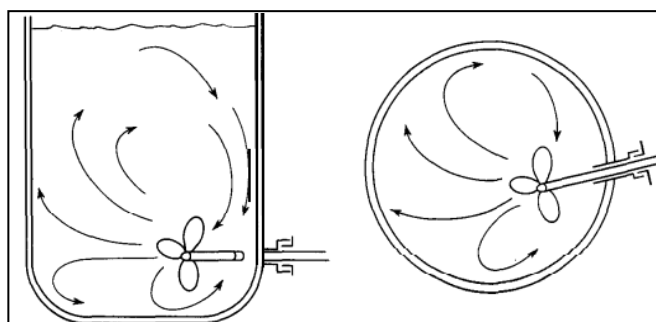


Fig. 5.4 Agitador con entrada lateral.

5.3.3.- Utilización de placas deflectoras:

Las placas deflectoras son pletinas planas verticales que se ubican radialmente al interior del estanque Fig.5.5). Se logra con ellas una mayor turbulencia y una mejor mezcla del fluido.

Generalmente se utilizan cuatro, salvo en estanques de gran tamaño. El ancho habitual para agitadores de turbina no deba ser mayor que 1/12 del diámetro del estanque. Para agitadores de hélice basta con 1/8 de diámetro (Ver Tabla 5.1). Para números de Reynolds superiores a 2000, las placas deflectores se usan conjuntamente con agitadores tipo turbina o del tipo axial centrados al estanque. Los patrones de flujo generados en ambos casos son diferentes, pero tienen en común una importante circulación desde la parte superior al fondo, evitando la formación de vórtices. En la región de transición ($10 < Re < 10000$) el ancho de la placa deflectora puede reducirse con frecuencia a la mitad de la estándar. Cuando existe flujo laminar ($Re < 10$), el agitador consume la misma energía con o sin placas deflectoras, por lo que normalmente no son utilizadas. Cuando el impulsor entra al estanque lateralmente, está inclinado, o desplazado del centro, no son necesarias placas deflectoras.

Tabla 5.1 Dimensiones placas deflectoras (en mm).

Diámetro	J	f
100	8	2
200	16	4
300	24	6
400	32	8
500	40	10
600	48	12
800	64	16
1000	100	20
1200	110	24
1600	128	32
2000	160	40
2500	200	50
3000	240	60
4000	320	80
4500	360	90
5000	400	100
6000	480	120
7500	600	150
10000	800	200
12000	960	240

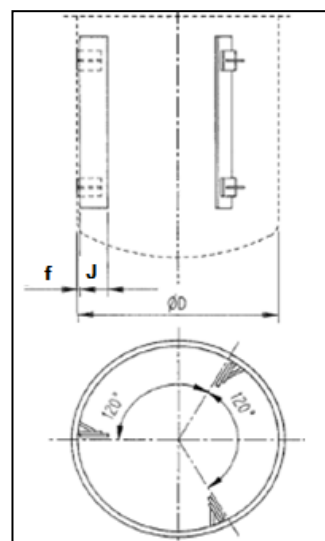


Fig. 5.5 Placas deflectoras distribuidas en estanque.

Capítulo VI
DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE
FLUIDOS.

6.1.- Datos de entrada

La necesidad es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea de agua y soda caustica. El objetivo es mantener estable el pH de los lodos en el proceso de tratamiento de residuos industriales líquidos (RILES).

Se desarrollará una propuesta de diseño del agitador en función de los siguientes datos indicados en tabla adjunta 6.1 y la figura 6.1 con las dimensiones generales del estanque.

Tabla 6.1 Datos de entrada para el diseño de un agitador de fluidos.

Fluido a agitar	Solución de soda caustica (NaOH) y agua
Densidad fluido	1100 kg/m ³
Viscosidad máxima	1mPas
Presión de operación	1bar abs.
Temperatura de trabajo	10 a 40 °C
Diámetro del estanque	1006mm
Altura del estanque	1300mm
Tapa estanque	Curva
Fondo	Plano
Altura de relleno	1000mm
Volumen de llenado	1m ³

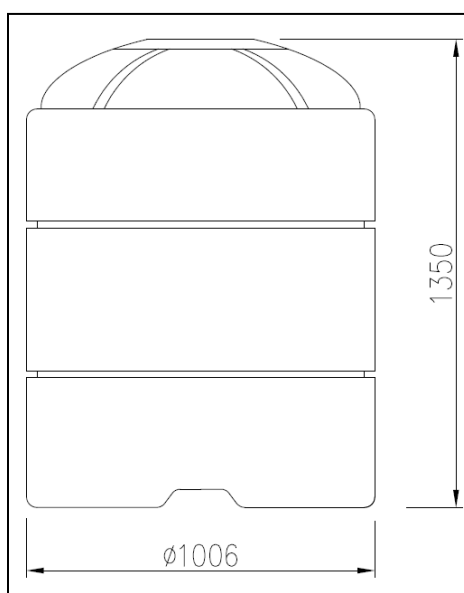


Figura 6.1 Dimensiones generales estanque.

6.2.- Parámetros de diseño

- Se define utilizar un impulsor de **turbina del tipo hojas planas y disco de 6 palas**, ya que este tipo de impulsor trabaja principalmente para fluidos de baja viscosidad y para velocidades que pueden ser medias o altas.
 - Se utilizarán para el diseño placas deflectoras para evitar los vórtices alrededor del eje y reducir de esta manera los esfuerzos que actúen sobre este.
 - Este tipo de impulsor resulta más económico y fácil de construir que un agitador de hélice o de turbina con palas inclinadas.
 - Para la selección del motor, este debe cumplir con las condiciones propias de un elemento mecánico expuesto a la intemperie. Por otra parte el motor seleccionado deberá trabajar a velocidades medias con el fin de reducir el consumo de potencia. Como velocidad media para una turbina las velocidades pueden ser del orden de las 100 a las 300 rpm.
 - Para la realización de los cálculos posteriores se define una velocidad de 115 rpm.
 - Considerando el medio húmedo al cual estará expuesto el agitador y su conjunto, se define utilizar acero inoxidable del tipo 314 o 316 L, para todos los componentes del agitador que se encuentren en el interior del estanque, por sus capacidades de resistencia a la corrosión, los ambientes húmedos, las bajas y altas temperaturas.
 - Para la estructura exterior que soporta al conjunto agitador se define utilizar acero al carbono previamente galvanizado.
- Esta estructura deberá soportar el peso propio del conjunto, además de los esfuerzos de torsión propios producidos por el motor al eje del agitador.
- El eje será dispuesto en el centro del estanque, por lo tanto este debe contar con placas deflectoras con el fin de evitar la formación de vórtices en el fluido.

6.3.- Semejanzas geométricas

Para el diseño de un agitador existe un gran número de variables a considerar: Diámetro del estanque (D_t), Diámetro de las palas (D_a), altura del fluido (H), ancho y cantidad de las placa deflectoras (J), distancia desde el fondo del estanque hasta el impulsor (E).

Estas variables afectarán y determinarán las necesidades y objetivos particulares de lo que se requiere. Como por ejemplo: La velocidad de circulación del líquido, modelo de flujo, consumo de potencia, etc.

Como punto de partida en el diseño de un agitador se pueden utilizar las semejanzas geométricas estandarizadas que relacionan las medidas generales del estanque con el tipo de impulsor

Se indican a continuación las semejanzas geométricas de los tipos de impulsores más utilizados relacionados con las dimensiones del estanque, incluyendo las del tipo turbina que será utilizado en el diseño del agitador.

6.3.1.- Sistema de agitación del tipo hélice

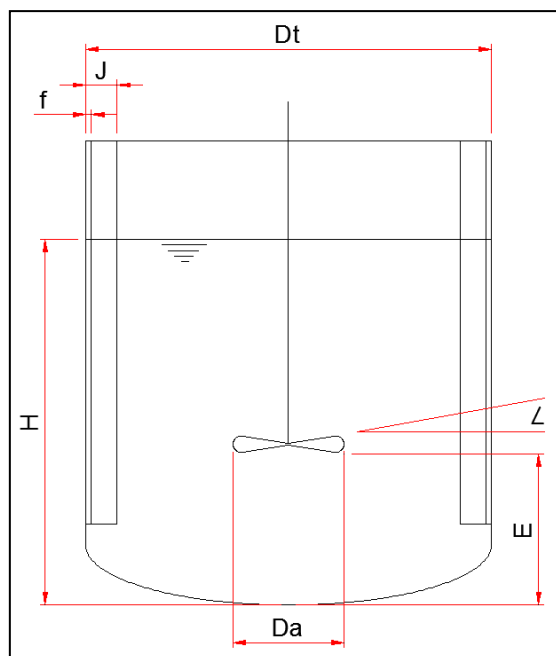


Tabla 6.2 Semejanzas geométricas impulsor tipo hélice.

$H / D_t=1$	$D_a / D_t=0.33$	$E / D_t=0.33$
$\leq 25^\circ$	$J / D_t=0.1$	$f / J=0.02$

Fig. 6.2 Semejanzas geométricas impulsor tipo hélice.

7.3.2 Sistema de agitación del tipo palas inclinadas

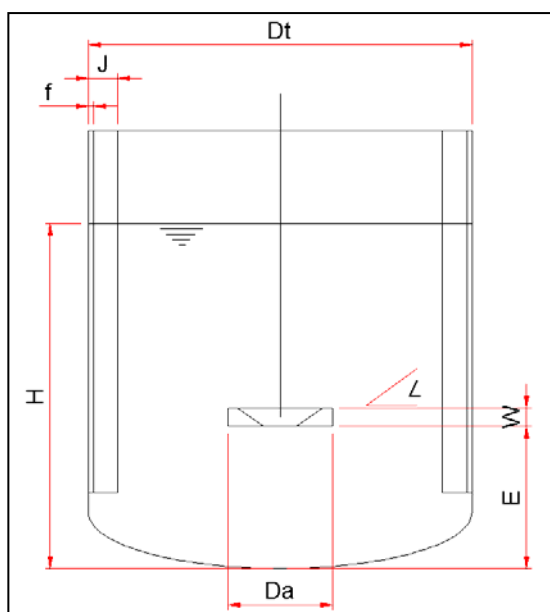


Tabla 6.3 Semejanzas geométricas impulsor tipo palas inclinadas.

$H / Dt=1$	$Da / Dt=0.337$	$E / Dt=0.17/0.34$
$W / f=0.177$	$\leq 45^\circ$	$J / Dt=0.1$
$H / Dt=1$		

Fig. 6.3 Semejanzas geométricas impulsor tipo palas inclinadas.

6.3.3.- Sistema de agitación del tipo turbina

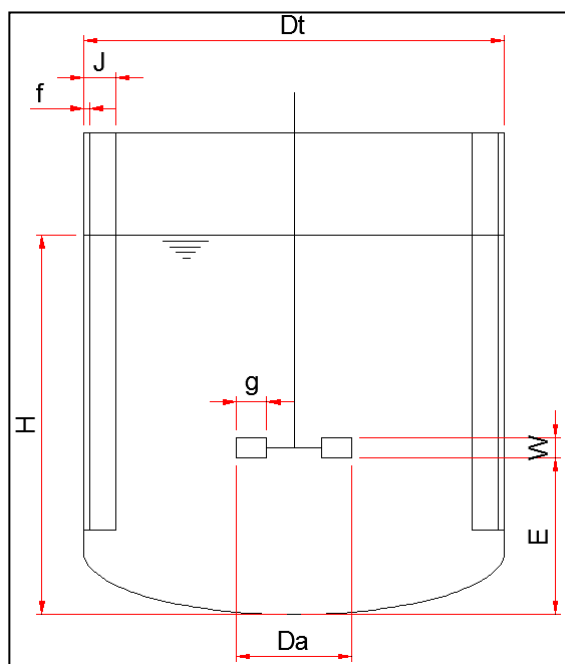


Tabla 6.4 Semejanzas geométricas impulsor tipo turbina.

$H / Dt=1$	$Da / Dt=0.33$	$E / Dt=0.33$
$W / Da= 0.2$	$g / Da=0.25$	$J / Dt=0.1$
$f / Dt=0.02$		

Fig. 6.4 Semejanzas geométricas impulsor tipo turbina.

6.4.- Dimensiones generales

Ya definida la utilización de un impulsor de turbinas, y considerando los datos de entrada con respecto a las dimensiones del estanque, es posible obtener con la tabla 6.4, las dimensiones generales del agitador.

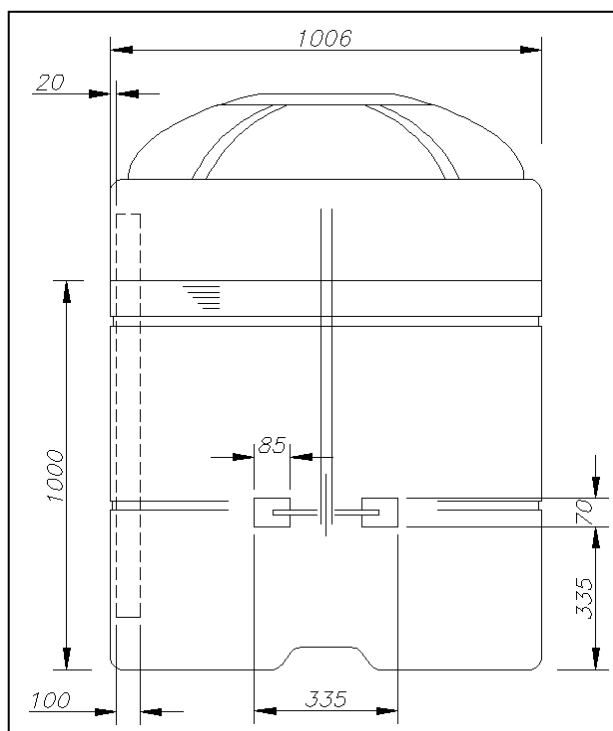


Fig. 6.5 Dimensiones generales agitador.

Para el estanque:

$H=1000\text{mm}$

$D_t=1006\text{mm}$

- **Distancia fondo a base del impulsor (E)**

$E / D_t=0.33$

$E= 0.33 \times 1006 =331.98 \approx \mathbf{335 \text{ mm}}$

- **Diámetro impulsor (Da)**

$D_a / D_t=0.33$

$D_a= 0.33 \times 1006 =331.98 \approx \mathbf{335 \text{ mm}}$

- Largo de paleta (g)

$$g / Da = 0.25$$

$$g = 0.25 \times 335 = 83.75 \approx \mathbf{85} \text{ mm}$$

- Ancho de paleta (W)

$$W / Da = 0.2$$

$$W = 0.2 \times 335 = 67 \approx \mathbf{70} \text{ mm}$$

Dimensiones placas deflectoras (4 c/u @ 45°)

Ancho placa (J)

$$J / Dt = 0.1$$

$$J = 0.1 \times 1006 = 100.6 \approx \mathbf{100} \text{ mm}$$

Espacio entre placa y estanque (f)

$$f / Dt = 0.02$$

$$f = 0.02 \times 1006 = 20.12 \approx \mathbf{20} \text{ mm.}$$

6.5.- Identificación de esfuerzos (DCL)

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

Compresión: Al poner el agitador en funcionamiento, este ejerce un empuje sobre el fluido, generándose un esfuerzo axial cuyo sentido resulta contrario al flujo del fluido y en la dirección del eje de rotación.

Tracción: Esfuerzo al que es sometido el eje del agitador por el peso propio del impulsor.

El esfuerzo axial es absorbido por tracción o compresión por el eje, donde los machones y sus pernos deben ser capaces de soportar dichos esfuerzos.

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

Pandeo: El eje se encuentra fijo unido al machón del reductor con un extremo del eje, provocando en su extremo libre un esfuerzo de pandeo al producirse el giro.

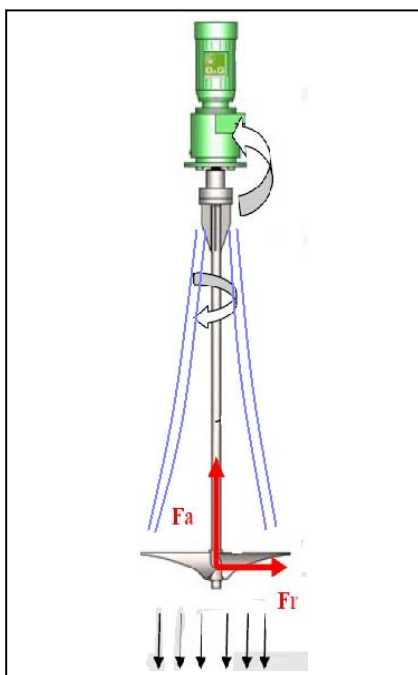


Fig. 6.6 Diagrama de cuerpo libre agitador.

6.6.- Cálculo de potencia en el agitador

Para que el proceso de agitación sea eficaz, el volumen del fluido agitado debe ser capaz de llegar hasta las partes más lejanas del estanque, donde la velocidad de circulación no es el único factor importante, sino que la turbulencia del fluido puede llegar a determinar la eficacia de la operación. La turbulencia es una consecuencia de que las corrientes estén adecuadamente dirigidas y que logren generar grandes gradientes de velocidad en el líquido. Todos estos parámetros consumen energía y por lo tanto es de gran importancia conocer la potencia consumida con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos deseados.

Se puede conocer la potencia consumida por el agitador a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el número de potencia. Estos gráficos van a depender de las características geométricas del agitador y de la presencia o no de placas deflectoras.

6.6.1.- Números adimensionales

6.6.2.- Número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds es una expresión adimensional que permite caracterizar el movimiento de un fluido. Relaciona densidad, viscosidad, velocidad y la dimensión típica de un flujo. La presencia o ausencia de turbulencia en un fluido que se agita se puede relacionar con un número de Reynolds. Su ecuación es:

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu} \text{ , Donde:}$$

N = velocidad de rotación [rps]

d = diámetro del agitador [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m³]

μ = viscosidad [Pa·s]

El valor del número de Reynolds define si el carácter del fluido es turbulento o laminar. Además se considera que el paso entre el régimen laminar y el turbulento no es inmediato, pasando por una zona de transición. Se define de la siguiente manera:

Régimen laminar: $Re < 10$

Régimen transitorio: $300 < Re < 10000$

Régimen turbulento: $Re > 10000$

6.6.3.- Número de potencia (Np)

El número de Potencia es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del impulsor y la fuerza de inercia. Cuando el estanque contiene placas deflectoras, el Np tiene una buena correlación con el número de Reynolds. Cuando existe régimen turbulento, Np tiene valor constante.

Su ecuación es:

$$Np = \frac{P}{N^3 d^5 \rho} \quad , \text{ Donde:}$$

P = potencia de agitación del impulsor (watts)

N = velocidad de rotación [rps]

d = diámetro del agitador [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m³]

μ = viscosidad [Pa·s]

6.6.4.- Número de Froude (Fr)

El número de Froude es una medida que relaciona la fuerza de inercia y la fuerza gravitacional por unidad de área que actúa sobre el fluido. Se utiliza en el cálculo del consumo de potencia cuando el fluido del estanque mantenga un movimiento de ondas importante a causa de la **falta de placas deflectoras**.

$$Fr = \frac{N^2 d}{g}, \text{ Donde:}$$

N = velocidad de rotación [rps]

d₂ = diámetro del agitador [m]

g = aceleración de gravedad

6.7.-Consumo de potencia para n° de Re < 300 con o sin placas deflectoras

Para este caso con Re < 300, las líneas de Np v/s Re coinciden para un estanque con o sin placas deflectoras. En este intervalo el flujo es laminar y la densidad no influye. La ecuación de potencia queda de la siguiente manera:

$$P = KL \times N^2 \times d^3 \times \mu \quad KL \text{ de tabla 6.5, Pag. 37.}$$

6.8.- Consumo de potencia para número de Reynolds > 10.000 con placas deflectoras.

En este caso el Np es independiente del Re y la viscosidad no influye. En este intervalo el flujo es turbulento. La potencia puede estimarse a partir del producto del flujo generado por el impulsor y la energía cinética por unidad de volumen del fluido.

La ecuación queda de la siguiente manera:

$$P = KT \times N^3 \times da^5 \times \rho, \quad KT \text{ de tabla 6.5, Pag. 37.}$$

- La tabla adjunta 6.5 indica las constantes K_L y K_T , para estanques con cuatro placas deflectoras con un ancho de 1/10 del diámetro del estanque.

Tabla 6.5 Constantes K_L y K_T para el cálculo de potencia.

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Hélice paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Turbina, seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Turbina dos palas planas	36,5	1,70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97,2	1,08

El gráfico 6.1, N_p v/s Re , se utiliza para estimar la potencia de un **impulsor de turbina de 6 palas planas y estanque con placas deflectoras**.

Las letras S_1, S_2, S_3 , etc. del gráfico muestran los factores de forma relacionando las medidas principales del impulsor y el estanque:

$S_1 = d/Dt, S_2 = E/d, S_3 = L/d, S_4 = h/d, S_5 = w/Dt, S_6 = H/D$

La curva A se utiliza para palas verticales del impulsor, La curva B y C para palas verticales y estrechas, la curva D se utiliza en un estanque que no posee placas deflectoras.

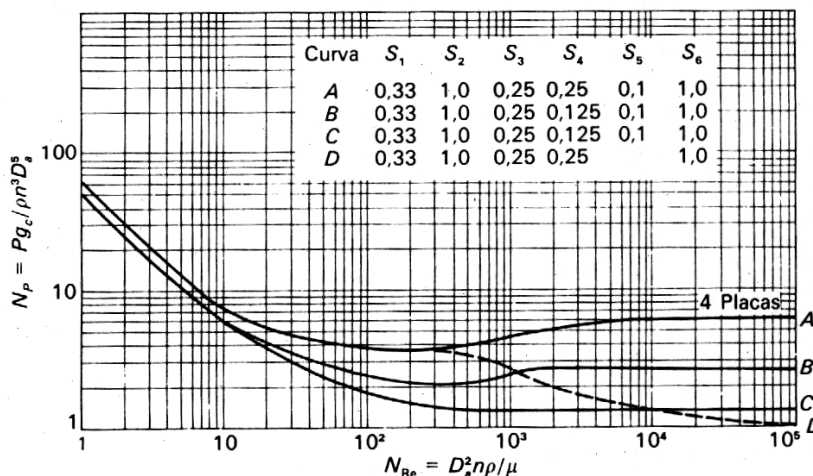


Gráfico 6.1 Número de potencia N_p frente a N_{Re} para turbina de 6 palas.

6.9.- Cálculo de potencia consumida

Para el cálculo de la potencia consumida se calcula en primera instancia el número de Reynolds

$$Re = \frac{Nd^2 \rho}{\mu}$$

Datos de entrada:

Densidad Soda Caustica (ρ)= 1100 kg/m³

Viscosidad (μ)= 0.001 kg/ms

Velocidad angular (N)= 115rpm=1.917 rps

Diámetro del agitador (d)= 335mm

Reemplazando:

$$Re = \frac{Nd^2 \rho}{\mu} \Rightarrow Re = \frac{1.917 \times (0.335)^2 \times 1100}{0.001} = 2.366 \times 10^5$$

Utilizando el gráfico 6.1 se determina el número de potencia (Np) mediante la interpolación con el número de Reynolds calculado, para un impulsor de turbina de 6 palas con cuatro placas deflectoras.

$$Np = \frac{P}{N^3 d^5 \rho} = 7$$

Luego se puede calcular la potencia despejando P con los valores obtenidos:

$$P = Np(N^3 d^5 \rho) \Rightarrow 7(1.917^3 \times 0.335^5 \times 1100) = 228.87W$$

$$P = 0.307 HP$$

Consideraciones:

Eficiencia del motor = 0.7

Pérdidas por fricción= 35%

$$P = \frac{0.307 \times 1.35}{0.7} = 0.59 HP = 0.44 kW$$

6.10.- Selección del motor

Para la selección del motor, se consideraron los siguientes puntos:

- Cumplimiento de la potencia y velocidad requerida para la agitación (115rpm, 0.44kW)
- Trabajo a la intemperie.
- Brida posición vertical
- Conjunto motriz apto para ser controlado electrónicamente.
- Cumplimiento de las normas de fabricación internacional (Norma IEC)

Se selecciona motor eléctrico de catalogo SEW-EURODRIVE.

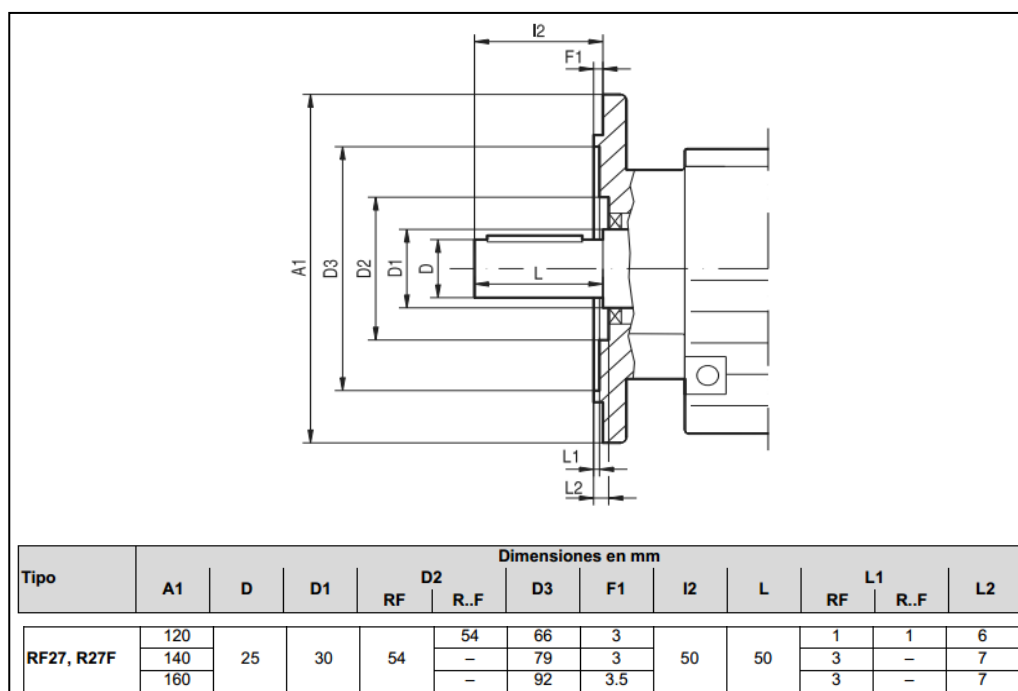


Figura 6.7 Dimensiones motor línea RF7, versión con brida B5

Índice de reducción [i] 4.29 ... 289.74
Índice de reducción del reductor doble [i] 134 ... 27001
Par de salida [Nm] 270 ... 3400
Rango de potencia del motor [kW] 0.12 ... 160

Tabla 6.6 Datos técnicos motor, según catálogo SEW-EURODRIVE

6.11.- Cálculo del diámetro del eje

6.10.1.- Utilización de la norma ASME

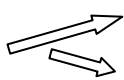
Se determinará el diámetro del eje el que asegurará la rigidez y resistencia necesarias para cuando este transmita potencias que generen cargas combinadas.

Para **un eje macizo** con carga axial ligera o nula la ecuación queda de la siguiente manera:

$$D^3 = \frac{16}{\pi \tau d} \sqrt{(K_s T)^2 + \left(\frac{1FD}{8}\right)^2}$$

Se utilizará un acero **inoxidable 304 L** cuyas características son las siguientes:

- Esfuerzo de fluencia (Sy)= 227.5 MPa
- Esfuerzo de ruptura (Sr)= 558.4 MPa

τd


$0.3 \times S_y = 0.3 \times 227.5 = 68.25$
 $0.18 \times S_r = 0.18 \times 558.4 = 100.51$

Se utiliza el valor menor: 68.25 x 0.75= 51.19

- Valores del coeficiente del momento flector (Ks) y momento torsor (Km) para la carga ligera de un agitador de fluidos:

Ks: 1.5 – 2 ✓

Km: 1 – 1.5

$$\text{Torque} = \frac{7162000 \times \text{Hp}}{\text{rpm}} = \frac{7162000 \times 0.307}{115} = 19119.42(N - mm)$$

$$D^3 = \frac{16}{\pi \tau d} \sqrt{(K_s T)^2 + \left(\frac{1FD}{8}\right)^2}$$

$$D^3 = \frac{16}{\pi 51.19} \sqrt{(2 \times 19119.42)^2 + \left(\frac{1 \times 60.7D}{8}\right)^2}$$

$$D = 15.61 \text{ mm}$$

El diámetro del eje se debe ajustar a un valor estandarizado definido según tabla.
Para este caso se fija el diámetro a **25mm**.

6.11.- Análisis de velocidad crítica

Con el fin de evitar que el eje rotatorio se vuelva dinámicamente inestable se realizará el análisis de la velocidad crítica del eje a través del software INVENTOR.

El criterio de diseño es evitar operar con velocidades cercanas a la crítica.

En nuestro caso la velocidad de operación de diseño se establece de 115 rpm.

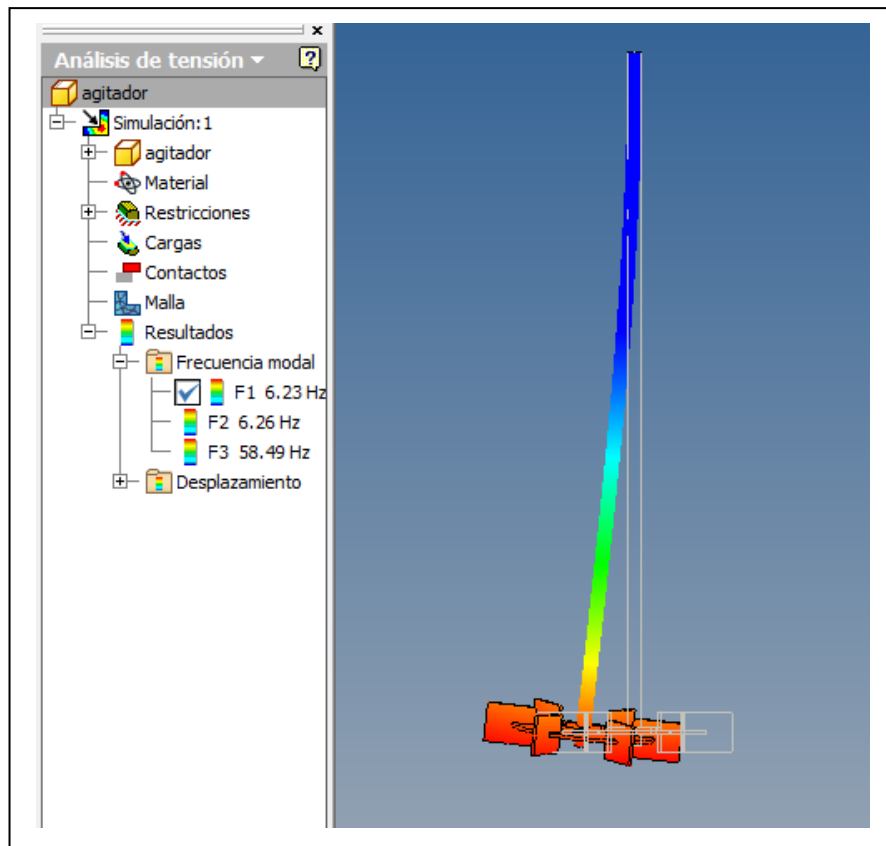


Figura 6.8 Velocidad crítica N°1: 6.23 Hz = 374 rpm

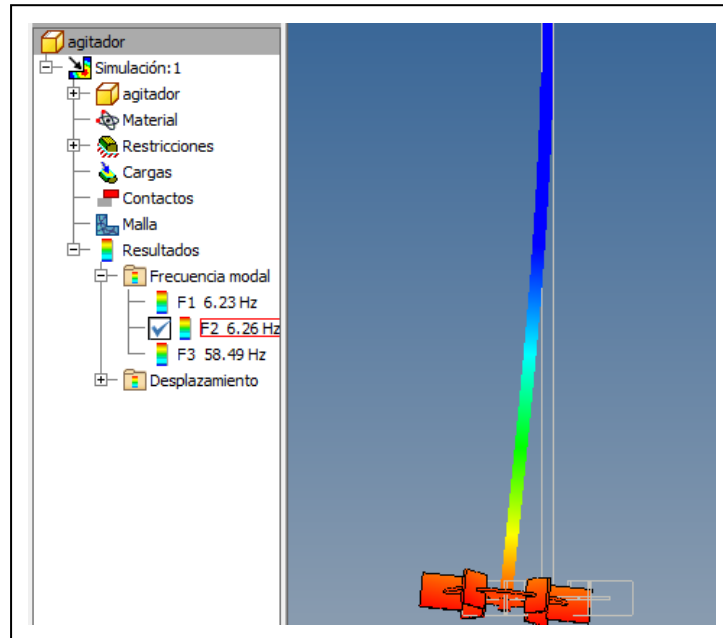


Figura 6.9 Velocidad crítica N°2: 6.26 Hz = 376 rpm

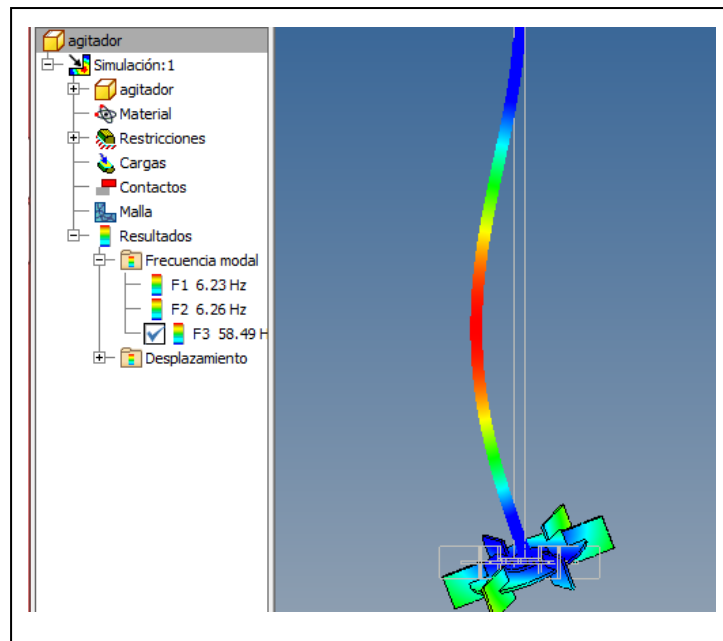


Figura 6.10 Velocidad crítica N°3: 58.5 Hz = 3510 rpm

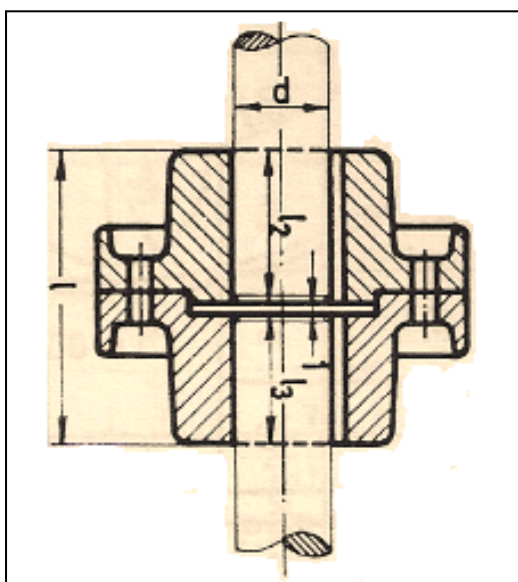
Por lo tanto, se concluye que el agitador no debe girar en una zona de 300 a 450 rpm. Siendo considerada una zona libre de resonancia a $\pm 20\%$ la velocidad crítica.

6.12.- Acoplamiento superior

6.12.1.- Selección del machón

Para el acoplamiento que une el eje del motor con el extremo superior del eje del agitador, se utilizará un acoplamiento rígido de platillo, con dimensiones normalizadas. En la tabla siguiente se indican las longitudes máximas del cubo en relación al diámetro del eje calculado: 25mm

Tabla 6.7 Dimensiones largo de eje superior e Inferior.



Diám.	Longitud máxima del cubo			
	l	l1	l2	l3
25	130	150	70	59
30	130	150	70	59
35	150	170	80	69
40	150	170	80	69
45	170	190	90	79
50	170	190	90	79
55	190	210	100	89
60	190	210	100	89
70	210	230	110	99
80	230	250	120	109
90	260	280	135	124
100	290	310	150	139

Fig. 6.11 Machón acoplamiento superior.

-Se recomienda que el acoplamiento disponga de un calado macho/hembra en las caras interiores de manera que asegure la alineación y el centrado.

-Se debe mantener una separación de 1mm entre los ejes que son unidos por el acoplamiento.

6.12.2.- Tabla dimensiones generales acoplamiento rígido de platillo

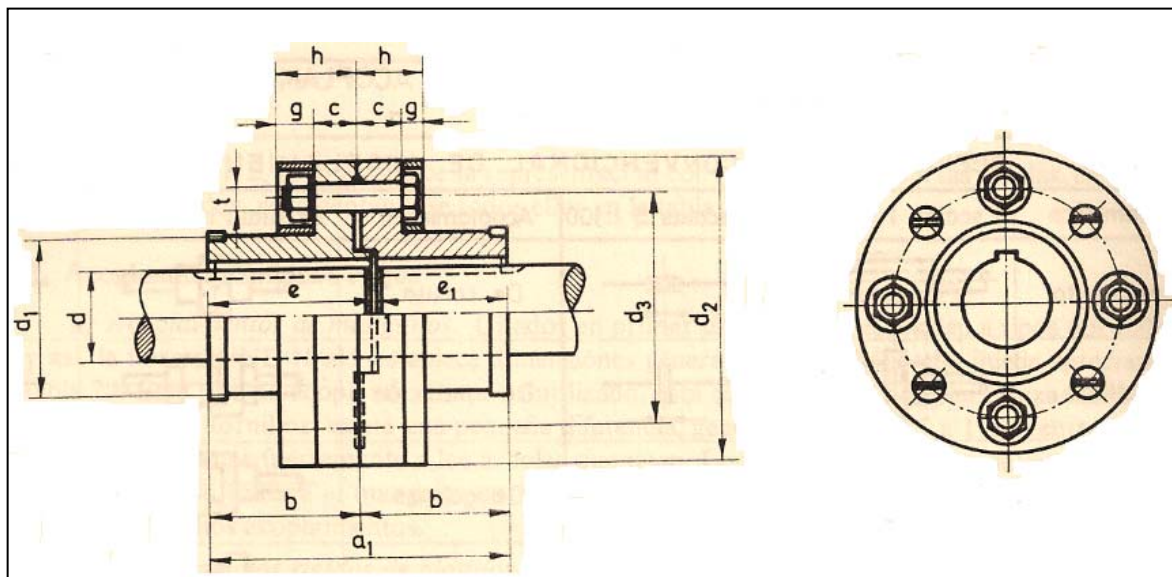


Fig. 6.12 Dimensiones machón acoplamiento superior.

Diámetro d	DISCOS								ARANDELAS		Tornillos	
	a1	b	c	d1	d2	d3	e	e1	g	h	t	n°
25	120	60	20	60	140	100	65	54	13	33	M-12	4
30	130	65		70	150	110	70	59				
35	140	70	25	80	160	120	75	64	16	41	M-16	4
40	150	75		80	170	125	80	69				
45	160	80		90	180	135	85	74				
50	180	90	32	100	190	145	95	84	20	52	M-20	4
60	200	100		110	230	170	105	94				
70	220	110		130	250	190	115	104				
80	240	120		140	260	200	125	114				
90	260	130	40	260	280	220	135	124	24	64	M-24	6
100	300	150		180	330	225	155	144				

Tabla 6.8 Dimensiones generales machón.

- Las medidas para el diseño del acoplamiento se relacionan con el diámetro calculado para el eje del agitador.

6.12.3.- Cálculo de pernos acoplamiento superior

Como una forma de asegurar la correcta elección de los pernos que soportarán el conjunto agitador, se realiza el cálculo de estos en tracción y en corte.

Se definen entonces el peso de los elementos que deben soportar los pernos.

Material Eje agitador e impulsor: **Acero inoxidable 304L.**

Eje agitador:

Largo 1200 x 25mm de diámetro

Peso= 4.7 kg

Impulsor:

-Placa rectangular 85x70x6 (6 c/u)

Peso= 2.5 kg

-Placa circular diámetro 245 x 6mm espesor (1 c/u)

Peso= 3 kg

Peso Eje agitador + Impulsor= 11 kg

Se considera para el esfuerzo de corte el Par de salida máximo del motor a utilizar, que en este caso es de **3400 Nm.**

Fuerza Axial:

$$\sigma = \frac{F}{a \times n} \quad \text{Con } \sigma < 0.6F_y$$

Fuerza de corte:

$$\tau = \frac{T}{L \times (a \times n)} \quad \text{Con } \tau < 0.45F_y$$

L: círculo de pernos/2

a: área del perno

n: número de pernos

T: Torque

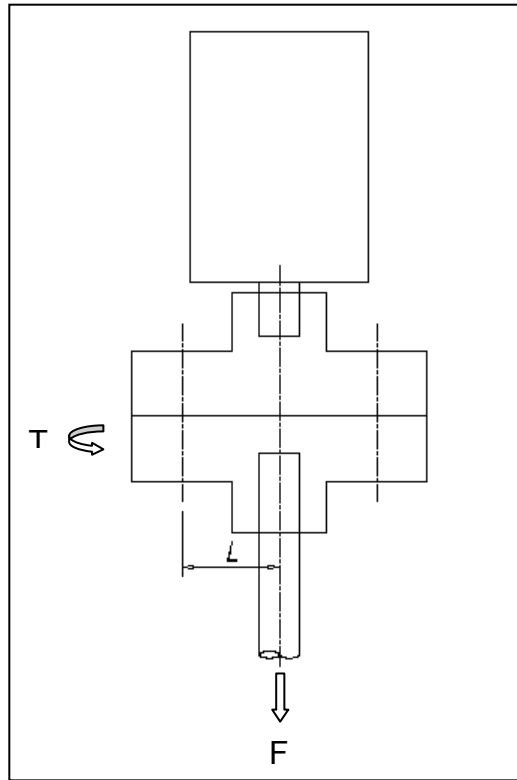


Fig. 6.13 Fuerzas aplicadas acoplamiento superior.

Fuerza Axial:

Considerando un acero ASTM A36: F_y 3450, F_u 4050 y un número de pernos $n=4$

$$\sigma < 0.6 \times 3450 = 2070 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Despejando el área:

$$a = \frac{F}{\sigma \times n} \Rightarrow a = \frac{11}{2070 \times 4} = 0.00132 \text{ cm}^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{0.00132 \times 4}{\pi}} = 0.4 \text{ mm}$$

Se concluye que por el peso de los elementos a soportar, el esfuerzo axial es despreciable en este caso.

Fuerza de corte:

Considerando un acero ASTM A36: Fy 3450, Fu 4050 y un número de pernos n=4

$$\tau < 0.45 \times 3450 = 1552.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Par motor= 3400 Nm =34000 kg.cm

$$1552.5 = \frac{34000}{4 \text{ cm} \times (a \times 4)}$$

Despejando el área:

$$a = \frac{34000}{\tau \times L \times n} = \frac{34000}{1552.5 \times (5 \times 4)} = 1.095 \text{ cm}^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{1.095 \times 4}{\pi}} = 11.8 \text{ mm} \approx 12 \text{ mm}$$

Se comprueba según tabla 6.8 la utilización de 4 pernos M12 para el dimensionamiento de acoplamiento rígido de platillo.

6.12.4.- Selección de chaveta

Para la selección de la chaveta se utiliza la tabla normalizada S/DIN-6885/1.

La chaveta deberá dimensionarse de manera que pueda transmitir el mismo momento o par de torsión que el eje correspondiente. Por lo tanto la longitud de la chaveta debe ser como mínimo, igual a 1,5 veces el diámetro del eje. Los chaveteros deberán tener bordes redondeados en todos los sentidos con el fin de evitar la formación de grietas y posteriores roturas.

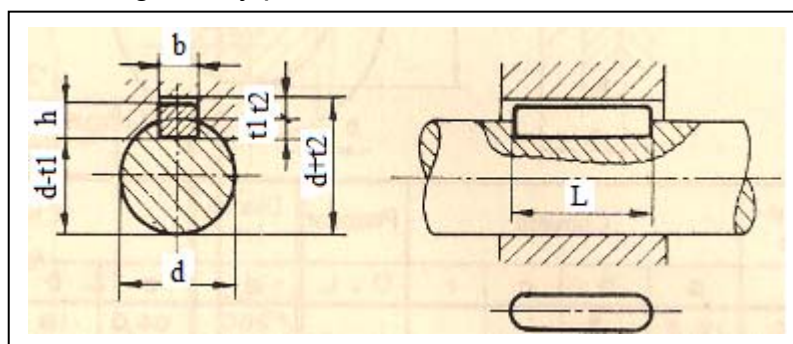


Fig. 6.14 Chaveta paralela S/DIN-6885/1

Tabla 6.9 Chavetas paralelas S/DIN-6885/1

Diam. Eje "d" en mm desde-hasta	Medidas chaveta bxh mm	Medidas del chavetero en el cubo		Medidas del chavetero en el eje		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		d + t2 mm	Tol. Admisible (en altura)mm	t1 mm	Tol. Admisible (en altura)mm	Diam. mm desde-hasta	Tol. H-7 mm
17-22	6x6	d+2.6	+0.1	3.5	+0.2	10-18	+0.018 0
22-30	8x7	d+3.0		4.1			
30-38	10x8	d+3.4	4.7				
38-44	12x8	d+3.2	4.9				
44-50	14x9	d+3.6	5.5				
50-58	16x10	d+3.9	6.2				
58-65	18x11	d+4.3	6.8				
65-75	20x12	d+4.7	7.4				
75-85	22x14	d+5.6	8.5				
85-95	25x14	d+5.4	8.7				
95-110	28x16	d+6.2	9.9	+0.3	180-250	+0,046 0	
110-130	32x18	d+7.1	11.1				

6.13.- Acoplamiento inferior

6.13.1.- Cálculo de pernos acoplamiento inferior

Al igual que el cálculo de esfuerzo axial obtenido para el acoplamiento superior, este es despreciable en el acoplamiento inferior basándonos en que estos soportan una menor carga. Se calcula por lo tanto el esfuerzo de corte, quien define el diámetro y la cantidad de pernos a utilizar.

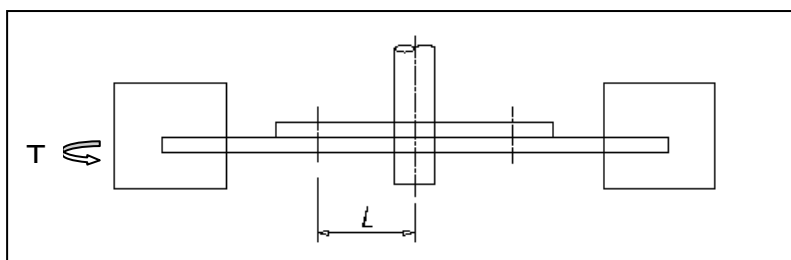


Fig. 6.15 Fuerzas aplicadas acoplamiento inferior

Para el diseño del acoplamiento inferior se disminuirá el diámetro de pernos por lo que se utilizarán dos variables que pueden ser modificadas para obtener el resultado deseado: La distancia L (círculo de pernos/2) y el número de pernos.

$$\tau = \frac{T}{L \times (a \times n)} \quad \text{Con } \tau < 0.45 F_y \Rightarrow \tau < 0.45 \times 3450 = 1552.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$a = \frac{T}{L \times n \times \tau} \Rightarrow a = \frac{34000}{L \times n \times 1552.5}$$

Tabla 6.10 Diámetros obtenidos con variables L y n.

Tipo de acero	F _y	L(mm)	n	Diámetro (mm)
ASTM A-36	2531	70	4	10
ASTM A-36	2531	80	4	9.3
ASTM A-36	2531	70	8	7.04
ASTM A-36	2531	80	6	7.61

Para este caso en particular se tomará la opción L: 70, n: 8, utilizando pernos M8 para el diseño del acoplamiento inferior.

6.13.2.- Diseño acoplamiento inferior

- Para el diseño del acoplamiento inferior entre el impulsor de paleta y el eje del agitador, se utilizará una placa tipo flange soldada al eje.
- El eje y el flange soldado serán rebajados en el diámetro con el fin de evitar el movimiento giratorio entre ambas piezas.
- El impulsor será desmontable del eje.

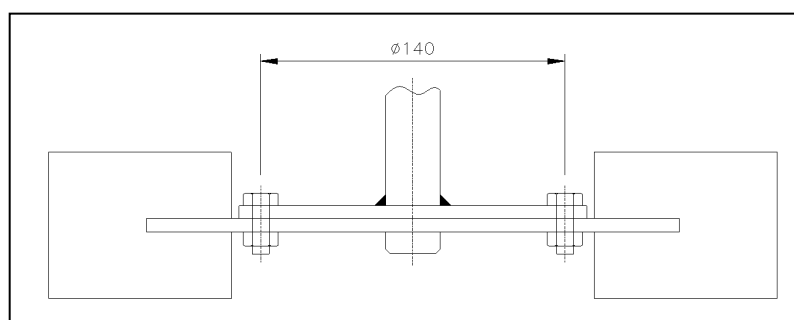


Fig. 6.16 Elevación acoplamiento inferior

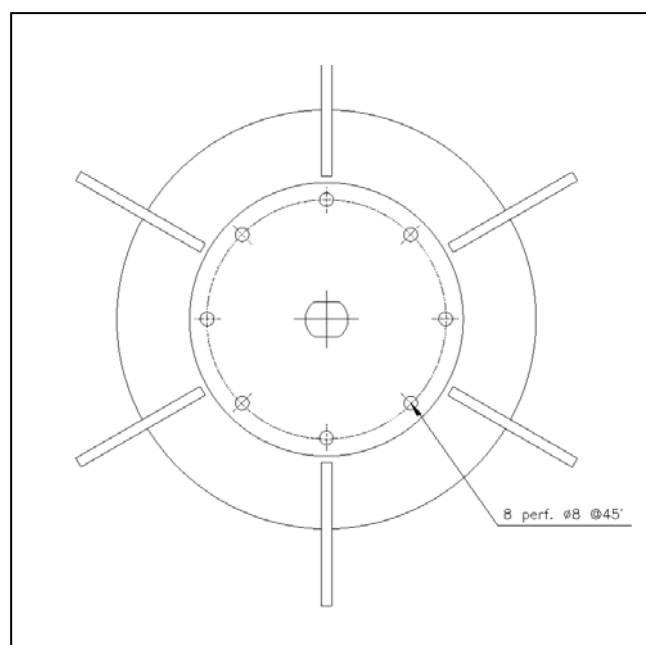


Fig. 6.17 Vista superior

Capítulo VII

CÁLCULO ESTRUCTURA SOPORTANTE CONJUNTO

7.1.- Datos de entrada

A través del **software Bentley** para el cálculo de estructuras, se busca conocer los espesores de los perfiles que soportarán de mejor manera el sistema de agitación.

Se calculará la estructura utilizando un tubular cuadrado de 75mm ASTM-A 36 para espesores de 6, 4 y 3 mm.

7.1.1- Esfuerzo de miembro 6mm de espesor

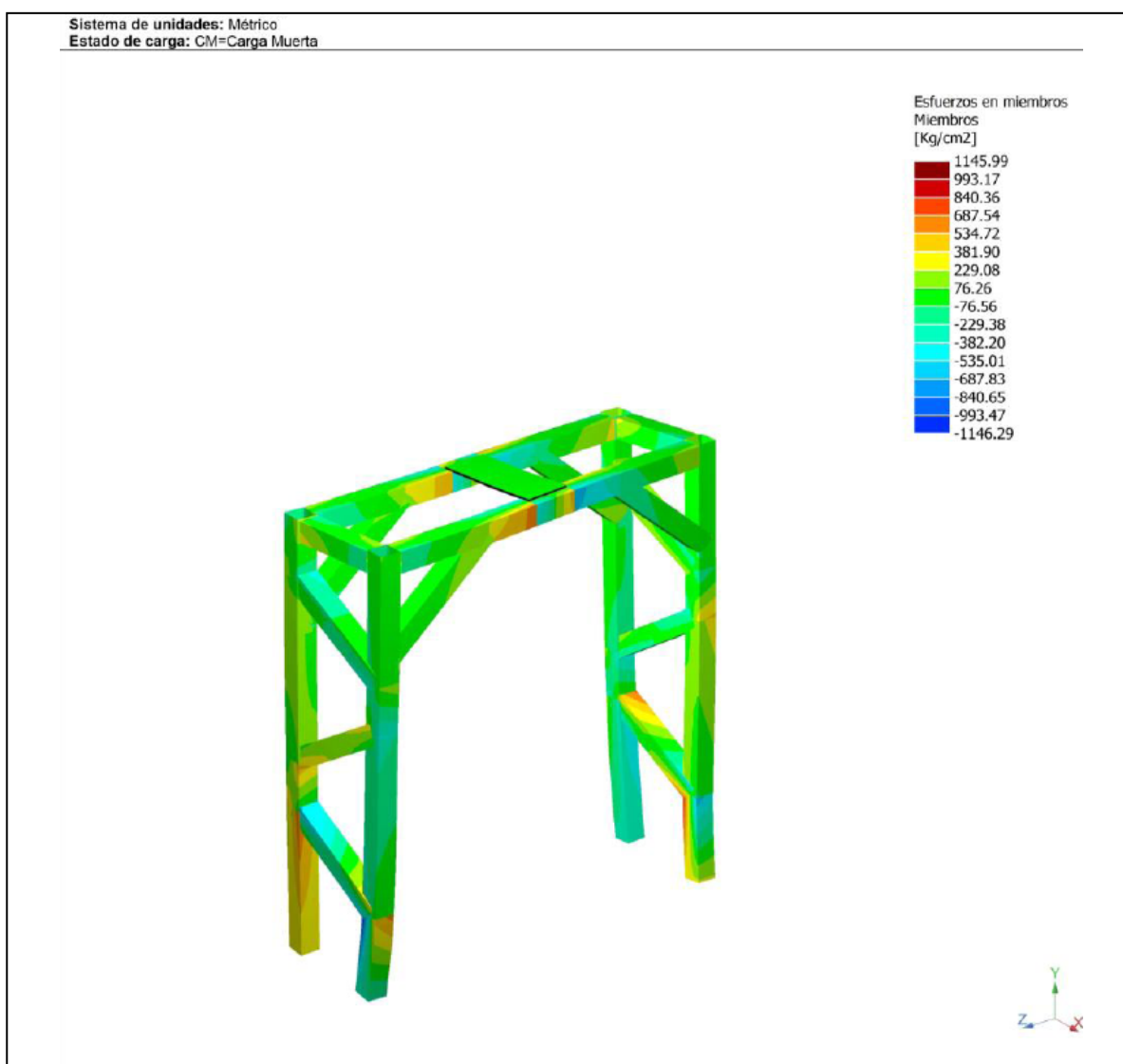


Fig. 7.1 Análisis de esfuerzos Tubular cuadrado 75mm x 6mm de espesor

7.1.2- Esfuerzo de miembro 4mm de espesor

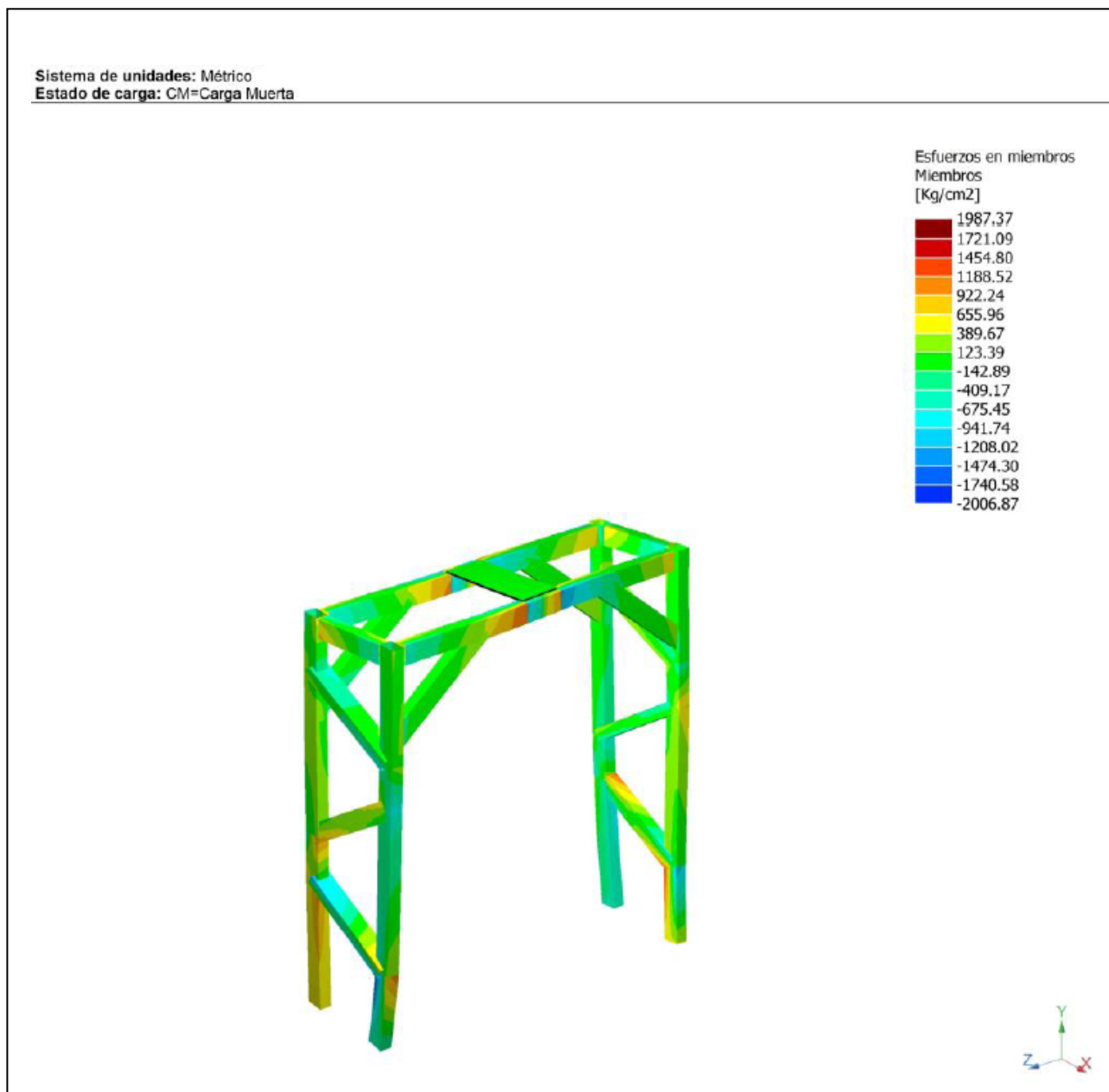


Fig. 7.2 Análisis de esfuerzos Tubular cuadrado 75mm x 4mm de espesor

7.1.3- Esfuerzo de miembro 3mm de espesor

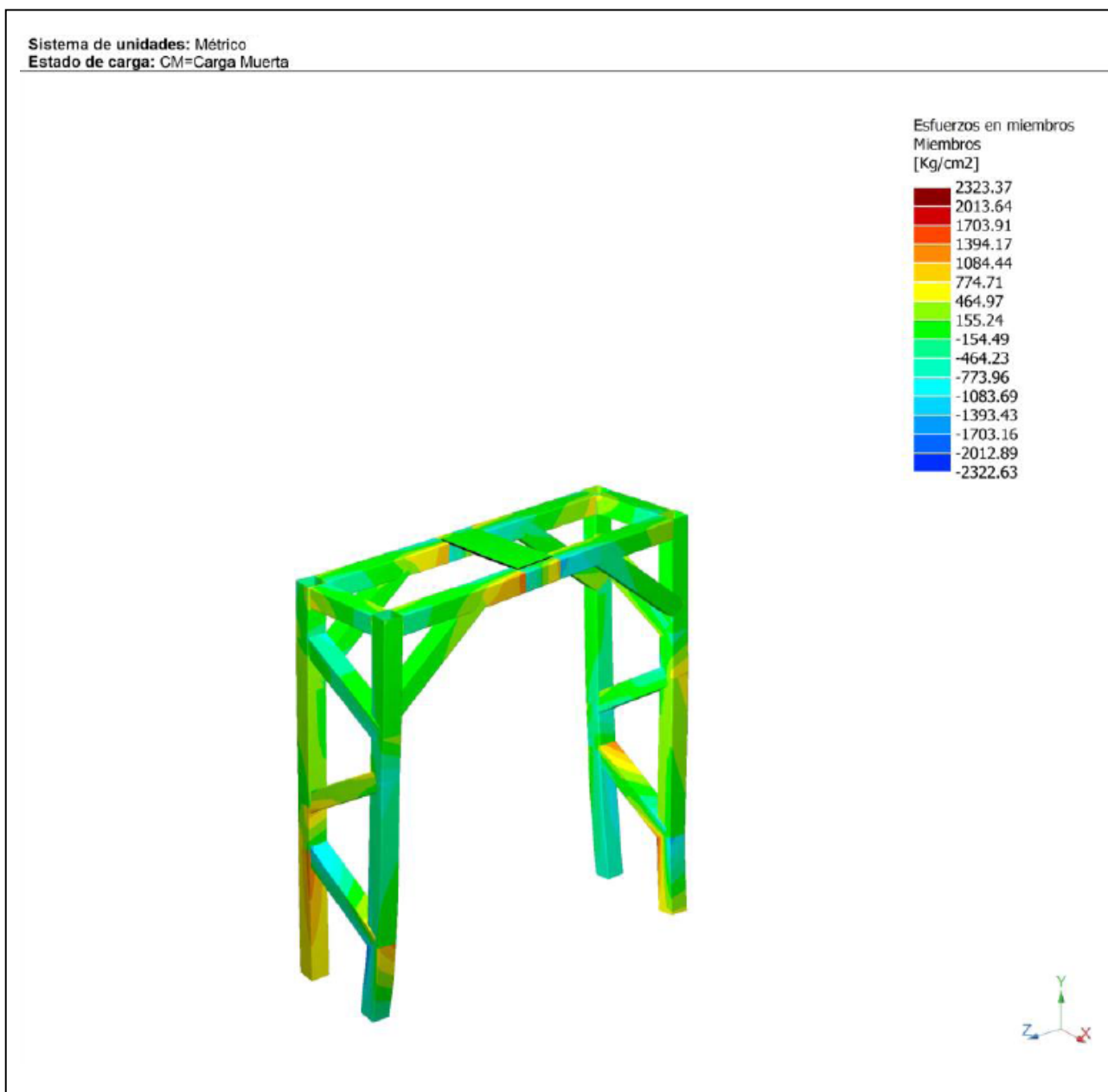


Fig. 7.3 Análisis de esfuerzos Tubular cuadrado 75mm x 3mm de espesor

- Según los cálculos obtenidos, el comportamiento que soporta adecuadamente el esfuerzo de los miembros de la estructura, corresponde al tubular cuadrado de 4mm de espesor, cuyo rango de esfuerzo fluctúa entre los 2000 kg / cm².

Capítulo VIII

ANÁLISIS DE COSTOS

Se realiza una cubicación y costo de materiales, fabricación y montaje del sistema de agitación diseñado.

(Datos de precios de material y fabricación solicitados a Maestranza regional).

Tabla 8.1 Costos directos materiales y equipo.

ITEM	MATERIAL	DIMENSIONES	PESO kg	CANT.	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Barra acero SAE 8620	Diam. 140 x 120mm	20	1	90.000	90.000
2	Eje acero inox. 304L	Diam. 25mm	4,7	1	21.150	21.150
3	Plancha Acero ASTM A-36, e:4mm	0,15m2	4,8	1	16.800	16.800
4	Plancha Acero ASTM A-36, e:8mm	0,06m2	3,9	1	13.650	13.650
5	Plancha Acero inox 304L, e:6mm	0,18m2	8,7	1	30.450	30.450
6	Plancha Acero inox 304L, e:5mm	0,5m2	20	1	70.000	70.000
7	Perfil cuadrado 75x4 Acero ASTM A-36	L: 8000 mm	100	1	350.000	350.000
8	Motor SEW-EURODRIVE con brida Tipo RF 27	N/A	20	1	280.000	280.000
9	Perno inox cabeza cilíndrica con receso M12	L:50mm	-	4	400	1.600
10	Perno inox cabeza cilíndrica con receso M6	L:35mm	-	2	350	700
11	Perno inox. prisionero con receso hexagonal M4	L:10mm	-	2	350	700
12	Perno inox. M8 con tuerca y golilla	L:20mm	-	4	300	1.200
13	Perno ac. Inox. M8 con tuerca y golilla	L:25mm	-	8	150	1.200
14	Perno ac. Galv. M10 con tuerca y golilla	L:25mm	-	6	200	1.200
15	Perno de anclaje inoxidable diam. 10mm	L:80mm	-	16	2.200	35.200

\$ 913.850

Tabla 8.2 Costos de fabricación.

ITEM	OPERACIÓN	HH	VALOR HH \$	SUBTOTAL
1	Corte planchas	5	6.500	32.500
2	Torno	4	3.700	14.800
3	Fresado	1	4.500	4.500
4	Rectificado	1	3.600	3.600
5	Taladrado	1	2.700	2.700
6	Soldadura	8	4.200	33.600
7	Pintura	5	3.500	17.500

\$ 109.200

Tabla 8.3 Costos de montaje

ITEM	PERSONAL	CANTIDAD	HH	VALOR HH \$	SUBTOTAL
1	Supervisor	1	8	7500	60.000
2	Mecánico 1ra	2	8	4500	72.000

\$ 132.000

ITEM	PERSONAL	CANTIDAD	HH	VALOR \$	SUBTOTAL
1	Transporte	3	-	8.000	24.000
2	Insumos varios (pintura, soldadura, discos de corte y desbaste, etc.)	-	-	-	70.000

\$ 226.000

Tabla 8.4 Resumen de costos

	Valor \$
Costos directos materiales y equipos	913.850
Costos de fabricación	109.200
Costos de montaje	226.000
Costo Ingeniería (20% materiales, fabricación y montaje)	249.810
Utilidades (15% materiales, fabricación y montaje)	187.358

Costo total \$ 1.686.218

Tabla 8.5 Cotización de agitador importado de similares características.

Item	Cant	Descripcion	Precio Unit USD	Precio Total USD
1	1	<p>Agitador Ficha Técnica 28. Para Tag Agitador. Efluente /soda Datos de proceso : Densidad de la pulpa 1100 kg /m3 Viscosidad max 1 mPas Diámetro del tk 1006 mm Altura del tk 1300 mm Volumen de llenado 1 m3 Altura de llenado 1000 mm Temperatura de trabajo 10 a 40°C Altura de vigas 150 mm. Tapa curva Fondo plano No considera baffles montaje fuera de centro 150 mm Diseño considera 2 niveles de impulsores Marine propeller 3 blades .</p> <p>Diámetro de eje agitador 20 mm sólido.- Material partes húmedas Acero Inox 316 Ti. Reductor considerado ,Sew Eurodrive Linea RF Conjunto motriz del equipo apto para ser controlado electrónicamente por variador de frecuencia(no suministrado) Motor eléctrico Incluido Norma IEC IP 65 alta eficiencia IE2 Ensamblaje de componentes motrices Incluidos en fabrica Asesoría en montaje y puesta en marcha 1 dias por personal .Se ha considerado un factor de servicio superior a 1,5 (Agma II) para los conjuntos motrices. Aplicación Heavy Dutty 24 horas al dia .</p>	7.900.-	7.900.-
Valor Total Final en Dólares Americanos mas IVA			7.900.-	7.900.-

Valores equivalentes en Moneda nacional al tipo de cambio del Bco. Central a la fecha de Facturación, + IVA.

Capítulo IX

CONCLUSIONES

9.1.- Conclusiones

El presente seminario fue desarrollado para la empresa Proseín-Ambiental, dedicada al desarrollo de proyectos de ingeniería relacionados con el medio ambiente y específicamente al tratamiento de residuos industriales líquidos.

En este ámbito, existe una gran variedad de impulsores para su uso y aplicación; Donde el éxito de cualquier operación va a depender de la correcta definición de estos factores.

Si bien existe dificultad para llegar a un diseño óptimo, debido al gran número de variables y a lo complejo del comportamiento de los fluidos, fue posible aproximarse de buena manera al producto requerido.

La elección del impulsor de turbina de 6 palas obedece principalmente a la menor complejidad en la construcción, a diferencia de un agitador de hélice, estos son usados con placas deflectoras las que logran evitar la generación de vórtices y flujos circulatorios, tan ineficientes en la agitación.

En el desarrollo del seminario y en base a la identificación de los esfuerzos, y sus limitaciones estructurales, se definieron las variables relevantes al momento de diseñar, involucrando al motor, diámetro del eje y la selección adecuada del impulsor, el que está definido para cada aplicación por el tipo de fluido, sus propiedades físicas y químicas.

La velocidad de diseño es de 115 rpm según el tipo de impulsor, la densidad y la viscosidad del fluido. En nuestro análisis de la velocidad crítica a través del software Inventor nos permite concluir que el agitador no debe girar en una zona de 300 a 450 rpm para evitar una posible falla de resonancia debido a la configuración del agitador.

Para calcular el diámetro del eje se utilizó la norma ASME, obteniendo un valor de 25mm de diámetro.

Los análisis de esfuerzos realizados con el software BENTLEY en la estructura soportante, se hicieron utilizando perfiles tubulares cuadrados de 75x75 mm de acero estructural ASTM A-36, los que delimitan el uso de espesores superiores a

4mm, y a un esfuerzo de fluencia 2530 kg/cm². Los valores obtenidos por las ecuaciones de diseño vistas en clases y literatura, nos permitió calcular los esfuerzos a los cuales estarán soportados los elementos de las estructuras y agitador, siendo menores a los valores admisibles.

Por último se concluye que si bien el diseño de agitadores importados es superior a lo que existe hoy en día localmente, principalmente por el prestigio alcanzado debido a la experiencia, es posible lograr los objetivos propuestos con un diseño elaborado a un costo considerablemente menor.

Bibliografía

- McCABE Warren, SMITH Julian C., HARRIOTT Peter, Operaciones unitarias en Ingeniería química 4ª ed. Madrid, McGraw-Hill, 1991. 1111p.
- SHIGLEY Edward, El proyecto en ingeniería mecánica. EEUU, 1ª ed. McGraw-Hill , 1963, 658p.
- LARBURU Nicolas, Técnicas del dibujo 3 elementos de máquina 3ª ed. Paraninfo , 1985, 263p.

Consulta WEB:

Estudio teórico experimental de la agitación.

<http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

Tema 3: Torsión. Calculo de arboles y ejes

<http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema03.pdf>

Diseño de tornillos, Capítulo 8

<http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap8.pdf>

Lodos Activados

<http://www.bioaguachile.cl/2012/04/28/lodos-activados/>

<http://www.sew-eurodrive.cl/Productos/Productos.htm>

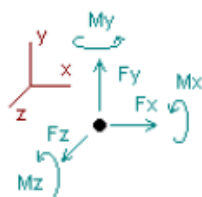
ANEXOS

A. Resultado de análisis estructura soportante conjunto.

Traslaciones

Nudo	Traslaciones [cm]			Rotaciones [Rad]		
	TX	TY	TZ	RX	RY	RZ
Estado	CM=Carga Muerta					
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00113	0.00221	0.00219
2	-0.19572	-0.01310	0.06290	0.00002	0.00300	0.00081
3	0.02883	-0.00050	0.06299	-0.00032	0.00405	-0.00001
4	0.19567	0.01272	0.06246	-0.00011	0.00300	-0.00082
5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00124	0.00222	-0.00219
6	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00099	0.00221	0.00339
7	-0.19561	0.01143	-0.05477	0.00010	0.00297	0.00066
8	0.02895	-0.00598	-0.05544	0.00027	0.00406	0.00003
9	0.19554	-0.01180	-0.05522	-0.00002	0.00297	-0.00066
10	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00089	0.00221	-0.00339
11	0.15963	0.01165	0.06631	0.00003	0.00269	-0.00088
12	0.16184	-0.01140	-0.05444	-0.00011	0.00292	-0.00109
13	0.09405	0.00658	0.06252	-0.00027	0.00272	-0.00063
14	0.09464	-0.01110	-0.05526	0.00014	0.00275	-0.00061
15	-0.15973	-0.01200	0.06225	0.00012	0.00269	0.00088
16	-0.16190	0.01105	-0.05856	-0.00001	0.00293	0.00109
17	-0.09414	-0.01163	0.06291	-0.00016	0.00271	0.00062
18	-0.09465	0.00600	-0.05486	0.00025	0.00275	0.00062
19	0.08351	-0.00495	-0.02425	-0.00064	0.00221	-0.00136
20	0.13533	-0.01071	-0.05039	-0.00023	0.00290	-0.00090
21	-0.13539	0.01042	-0.05579	-0.00021	0.00290	0.00090
22	-0.08356	0.00484	-0.02708	-0.00072	0.00221	0.00136
23	-0.11927	-0.01025	0.05070	0.00024	0.00267	0.00106
24	-0.09553	-0.00865	0.04576	0.00035	0.00221	0.00111
25	0.09543	0.00847	0.05047	0.00041	0.00222	-0.00111
26	0.11918	0.01002	0.05615	0.00026	0.00267	-0.00106
27	0.15718	-0.01140	-0.05379	-0.00012	0.00303	-0.00108
28	-0.15724	0.01106	-0.05830	-0.00003	0.00303	0.00109
29	0.17428	0.01254	0.06467	-0.00008	0.00309	-0.00086
30	-0.17436	-0.01291	0.06258	0.00004	0.00309	0.00086
31	-0.02897	-0.00069	-0.05534	0.00030	0.00406	0.00001
32	-0.02890	-0.00610	0.06309	-0.00029	0.00405	-0.00002

Reacciones



Nudo	Fuerzas [Kg]			Momentos [Kg*cm]		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Estado	CM=Carga Muerta					
1	192.15874	4655.46320	-140.12985	0.00000	0.00000	0.00000
5	-191.81424	-4551.28260	-147.71604	0.00000	0.00000	0.00000
6	1100.58710	-4551.28260	148.18850	0.00000	0.00000	0.00000
10	-1100.93160	4655.46320	139.65738	0.00000	0.00000	0.00000
SUM	0.00000	208.36113	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000

Envolvente de desplazamientos nodales

Nota.- ec es el estado de carga crítico

Envolvente de desplazamientos nodales para :

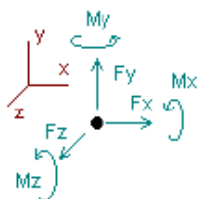
CM=Carga Muerta

Nudo		Traslación						Rotación					
		X [cm]	ec	Y [cm]	ec	Z [cm]	ec	Rx [Rad]	ec	Ry [Rad]	ec	Rz [Rad]	ec
1	Max	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	0.00113	CM	0.00221	CM	0.00219	CM
	Min	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	0.00113	CM	0.00221	CM	0.00219	CM
2	Max	-0.196	CM	-0.013	CM	0.063	CM	0.00002	CM	0.00300	CM	0.00081	CM
	Min	-0.196	CM	-0.013	CM	0.063	CM	0.00002	CM	0.00300	CM	0.00081	CM
3	Max	0.029	CM	0.000	CM	0.063	CM	-0.00032	CM	0.00405	CM	-0.00001	CM
	Min	0.029	CM	0.000	CM	0.063	CM	-0.00032	CM	0.00405	CM	-0.00001	CM
4	Max	0.196	CM	0.013	CM	0.062	CM	-0.00011	CM	0.00300	CM	-0.00082	CM
	Min	0.196	CM	0.013	CM	0.062	CM	-0.00011	CM	0.00300	CM	-0.00082	CM
5	Max	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	0.00124	CM	0.00222	CM	-0.00219	CM
	Min	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	0.00124	CM	0.00222	CM	-0.00219	CM
6	Max	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	-0.00099	CM	0.00221	CM	0.00339	CM
	Min	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	-0.00099	CM	0.00221	CM	0.00339	CM
7	Max	-0.196	CM	0.011	CM	-0.055	CM	0.00010	CM	0.00297	CM	0.00066	CM
	Min	-0.196	CM	0.011	CM	-0.055	CM	0.00010	CM	0.00297	CM	0.00066	CM
8	Max	0.029	CM	-0.006	CM	-0.055	CM	0.00027	CM	0.00406	CM	0.00003	CM
	Min	0.029	CM	-0.006	CM	-0.055	CM	0.00027	CM	0.00406	CM	0.00003	CM
9	Max	0.196	CM	-0.012	CM	-0.055	CM	-0.00002	CM	0.00297	CM	-0.00066	CM
	Min	0.196	CM	-0.012	CM	-0.055	CM	-0.00002	CM	0.00297	CM	-0.00066	CM
10	Max	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	-0.00089	CM	0.00221	CM	-0.00339	CM
	Min	0.000	CM	0.000	CM	0.000	CM	-0.00089	CM	0.00221	CM	-0.00339	CM
11	Max	0.160	CM	0.012	CM	0.066	CM	0.00003	CM	0.00269	CM	-0.00088	CM
	Min	0.160	CM	0.012	CM	0.066	CM	0.00003	CM	0.00269	CM	-0.00088	CM
12	Max	0.162	CM	-0.011	CM	-0.054	CM	-0.00011	CM	0.00292	CM	-0.00109	CM
	Min	0.162	CM	-0.011	CM	-0.054	CM	-0.00011	CM	0.00292	CM	-0.00109	CM
13	Max	0.094	CM	0.007	CM	0.063	CM	-0.00027	CM	0.00272	CM	-0.00063	CM
	Min	0.094	CM	0.007	CM	0.063	CM	-0.00027	CM	0.00272	CM	-0.00063	CM
14	Max	0.095	CM	-0.011	CM	-0.055	CM	0.00014	CM	0.00275	CM	-0.00061	CM

	Min	0.095	CM	-0.011	CM	-0.055	CM	0.00014	CM	0.00275	CM	-0.00061	CM
15	Max	-0.160	CM	-0.012	CM	0.062	CM	0.00012	CM	0.00269	CM	0.00088	CM
	Min	-0.160	CM	-0.012	CM	0.062	CM	0.00012	CM	0.00269	CM	0.00088	CM
16	Max	-0.162	CM	0.011	CM	-0.059	CM	-0.00001	CM	0.00293	CM	0.00109	CM
	Min	-0.162	CM	0.011	CM	-0.059	CM	-0.00001	CM	0.00293	CM	0.00109	CM
17	Max	-0.094	CM	-0.012	CM	0.063	CM	-0.00016	CM	0.00271	CM	0.00062	CM
	Min	-0.094	CM	-0.012	CM	0.063	CM	-0.00016	CM	0.00271	CM	0.00062	CM
18	Max	-0.095	CM	0.006	CM	-0.055	CM	0.00025	CM	0.00275	CM	0.00062	CM
	Min	-0.095	CM	0.006	CM	-0.055	CM	0.00025	CM	0.00275	CM	0.00062	CM
19	Max	0.084	CM	-0.005	CM	-0.024	CM	-0.00064	CM	0.00221	CM	-0.00136	CM
	Min	0.084	CM	-0.005	CM	-0.024	CM	-0.00064	CM	0.00221	CM	-0.00136	CM
20	Max	0.135	CM	-0.011	CM	-0.050	CM	-0.00023	CM	0.00290	CM	-0.00090	CM
	Min	0.135	CM	-0.011	CM	-0.050	CM	-0.00023	CM	0.00290	CM	-0.00090	CM
21	Max	-0.135	CM	0.010	CM	-0.056	CM	-0.00021	CM	0.00290	CM	0.00090	CM
	Min	-0.135	CM	0.010	CM	-0.056	CM	-0.00021	CM	0.00290	CM	0.00090	CM
22	Max	-0.084	CM	0.005	CM	-0.027	CM	-0.00072	CM	0.00221	CM	0.00136	CM
	Min	-0.084	CM	0.005	CM	-0.027	CM	-0.00072	CM	0.00221	CM	0.00136	CM
23	Max	-0.119	CM	-0.010	CM	0.051	CM	0.00024	CM	0.00267	CM	0.00106	CM
	Min	-0.119	CM	-0.010	CM	0.051	CM	0.00024	CM	0.00267	CM	0.00106	CM
24	Max	-0.096	CM	-0.009	CM	0.046	CM	0.00035	CM	0.00221	CM	0.00111	CM
	Min	-0.096	CM	-0.009	CM	0.046	CM	0.00035	CM	0.00221	CM	0.00111	CM
25	Max	0.095	CM	0.008	CM	0.050	CM	0.00041	CM	0.00222	CM	-0.00111	CM
	Min	0.095	CM	0.008	CM	0.050	CM	0.00041	CM	0.00222	CM	-0.00111	CM
26	Max	0.119	CM	0.010	CM	0.056	CM	0.00026	CM	0.00267	CM	-0.00106	CM
	Min	0.119	CM	0.010	CM	0.056	CM	0.00026	CM	0.00267	CM	-0.00106	CM
27	Max	0.157	CM	-0.011	CM	-0.054	CM	-0.00012	CM	0.00303	CM	-0.00108	CM
	Min	0.157	CM	-0.011	CM	-0.054	CM	-0.00012	CM	0.00303	CM	-0.00108	CM
28	Max	-0.157	CM	0.011	CM	-0.058	CM	-0.00003	CM	0.00303	CM	0.00109	CM
	Min	-0.157	CM	0.011	CM	-0.058	CM	-0.00003	CM	0.00303	CM	0.00109	CM
29	Max	0.174	CM	0.013	CM	0.065	CM	-0.00008	CM	0.00309	CM	-0.00086	CM
	Min	0.174	CM	0.013	CM	0.065	CM	-0.00008	CM	0.00309	CM	-0.00086	CM
30	Max	-0.174	CM	-0.013	CM	0.063	CM	0.00004	CM	0.00309	CM	0.00086	CM
	Min	-0.174	CM	-0.013	CM	0.063	CM	0.00004	CM	0.00309	CM	0.00086	CM
31	Max	-0.029	CM	-0.001	CM	-0.055	CM	0.00030	CM	0.00406	CM	0.00001	CM
	Min	-0.029	CM	-0.001	CM	-0.055	CM	0.00030	CM	0.00406	CM	0.00001	CM
32	Max	-0.029	CM	-0.006	CM	0.063	CM	-0.00029	CM	0.00405	CM	-0.00002	CM
	Min	-0.029	CM	-0.006	CM	0.063	CM	-0.00029	CM	0.00405	CM	-0.00002	CM

Envolvente de reacciones nodales

Nota.- **eo** es el estado de carga crítica



Direcciones de fuerzas y momentos positivos

Envolvente de reacciones nodales para:

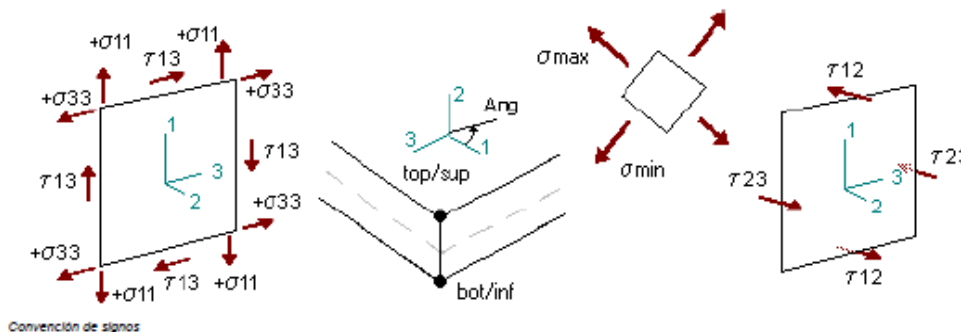
CM=Carga Muerta

Nudo	Fuerzas						Momentos						
		Fx	eo	Fy	eo	Fz	eo	Mx	eo	My	eo	Mz	eo
		[Kg]		[Kg]		[Kg]		[Kg*cm]		[Kg*cm]		[Kg*cm]	
1	Max	192.159	CM	4655.463	CM	-140.130	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
	Min	192.159	CM	4655.463	CM	-140.130	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
5	Max	-191.814	CM	-4551.283	CM	-147.716	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
	Min	-191.814	CM	-4551.283	CM	-147.716	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
6	Max	1100.587	CM	-4551.283	CM	148.189	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
	Min	1100.587	CM	-4551.283	CM	148.189	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
10	Max	-1100.932	CM	4655.463	CM	139.657	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM
	Min	-1100.932	CM	4655.463	CM	139.657	CM	0.00000	CM	0.00000	CM	0.00000	CM

Esfuerzos en placas

Notas.- El ángulo de los ejes principales está referido a los ejes locales.

- σ max: es la tensión máxima,
- σ min: es la tensión mínima,
- τ max: es el esfuerzo cortante máximo,
- Ang: es el ángulo de rotación respecto a los ejes locales,
- Von Mises: es la tensión equivalente uniaxial de fluencia propuesta por Von Mises.



ESTADO: CM=Carga Muerta

Placa: 2

Nudo	Placa [Kg/cm2]	Placa [Kg/cm2]				
		σ 11	σ 33	τ 13	τ 12	τ 23
32	sup	365.93	573.08	-64.56	0.85	-0.98
	inf	383.75	455.55	-74.58	0.85	-0.98
FEM: 33	sup	7.08	80.98	-76.28	0.90	-1.16

	inf		-31.09	-83.28	-92.42	0.90	-1.16
FEM: 37	sup		-9.37	-82.78	317.92	0.00	0.00
	inf		20.24	82.40	285.36	0.00	0.00
FEM: 36	sup		-7.04	-92.46	332.80	-0.06	0.26
	inf		15.51	82.92	301.13	-0.06	0.26
FEM: 35	sup		6.80	80.73	-78.89	-0.90	1.15
	inf		-31.20	-82.99	-94.69	-0.90	1.15
31	sup		-349.24	-405.13	-60.86	-0.95	1.51
	inf		-455.67	-644.62	-81.01	-0.95	1.51
3	sup		-346.55	-395.23	-58.64	0.95	-1.50
	inf		-452.70	-633.78	-79.15	0.95	-1.50
FEM: 34	sup		-5.30	-81.01	332.79	0.06	-0.26
	inf		17.03	93.88	301.13	0.06	-0.26
8	sup		368.06	582.36	-66.78	-0.85	0.97
	inf		386.50	466.83	-76.43	-0.85	0.97
<hr/>							
		Von Mises	σ max	σ min	Ang σ	τ max	Ang τ
<hr/>							
32	sup	514.90	591.55	347.46	-1.29	1.30	2.43
	inf	443.46	502.42	336.88	-1.01	1.30	2.43
FEM: 33	sup	153.27	128.79	-40.73	-1.01	1.46	2.48
	inf	175.89	38.85	-153.22	-0.65	1.46	2.48
FEM: 37	sup	556.21	273.95	-366.10	0.73	0.00	3.12
	inf	499.83	338.37	-235.73	0.84	0.00	3.12
FEM: 36	sup	583.28	285.78	-385.28	0.72	0.27	-0.23
	inf	527.13	352.23	-253.79	0.84	0.27	-0.23
FEM: 35	sup	157.11	130.88	-43.35	-1.00	1.46	-0.66
	inf	179.36	41.07	-155.26	-0.65	1.46	-0.66
31	sup	394.62	-310.21	-444.15	-0.57	1.78	-0.56
	inf	590.87	-425.69	-674.60	-0.35	1.78	-0.56
3	sup	386.85	-307.40	-434.38	-0.59	1.78	2.58
	inf	581.80	-422.98	-663.50	-0.36	1.78	2.58
FEM: 34	sup	581.72	291.78	-378.08	0.73	0.27	2.92
	inf	528.71	359.02	-248.11	0.85	0.27	2.92
8	sup	523.11	601.47	348.95	-1.29	1.29	-0.72
	inf	452.12	513.01	340.32	-1.03	1.29	-0.72

B. Planos

Lámina 1: Plano General sistema de agitación.

Lámina 2: Plano Detalle acoplamiento.

Lámina 3: Plano Detalle impulsor, eje, base motor.

Lámina 4: Plano Detalle estructura soportante y placas deflectoras.

Lámina 1: Plano General sistema de agitación.

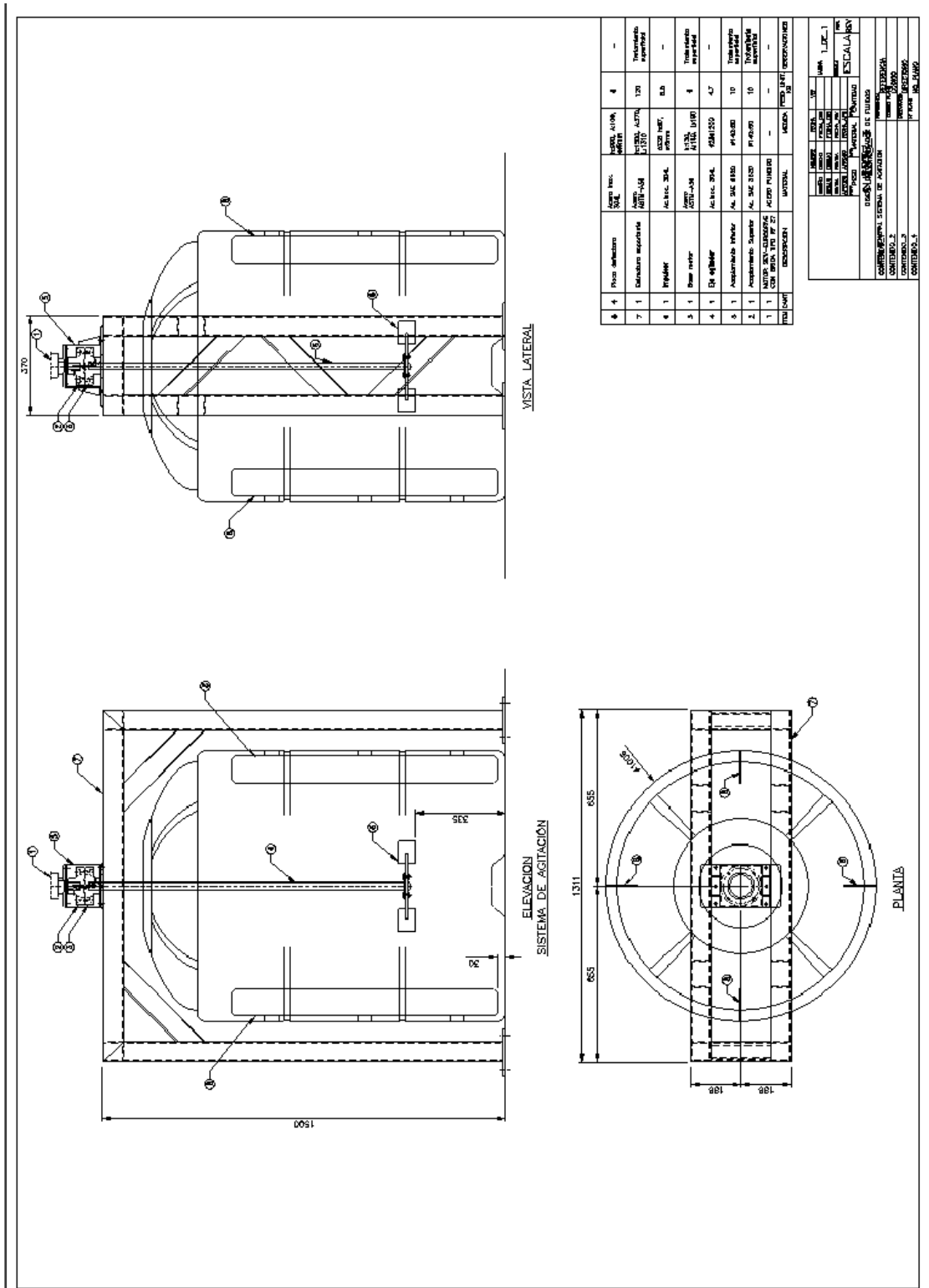
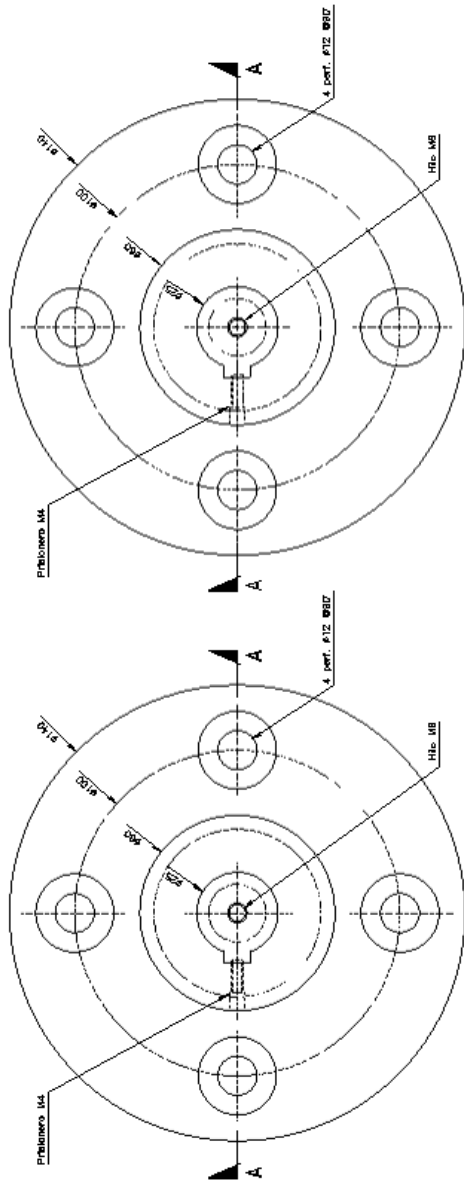


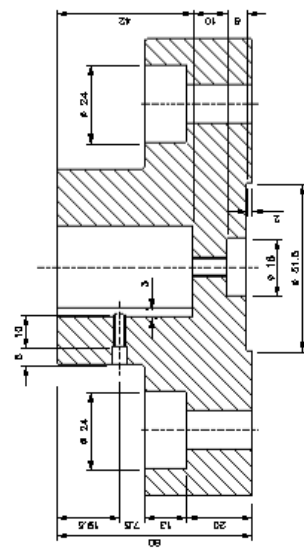
Lámina 2: Plano Detalle acoplamiento.

NOTAS:
- ELIMINAR ANGULOS AGUDOS

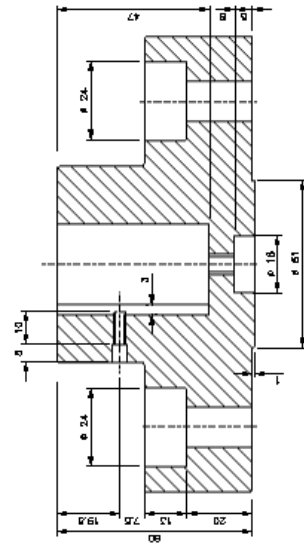


PLANTA ACOPLAMIENTO SUPERIOR ②

PLANTA ACOPLAMIENTO INFERIOR ③



CORTE A-A ACOPLAMIENTO SUPERIOR



CORTE A-A ACOPLAMIENTO INFERIOR

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR	REVISIÓN
1	Flange Acoplamiento Superior	1	PC	1	1
2	Flange Acoplamiento Inferior	1	PC	1	1
3	Flange Acoplamiento Superior	1	PC	1	1
4	Flange Acoplamiento Inferior	1	PC	1	1
5	Flange Acoplamiento Superior	1	PC	1	1
6	Flange Acoplamiento Inferior	1	PC	1	1

PROYECTO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR	APROBADO
ACOPLO	10/01/2018
PROYECTO
FECHA
PROYECTANTE
REVISOR
APROBADO

ESCALA: 1:1

Lámina 3: Plano Detalle impulsor, eje, base motor.

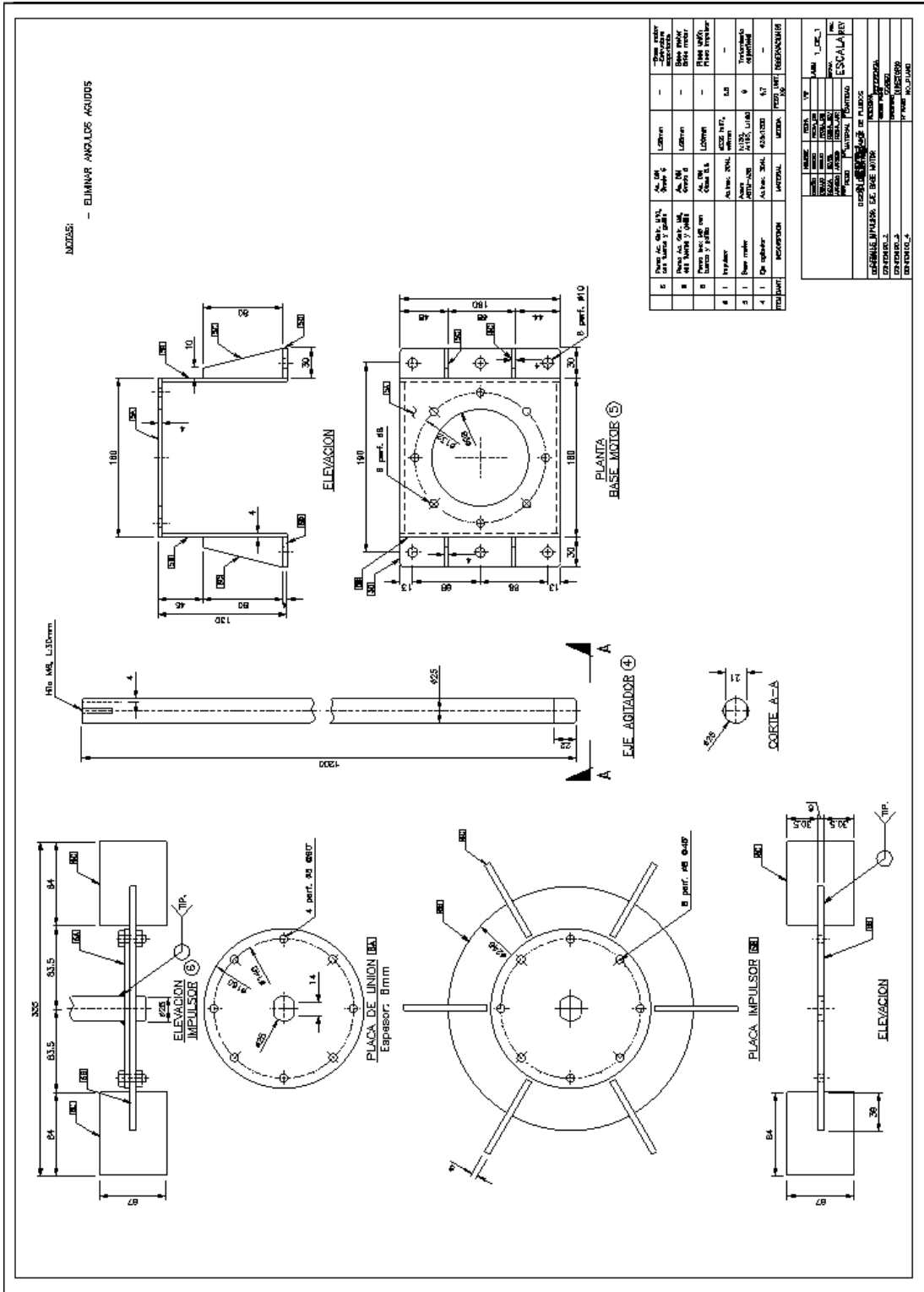


Lámina 4: Plano Detalle estructura soportante y placas deflectoras.

