



**Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Mecánica**

Trabajo de Diploma En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: Diseño de un tanque mezclador para la Unidad Básica
de Producción Recuperación de Amoniaco

Autor: Elier Osoria Claro

Tutores: Ing. Marlo Leyva Tarafa

Ing. Maribel Cañete Utria

Moa, 2018

“Año 60 de la revolución”

Declaración de Autoridad

Yo: Elier Osoria Claro, autor de este trabajo y los tutores Ing. Marlon Tarafa Leiva e Ing. Maribel Cañete Utria, declaramos la propiedad intelectual del mismo al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico, para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

Elier Osoria Claro

Ing. Marlon Tarafa Leyva

Ing. Maribel Cañete Utria

Resumen

En el presente trabajo se realiza el diseño de un tanque mezclador para instalarlo en la Unidad Básica de Producción Recuperación de Amoniaco de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", con el objetivo de recuperar la arenilla resultante de la limpieza de los alambiques de esta planta. Para el mismo se establece las propiedades físicas del carbonato básico de níquel que permite caracterizar la necesidad de su recuperación. Se determina el diseño del tanque y el agitador mecánico propuesto a partir del volumen de la arenilla y el licor amoniacal y estos son evaluados para las condiciones de trabajo de la mezcla a través del software ANSYS v12.1, en el que se determina la correcta selección del sistema propuesto para la instalación. Además se realiza un análisis económico obteniendo un coste de \$ 127969 para los componentes y la instalación del tanque mezclador.

Abstract

In the present work, the design of a mixer tank is made to be installed into the Ammoniac Recovery Production Basic Unit of the Company "Comandante Ernesto Che Guevara". It aims to recover the grit resulting from the cleaning of the stills of this plant. For this purpose, the physical properties of the basic nickel carbonate are established, which allows to characterize the need for its recovery. The design of the tank and the proposed mechanical agitator is determined from the volume of the grit and the ammonia liquor which are evaluated for the working conditions of the mixture through the software ANSYS v12.1, in which the correct selection of the proposed system for the installation is determined. An economic analysis is also carried out, obtaining a cost of \$ 127969 for the components and the installation of the mixing tank.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	5
Introducción.....	5
1.1. Flujo tecnológico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara	5
1.1.1. Flujo tecnológico de la Planta de Recuperación de Amoniacó	5
1.2. Reseña histórica de los agitadores mecánicos	6
1.2.1. Trabajo precedentes	7
1.3. Agitación en la industria	9
1.4. Tipos de agitadores	10
1.4.1. De hélices	11
1.4.2. De Paletas	12
1.4.3. Turbinas.....	13
1.5. Trayectorias del flujo en la agitación	13
1.5.1. Propiedades del fluido	14
1.6. Formas de evitar remolinos	15
1.6.1. Clasificación del recipiente de agitación	15
1.7. Soldadura de tanques de almacenamiento	18
1.7.1. Estructura y montaje de tanques de almacenamiento	18
1.7.2. Soldadura a tope	19
1.7.3. Procedimientos de la soldadura a tope.....	20
1.7.4. Aplicaciones de la soldadura a tope	21
1.8. ANSYS	21
1.8.1. Características del ANSYS	22
1.8.2. Desventajas de ANSYS	22
1.9. SolidWorks	23
1.10. Materiales.....	24
1.11. Conclusiones.....	25
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	26
Introducción.....	26
2.1. Técnicas experimentales.....	26

2.2. Diseño del tanque	26
2.2.1. Diseño funcional (según VAM Industry).....	27
2.2.2. Dimensionamiento (según VAM Industry).....	27
2.2.3. Cálculo del diámetro y la altura (según VAM Industry)	28
2.3. Diseño mecánico.....	29
2.3.1 Temperatura de diseño (según VAM Industry)	29
2.3.2. Presión de diseño (según VAM Industry).....	29
2.3.3. Espesor del cilindro (según VAM Industry)	30
2.4. Peso del tanque.	31
2.4.1. Peso del tanque vacío (según VAM Industry).....	31
2.4.2. Peso del tanque en operación (según VAM Industry).....	33
2.5. Metodología de cálculo para la propuesta de diseño del agitador.....	34
2.5.1. Diseño del agitador propuesto.....	34
2.5.2. Cálculo del diámetro del eje de transmisión del agitador (según VAM Industry).....	36
2.6. Cálculo de la potencia del agitador propuesto (según VAM Industry)	37
2.6.1. Selección del motor-reductor adecuado para el sistema de agitación propuesto (según VAM Industry)	38
2.7. Cálculo de los cimientos.....	39
2.8. Soldadura en tanques	40
2.9. Coste del tanque de mezcla (según VAM Industry)	42
2.10. Algoritmo para la simulación del agitador propuesto utilizando ANSYS.....	44
Conclusiones.....	44
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	45
Introducción.....	45
3.1. Resultado del análisis de las muestras	45
3.2. Análisis de los resultados del dimensionamiento funcional del tanque	47
3.3. Diseño mecánico del tanque	48
3.4. Resultados de los cálculos del diseño del agitador	50
3.5. Cálculo de la potencia del agitador	51
3.6. Resultado del cálculo de los cimientos.....	52
3.6. Soldadura del tanque	53
3.7. Resultados de la simulación por ANSYS.....	55

3.8. Mantenimiento propuesto	57
3.9. Valoración económica	59
3.10. Impacto medioambiental	60
Conclusiones.....	60
CONCLUSIONES GENERALES.....	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	66

INTRODUCCIÓN

Paralelo a la Revolución Energética y con el objetivo de desarrollar nuestro país en materia de energía, el estado ha venido desarrollando estrategias en aras de ahorrar electricidad y combustible, así como obtener mejoras considerables en la calidad del trabajo, tanto para los trabajadores como para los equipos y sistemas de trabajo. Para esto entre otras tareas se vienen introduciendo en el país nuevos equipos y tecnología de avanzada en la rama industrial, ya que en el año 2000 la industria del Níquel constituyó la primera fuente de exportación del país y se encuentra enfrascada en el proceso de ampliación de las capacidades instaladas y modernización de su tecnología.

El éxito de muchas operaciones industriales depende de la eficaz agitación y mezcla de fluidos. En la actualidad las industrias utilizan diversas formas para el proceso de agitación de minerales, pulpas, fluidos, entre otros compuestos que se producen a nivel mundial teniendo gran auge el proceso de agitación en este campo, debido a la capacidad que tienen los equipos de agitación o agitadores para la elaboración de las mezclas de los minerales o fluidos. A su vez, el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos productivos están ligados con las mejoras de los equipos de agitación y con un mejor conocimiento de su funcionamiento y explotación.

La agitación de pulpas es una de las operaciones más comunes de los procesos químicos y de industrias afines; es de importancia fundamental en la industria minera, petrolera, de alimentos, química, farmacéutica, de pulpa y papel por mencionar algunas. La agitación de pulpas se emplea con distintos fines, según el objetivo que se pretenda en la etapa del proceso.

Dentro de las empresas de Cuba que utilizan muy constantemente este proceso se encuentra la Empresa Productora de Níquel "Comandante Ernesto Che Guevara" la cual se encuentra ubicada en la región del municipio de Moa provincia Holguín. Esta industria se caracteriza por trabajar la minería como proceso fundamental.

El esquema tecnológico de la Empresa Productora de Níquel "Comandante Ernesto Che Guevara" está basado en el proceso de lixiviación carbonato-amoniaco del mineral reducido.

Esta tecnología reporta varias ventajas como:

- Es un proceso que se realiza en condiciones de presión atmosférica.
- El equipo tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los aparatos conocidos (hornos solares múltiples, espesadores, columnas de destilación entre otros).
- El esquema amoniaco permite la elaboración de las mezclas de los minerales lateríticos y serpentínicos, mientras que el esquema de lixiviación con ácido sulfúrico permite solamente la elaboración de la fracción laterítica.

La principal deficiencia de este proceso es el bajo porcentaje de extracción del mineral: con un 70 a 76 % de níquel y un 25 a 35 % de cobalto.

La empresa cuenta con seis Unidades Básicas Productivas (UBP) principales una de ellas es la Unidad Básica Productiva Recuperación de Amoniaco, donde el licor producto entra en los tanques de destilación (119-120) y el licor destilado es llevado a los alambiques, durante el proceso realizado en estos se obtiene el carbonato básico de níquel que se adhiere a las paredes interiores de los mismos.

Cuando se les aplica mantenimiento a los alambiques, se obtiene como desecho el carbonato básico de níquel que contamina el ambiente de trabajo por su acumulación ya que solo es usado cuando no se cumple con la producción, ocasionando la elevación de los costos de producción debido que para su recolección y traslación a la planta de Calcinación y Sinter es necesario la implementación de un cargador, un montacargas, varios operarios y una rastra. Además de que esta arenilla contamina el producto final de la producción en la empresa.

Por lo que se plantea la instalación y diseño de un tanque con un sistema de agitación para mezclar la arenilla con una disolución amoniaco y poder reincorporarla a la línea productiva de la Unidad Básica de Producción Recuperación de Amoniaco.

Situación Problemática

Durante el proceso de destilación del licor producto que se lleva a cabo en la planta de Recuperación de Amoníaco, se crean incrustaciones en las diferentes partes de las torres de destilación. Estas incrustaciones están formadas, entre otros componentes por el carbonato básico de níquel, cuyo contenido sobrepasa el 30 % en la arenilla resultante de la limpieza de los alambiques. Existen diferentes variantes que minimizan la formación de estas incrustaciones, pero que al final de cada campaña de operación hay que retirarlas de las torres, pues provocan la disminución considerable de la capacidad de los mismos. El proceso de recuperación de la arenilla aplicado actualmente es muy costoso y debido al contenido de hierro presente en la misma se corre el riesgo de introducir serias afectaciones a la calidad del producto final. Es por ello que con la instalación de un tanque agitador para diluir la arenilla en una disolución amoniacal e incorporarla a los tanques 116 y 120 de licor producto a destilar es la mejor variante para la recuperación de todo el níquel contenido en la arenilla, sin introducir ni afectación alguna a la calidad del producto final

Problema

Necesidad de la instalación de un tanque con un sistema de agitación para diluir la arenilla en una solución amoniacal e incorporarla a los tanques 119 y 120 de licor producto a destilar, de la Unidad Básica Productiva de Recuperación de amoníaco, de la empresa Ernesto Guevara.

Hipótesis

Con la metodología de cálculo adecuada y una simulación mediante ANSYS se podrá diseñar y demostrar el correcto funcionamiento de un tanque agitador para recuperar el carbonato básico de níquel, diluyendo la arenilla en una disolución amoniacal e incorporarlo con un menor costo y a su vez eliminar el contenido de hierro presente en la misma que contamina el sinter de níquel más cobalto.

Objeto de estudio

Tanque agitador para el proceso de recuperación de amoníaco.

Campo de acción

Diseño de recipientes de paredes delgadas para el tratamiento del licor amoniacal.

Objetivo

Diseñar un tanque que contenga un sistema de agitación, en la Unidad Básica Productiva Recuperación de Amoniacal de la empresa Ernesto Che Guevara, para incorporar la arenilla al licor amoniacal y así recuperar el carbonato básico de níquel.

Objetivos específicos

1. Establecer las características del material a procesar a partir de las propiedades físico-mecánico como densidad, viscosidad y composición química.
2. Establecer el diseño del tanque agitador para la dilución de la arenilla en licor amoniacal.
3. Modelar y simular el diseño del tanque agitador propuesto mediante el software ANSYS.

Tareas de la investigación

1. Análisis de las referencias bibliográficas y los estudios precedentes de la temática de estudio.
2. Establecer las propiedades del material con que se va a diseñar el tanque agitador.
3. Realización de los cálculos mediante las metodologías de diseño para el tanque agitador.
4. Modelación y simulación del tanque agitador propuesto.
5. Selección del sistema de accionamiento para el agitador mecánico.
6. Valoración económica e impacto medioambiental.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Introducción

Los tanques agitadores son equipos que tienen una amplia gama de aplicaciones en las industrias, ya que el éxito de muchas operaciones industriales depende de la eficaz agitación y mezcla de fluidos. La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. A continuación, se realizará el análisis de los distintos aspectos relacionados con el tema expuesto en la bibliografía consultada, con la finalidad de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el correcto desarrollo del trabajo.

En el presente capítulo se establece como **objetivo:**

Realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte del objeto de estudio.

1.1. Flujo tecnológico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara

La tecnología que se lleva a cabo en las instalaciones industriales de dicha empresa es la de lixiviación carbonato amoniacal, según la cual el mineral oxidado de níquel es reducido selectivamente. Esta tecnología comienza con la extracción del mineral en las minas a cielo abierto de los yacimientos de níquel de Punta Gorda, incorporándose al flujo tecnológico, por la Planta de Secaderos y Molinos, a partir de este momento el material circula por las diferentes plantas de proceso entre las que se encuentran: la Planta de Hornos de Reducción, la Planta de Lixiviación y Lavado, la Planta de Recuperación de Amoniac y la Planta de Calcinación y Sínter, donde culmina la tecnología CARON con la obtención del sínter de níquel más cobalto.

1.1.1. Flujo tecnológico de la Planta de Recuperación de Amoniac

En la Planta de Recuperación de Amoniac el licor producto descobaltizado del rebose del sedimentador 234 es bombeado por las bombas BO 235 A y B con capacidad de $500 \text{ m}^3/h$, hacia los tanques de almacenaje TK 119 y 120 de la

sección de Recuperación de Amoniaco, este licor como continuación del proceso se somete a destilación.

El licor descobaltizado se recibe en los tanques 119 y 120 desde donde se bombea a las torres de destilación de licor producto; aquí se separa parte del NH_3 y CO_2 , formándose el precipitado de carbonato básico de Ni que es descargado de dichas torres a una presión aproximadamente igual a $0,8 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ o (78453,2 Pa), por lo que se envía a dos tanques depresurizadores, desprendiéndose parte del agua de la pulpa de carbonato en forma de vapor que pasa a través de las chimeneas de dichos tanques al sistema de separación de partículas. La pulpa depresurizada se bombea hasta los sedimentadores de la UBP Calcinación y Sínter.

1.2. Reseña histórica de los agitadores mecánicos

El primer agitador industrial fue usado hace unos cien años en una planta de fertilizantes, se trataba de una hélice marina. Más adelante se inventaron agitadores de forma muy diversa con geometría escogida a menudo, más por su estética que por su eficiencia.

Es solo a partir de los años 50 que se empezó a investigar las relaciones entre la herramienta de agitación y su resultado concerniente al grado de mezclado. Hoy en día se entienden las reglas fundamentales de funcionamiento y de desempeño de los agitadores industriales.

Sin embargo se siguen las investigaciones para comprender en detalles las transferencias de cantidad de movimiento, masa y calor producidas por los muy variados métodos de inducción de la agitación, a saber: rotación, vibración, bombeo, flujo restringido, chorro, burbujeo, ultrasonido. Las investigaciones se han realizado en dos direcciones principales; de un lado hacia la creación y desarrollo de nuevos sistemas y aparatos y del otro lado hacia la cuantificación de la calidad de la mezcla.

1.2.1. Trabajo precedentes

Suarez, V.; Trujillo (2011) diseña y construye un sistema de minirreactores con agitación continua en el laboratorio de química industrial de la ESPOCH, realiza cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del equipo, se realizan pruebas en tres fases: mezclas rápida a 300 r/min durante un minuto, luego se realiza la mezcla lenta a 40 r/min por 5 minutos y finalmente los minirreactores reposan por 20 minutos, el equipo funciona con un porcentaje de error del 2 % y recomienda la realización de prácticas para la tratabilidad de aguas residuales.

Wilkens (2003), desarrolla un programa de computación basado en un algoritmo que facilita el análisis de sistemas en escalado de agitadores, además aplica los principios de los fluidos que cumplen con la ley de potencia en los procesos de agitación.

Oshinowo – Bakker, (2002), realiza un estudio de los parámetros que gobiernan la velocidad de los agitadores del impulsor y la distribución de sólidos en el funcionamiento eficaz de los procesos hidrometalúrgicos y otros procesos que involucran las suspensiones de sólido-líquido. En este trabajo la distribución de sólidos en los tanques agitados bajo un rango de cargas de los sólidos (0.5 a 50%) se predijo usando la dinámica de fluidos computacionales (CFD) y validó contra datos experimentales obtenidos de la literatura. Las predicciones de CFD están en correspondencia con los datos de la literatura experimentales en la distribución de velocidad.

Ruiz, (2004), establece una metodología para determinar los requerimientos de potencia de un motor para la agitación de soluciones, partiendo del número de revoluciones del motor y del par que se opone a su signo.

Martínez, (2006), simula una turbina radial mediante el software FLUENT de ANSYS para el caso de una turbina Rushton, realiza una validación de los parámetros de funcionamiento de la turbina mediante una data experimental y los resultados obtenidos de la modelación y simulación de la turbina Rushton.

Martínez, (2006), basa su trabajo en la utilización de un código comercial de CFD (FLUENT) para la simulación del flujo generado por turbinas radiales dentro de recipientes de agitación. Como el propio título indica, el trabajo se centra especialmente en un tipo concreto de impulsor radial, la denominada turbina Rushton. Realiza una breve explicación de las ecuaciones matemáticas que gobiernan el comportamiento de los fluidos, así como la mención de algunos modelos, métodos y estrategias que FLUENT tiene implementados para predecir los efectos que produce la turbulencia. Realiza muchas simulaciones para determinar cómo se ven afectados algunos de los parámetros básicos de agitación (NP, NQ, etc.) cuando se varían parámetros geométricos, tanto de la misma turbina como del recipiente en el que se encuentra ésta. Además, se incluye un pequeño estudio de transferencia de calor para ver cuál es la relación que hay entre la conducción de calor que se produce cuando hay un gradiente de temperatura entre la pared del tanque y el fluido y la velocidad de agitación en régimen altamente turbulento. Resultando el código FLUENT interesante para el diseño en ingeniería, es una herramienta fácil de usar con la que se puede abordar un amplio número de problemas y que garantiza en general, buenos resultados.

Martin, (2007), realiza un estudio mediante un software comercial llamado FLUENT, sobre agitadores de flujo axial. El software empleado está basado en la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) que utiliza las ecuaciones de Navier-Stokes para simular los fenómenos fluido-dinámica mediante el cálculo por ordenador. Para el estudio escoge un sistema del cual se disponen de datos experimentales para poder comparar los resultados, así se seleccionó un recipiente cilíndrico agitado mediante una turbina de flujo axial estándar del tipo Pitched Blade Turbine Downflow (PBSD) de seis palas inclinadas 45° . Establece dos metodologías del cual dispone para simular sistemas con elementos móviles: Múltiple Reference Frame (MRF) y Sliding Mesh (SM), la primera es una metodología que está enfocada a escenarios estacionarios, mientras que la segunda lo está a escenarios transitorios. Aparte se realizó un análisis de

sensibilidad, donde se estudió la influencia de la densidad de los elementos de mallado, del tamaño del volumen móvil y del modelo de turbulencia.

1.3. Agitación en la industria

La agitación es una operación mecánica que consiste en realizar movimientos violentos e irregulares en el seno de una masa fluida o que se comporte como tal para obtener una mezcla homogénea, es decir, mantener la concentración constante en todas las partes de la masa. Mediante esta operación se consigue la introducción de energía en el volumen del fluido, o sea, que la energía cinética que posee el impelente se transfiere al fluido provocando su movimiento. Los impelentes utilizados con estos objetivos pueden ser clasificados por el flujo que inducen en el tanque agitado como impelentes de flujo axial y de flujo radial. Entre los impelentes de flujo radial el más utilizado industrialmente es la de turbina de disco con paletas planas, por lo que a pesar de haber sido ampliamente estudiado, continúa siendo objeto de investigación.

Los tanques agitados por su parte, han sido utilizados históricamente en la industria alimenticia, la química y la biotecnología, constituyendo el tipo de reactor utilizado por excelencia. Este hecho constituye la causa fundamental que en la actualidad se continúen las investigaciones básicas sobre la hidrodinámica en el tipo de reactor.

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Los objetivos de la agitación pueden ser:

- Mezcla de dos líquidos miscibles (alcohol y agua).
- Disolución de sólidos en líquido (azúcar y agua).
- Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento).
- Dispersión de un gas en un líquido (oxígeno en caldo de fermentación).
- Dispersión de partículas finas en un líquido.
- Dispersión de dos fases no miscibles (grasa en la leche).

Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, conectado a veces directamente al mismo, pero con mayor frecuencia a través de una caja de engranajes reductores. (Pérez, 2013)

El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, provocando la circulación del líquido por todo el recipiente y luego retorne al agitador.

1.4. Tipos de agitadores

El rodete o agitador suele estar unido a un eje cilíndrico formando un conjunto, que en general está situado concéntricamente con el recipiente. La excentricidad e inclinación del eje se pueden variar para lograr rendimientos mayores. En la figura 1.1 se pueden ver algunos tipos de agitadores que se utilizan en la industria.

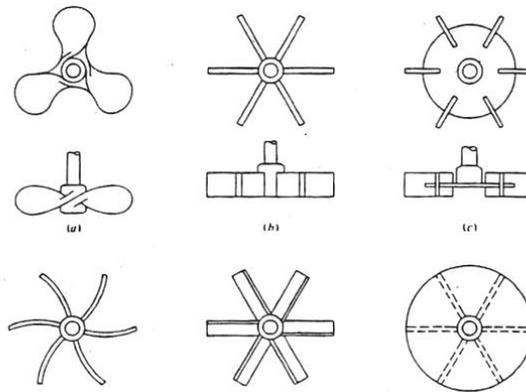


Figura 1.1. Algunos tipos de agitadores mecánicos. Fuente:(Taghavi, 2011).

De acuerdo con lo expresado por (McCabe, 1993), los agitadores se dividen en dos clases que están relacionados directamente con los patrones de flujo (representaciones en 2D de la distribución del flujo dentro del tanque, ver figura 1.2):

Los agitadores radiales y los axiales. Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor que se denominan impulsores de flujo axial y los que generan corrientes en dirección radial tangencial que se llaman impulsores de flujo radial.

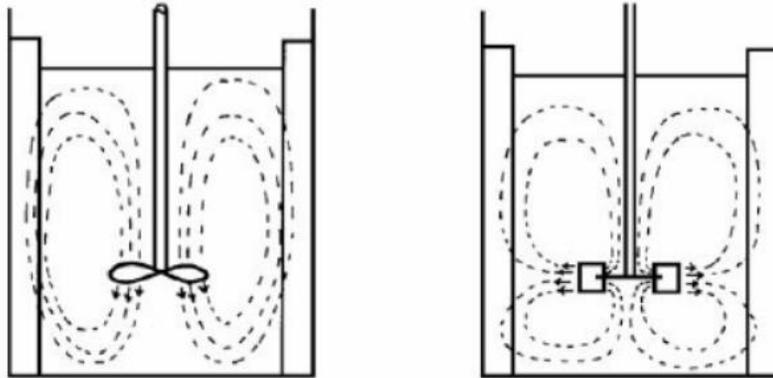


Figura 1.2. Izquierda: patrón de flujo generado por una turbina axial, derecha: patrón de flujo generado por una turbina radial. Fuente: (Taghavi, 2011).

1.4.1. De hélices

Una hélice es un rodete con flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, entre 1150 y 1750 r/min , las grandes giran entre 400 y 800 r/min . Las corrientes de flujo que salen del rodete continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del tanque. La columna, altamente turbulenta, de remolinos de líquido que abandona el rodete, arrastra al moverse líquido estancado, probablemente en mayor proporción que lo haría una columna equivalente procedente de una boquilla estacionaria. Las placas de un rodete cortan o cizallan vigorosamente el líquido.

Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélices son eficaces en tanques muy grandes. Una hélice giratoria traza una hélice en el fluido y si no hubiese deslizamiento entre el fluido y la hélice, una revolución completa provocaría el deslizamiento longitudinal del líquido una distancia fija, dependiendo del ángulo de inclinación de las palas de la hélice. La relación entre esta distancia y el diámetro de la hélice se conoce como paso de hélice. Una hélice con un paso de 1,0 se dice que tiene paso cuadrado.

Las más frecuentes son las hélices marinas de tres palas con paso cuadrado, para fines especiales se utilizan hélices de cuatro palas, ruedas dentadas y otros diseños. Las hélices raramente superan las 18 pulgadas de diámetro, con independencia del tamaño del tanque.

En tanques profundos pueden insertarse dos o más hélices sobre el mismo eje, generalmente dirigiendo el líquido en la misma dirección. A veces, dos hélices operan en direcciones opuestas, o en contrafase (push pull), con el fin de crear una zona de turbulencia especialmente elevada entre ellas.

1.4.2. De Paletas

Para los problemas más sencillos, un agitador eficaz, consta de rodete que gira sobre un eje vertical. Son frecuentes los agitadores de dos y cuatro palas. A veces las palas están inclinadas, pero lo más frecuente es que sean verticales. Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del tanque, impulsando el líquido radial y tangencialmente sin que haya prácticamente movimiento vertical excepto que las placas estén inclinadas.

Las corrientes que generan se desplazan hacia fuera hasta la pared del tanque y después hacia arriba o hacia abajo. En tanques profundos se instalan varias palas, unas sobre otras en un mismo eje. En algunos diseños las placas se adaptan a la forma de las paredes del tanque, de forma que rascan la superficie y pasan sobre ella con una muy pequeña holgura. Una pala de este tipo recibe el nombre de agitador de áncora. Las áncoras resultan útiles para prevenir que se depositen sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, tal como un tanque encamisado, pero en cambio son malos mezcladores. Casi siempre operan conjuntamente con un agitador de alta velocidad que generalmente gira en sentido contrario.

Los agitadores industriales de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 r/min . La longitud total de un rodete de palas está típicamente comprendido entre el 50 y el 80 % del diámetro interior del tanque. La anchura de la pala es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas los agitadores de palas generan una agitación muy suave en tanques sin placas deflectoras, las

cuales son necesarias para velocidades más elevadas, pues de lo contrario el líquido se desplaza en bloque alrededor del tanque con velocidad alta, pero con poca mezcla.

1.4.3. Turbinas

La mayoría de ellos recuerdan a los agitadores con numerosas palas cortas, que giran a altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el tanque. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado.

El diámetro del rodete es menor que el de las palas, variando entre el 30 y el 50 por ciento del diámetro del tanque. Las turbinas son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. En líquidos de baja viscosidad las turbinas generan fuertes corrientes que persisten en todo el tanque, destruyendo bolsas de fluido estancado. Cerca del rodete hay una zona de corrientes rápidas, elevada turbulencia e intensa cizalladura. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, que deben ser destruidos por placas deflectoras o por un anillo difusor para que la agitación sea eficaz.

1.5. Trayectorias del flujo en la agitación

Cualquiera que sea el tipo de impulsor seleccionando éste, debe crear condiciones turbulentas dentro de la corriente móvil del fluido. La velocidad de un líquido en un tanque agitado tiene 3 componentes:

- Uno radial que actúa en una dirección perpendicular al eje.
- Una longitud que actúa paralela al eje (y).
- Una rotacional que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.

Los dos primeros componentes generalmente contribuyen al mezclado pero el tercero puede no hacerlo. Cuando los impulsores-agitadores se montan verticalmente en el centro del tanque, casi siempre se desarrolla una trayectoria de flujo circular tipo remolino que desarrolla un vórtice (fig. 1.3) y que atrapa aire, lo cual es indeseable generalmente.

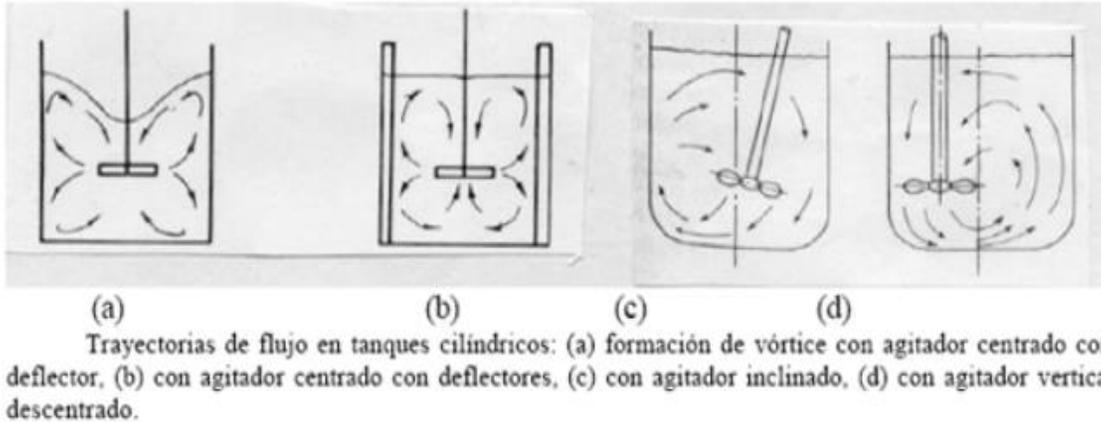


Figura 1.3. Trayectorias del flujo en la agitación. Fuente: (Perry, 2001).

Los vórtices causan un desbalance de fuerzas y limitan severamente el uso de las potencias suministradas. Una forma de romper éste vórtice es el de colocar al propulsor agitador en una posición angular (fig. 1.3.c) o desplazada de centro (fig. 1.3.d).

Otra manera es el emplear deflectores (fig. 1.3.b), que se montan en forma vertical en las paredes de los tanques, casi siempre son 4 y tienen una anchura de alrededor de $1/8$ del diámetro del tanque.

1.5.1. Propiedades del fluido

La rama de la mecánica que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento, se le llama "Mecánica de los Fluidos". En la estática de los fluidos, el peso específico es la propiedad importante, mientras que en el flujo de fluidos, la densidad y la viscosidad son las que predominan. Cuando tiene lugar una compresibilidad apreciable es necesario considerar los principios de la termodinámica. Al intervenir presiones manométricas negativas, la tensión de vapor adquiere importancia y la tensión superficial afecta a la estática o cinemática de los fluidos cuando las secciones de paso son pequeñas, según plantea (Torres, 2000).

Los fluidos son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca

resistencia a los cambios de forma. Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases, según Greene (1995). Los líquidos son prácticamente incompresibles, ocupan un volumen definido y tiene superficies libres, sin embargo los gases son compresibles, se expansionan hasta ocupar todas las partes del recipiente que los contenga.

1.6. Formas de evitar remolinos

- Colocando al agitador fuera del eje central del tanque.

En tanques pequeños se debe colocar el rodete separado del centro del tanque, de tal manera que el eje del agitador no coincida con el eje central del tanque. En tanques mayores el agitador puede montarse en forma lateral con el eje en un plano horizontal, pero no en la dirección del radio.

- Instalando placas deflectoras.

Estas son placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En tanques pequeños, es suficiente 4 placas deflectoras para evitar remolinos y formación de vórtice. El ancho de las placas no debe ser mayor de un doceavo del diámetro del tanque. Cuando se usan agitadores de hélice, el ancho de la placa puede ser de un octavo del diámetro de tanque. Si el eje del agitador está desplazado del centro o inclinado, no se necesitan placas deflectoras.

1.6.1. Clasificación del recipiente de agitación

- Recipientes sin deflectores.

Al agitar un líquido en un recipiente mediante un agitador posicionado axialmente, habrá una tendencia a que se desarrolle un flujo de remolino, independientemente del tipo de impulsor que se utilice. Al encontrarse el líquido en rotación, se produce un vórtice debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre el líquido que gira.

En caso de rotación rápida de los agitadores y fluidos de baja viscosidad, el vórtice puede alcanzar la cabeza del agitador con el resultado que el agitador arrastre aire en el líquido. Esto es generalmente indeseable porque resulta en esfuerzos extraordinariamente grandes sobre el eje del agitador, los apoyos y juntas, debido a la ausencia del soporte del líquido. Esto a menudo conduce a la destrucción del

agitador, incluso cuando la formación del vórtice no causa entrada de aire, la rotación del líquido es siempre indeseable cuando se refiere a un sistema de dos fases con diferentes densidades, ya que la fuerza centrífuga contrarresta el proceso de agitación. En la figura 1.4 puede verse el patrón usual de flujo en un recipiente sin deflectores.

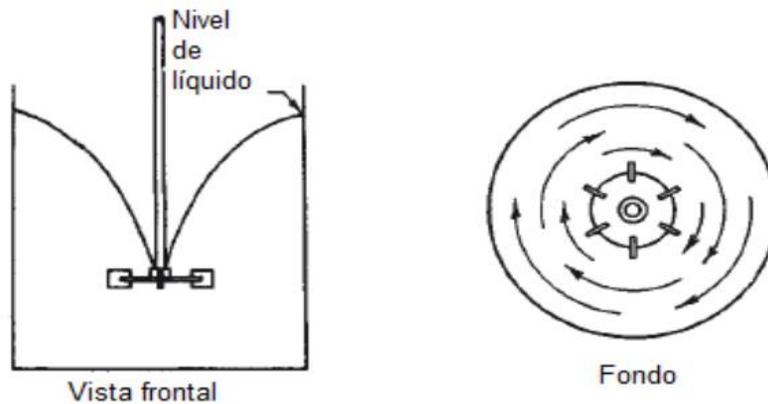


Figura 1.4. Patrón usual en un recipiente sin deflectores. Fuente:(Perry, 2001).

➤ Recipientes con deflectores.

La rotación del líquido en tanques cilíndricos se previene con la instalación de deflectores que son bandas planas verticales, situados radialmente y a lo largo de la pared del tanque. La llamada deflexión completa se realiza con cuatro deflectores.

➤ Deflectores

La diámetro habitual para los tabiques deflectores es de $DT/10$, donde DT es el diámetro del recipiente. Las zonas muertas en la dirección del flujo detrás de los deflectores se pueden evitar usando deflectores de $DT/12$ de ancho, estableciendo una separación con la pared del recipiente, con lo cual se logra también minimizar la acumulación de sólidos sobre ellos o bien en su parte posterior.

La utilización de tabiques deflectores da como resultado una gran circulación desde la parte superior al fondo del recipiente, sin que se formen vórtices ni se

ejerzan tensiones no balanceadas del flujo sobre el eje de impulsión, como se muestra en las figuras 1.5 y 1.6.

Los deflectores no son necesarios si la agitación se lleva a cabo en recipientes de sección transversal rectangular o cuando el agitador se monta lateralmente en la pared del tanque. En caso de agitación débil, la rotación del líquido se puede prevenir instalando el agitador excéntricamente y/o en ángulo con respecto al eje del tanque.

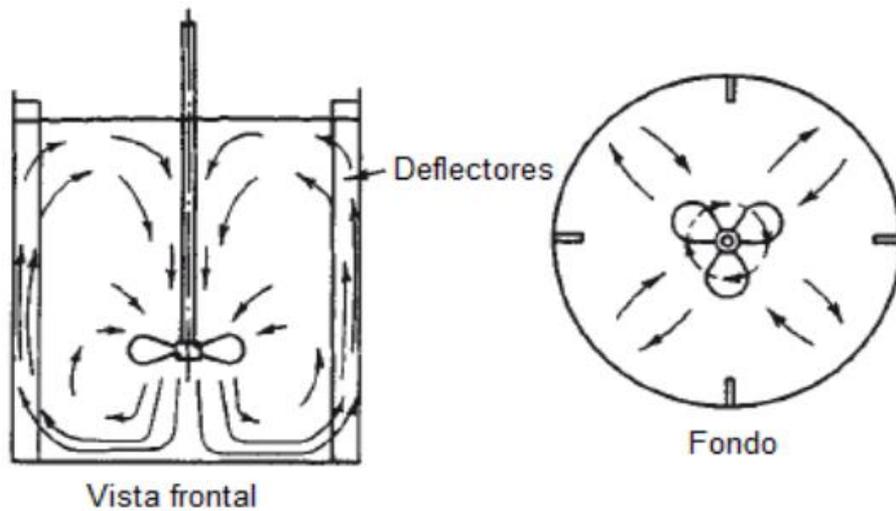


Figura 1.5. Patrón de flujo axial, recipiente con deflectores. Fuente: (Perry, 2001)

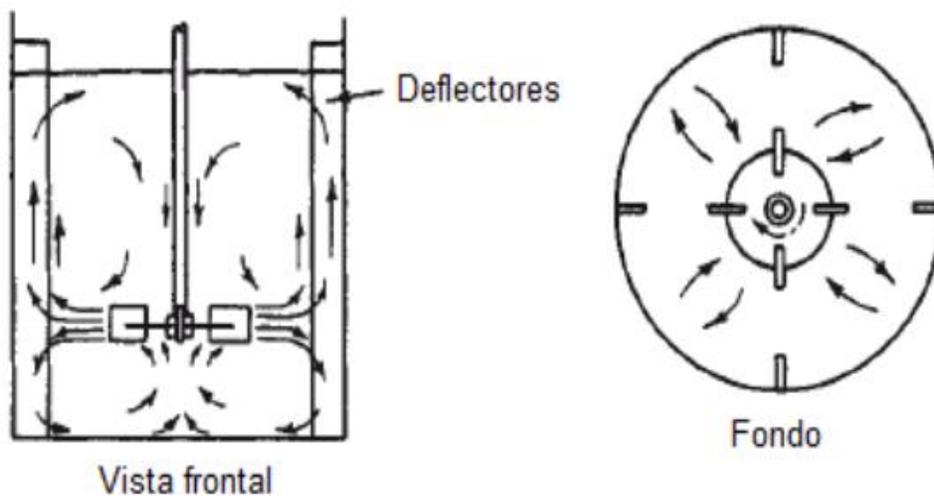


Figura 1.6. Patrón de flujo radial, recipiente con deflectores. Fuente: (Perry, 2001).

1.7. Soldadura de tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son grandes estructuras metálicas usadas principalmente por industrias petroleras, químicas, papeleras y alimenticias, que pueden tener diversas configuraciones, dependiendo de una serie de parámetros, como dimensiones, orientación, construcción y tipo de cuerpo o pared externa.

La búsqueda constante de eficiencia en el proceso de fabricación y la garantía de la calidad del producto que contienen ha impuesto la aplicación de normas estrictas que hoy rigen la construcción de tanques de almacenamiento, dictadas por dos entidades de alcance mundial: el Instituto Estadounidense del Petróleo y la Sociedad Estadounidense de Soldadura (respectivamente, API y AWS, por sus siglas en inglés).

1.7.1. Estructura y montaje de tanques de almacenamiento

Independientemente del diseño y uso previsto, todos los tanques tienen tres componentes principales: el fondo o piso, el cuerpo y el techo.

El cuerpo del tanque está formado por una serie de anillos soldados entre sí (conocidos como virolas) y dependiendo de la aplicación puede constar de una o dos paredes. Así, los cuerpos más comunes y usados son los de una sola pared, mientras que los de pared doble se emplean en aplicaciones en las que se requiere el almacenamiento a baja temperatura o alta presión.

Los tanques pueden construirse por encima o por debajo del nivel del suelo, su orientación puede ser vertical u horizontal y el techo puede adquirir diversas formas, por ejemplo, puede ser cónico, en forma de domo o de tipo flotante, todo en función de las necesidades y aplicaciones reales.

Los tres componentes de un tanque requieren la soldadura de las chapas de acero, ya sea entre fondo y cuerpo, entre cuerpo y techo, así como entre las propias chapas que conforman el fondo, el cuerpo o el techo. (American Welding Society)

La gran mayoría de los tanques horizontales se construye de dos maneras:

a) Tipo tradicional: de abajo hacia arriba, que consta de las siguientes etapas:

1. El fondo del tanque se monta sobre una base prefabricada armada con placas de acero que se sueldan entre sí.
2. Las virolas se montan mediante soldadura vertical, a partir de placas de acero de hasta 3 m de ancho.
3. La siguiente virola se suelda encima de la anterior mediante soldadura horizontal y el techo es lo último que se instala.

b) Tipo “jack-up”: de arriba hacia abajo, que consta de las siguientes etapas

1. Idéntica al tipo tradicional, es decir, el fondo del tanque se monta sobre una base prefabricada armada con placas de acero que se sueldan entre sí.
2. A lo largo del perímetro del fondo se instala un sistema de gatos hidráulicos.
3. Se arma el techo por separado y se eleva mediante una grúa. Paralelamente, la virola que irá unida al techo se suelda mediante soldadura vertical y se monta sobre los gatos hidráulicos. Se suelda el techo a la virola montada y el conjunto se eleva con los gatos hidráulicos.
4. Se arman las virolas siguientes, se van elevando con los gatos hidráulicos, se sueldan a las anteriores mediante soldadura horizontal y así sucesivamente hasta soldar la virola inferior al piso del tanque.

1.7.2. Soldadura a tope

Es una soldadura en la que las piezas a soldar se unen por sus extremos a tope, al presionarlas cuando se circula por ellas una corriente eléctrica se genera una temperatura, lográndose de esta manera la unión. Durante la soldadura a tope (fig. 1.7), las piezas a soldar se fijan en los sujetadores de cobre de la máquina de soldar. El sujetador 2 va fijado en el carro portaherramientas y puede desplazarse por las guías de la placa, al mismo tiempo el sujetador 1 se afirma a la placa inmóvil. El devanado secundario del transformador se conecta, con los sujetadores de la máquina de soldar, por medio de conductores flexibles; el devanado primario se conecta a la red de corriente alterna. El recalcado de las piezas calentadas se efectúa mediante un mecanismo especial desplazado por el carro portaherramientas.

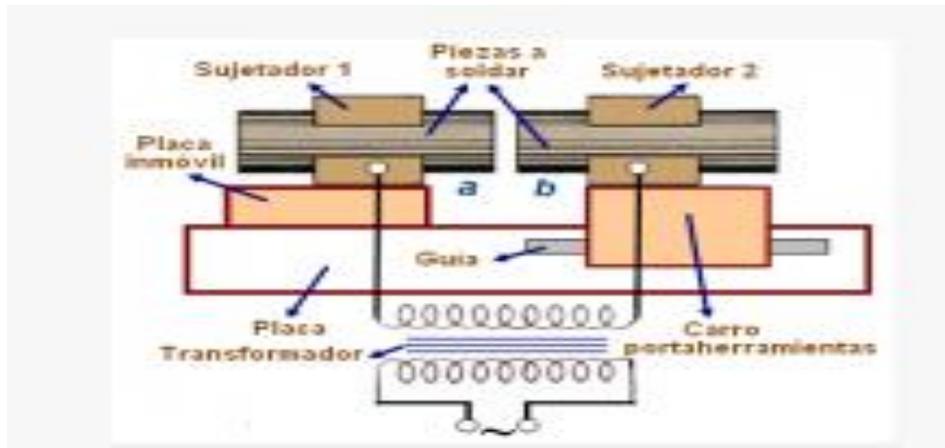


Figura 1.7. Esquema de la soldadura a tope. (EcuRed)

1.7.3. Procedimientos de la soldadura a tope

Se distinguen tres procedimientos de soldar a tope, soldadura por resistencia, soldadura por fusión y soldadura por fusión intermitente. (American Welding Society)

➤ Soldadura por resistencia

Para soldar por resistencia, las piezas fijadas en los sujetadores se oprimen estrechamente una contra otra y se conecta la corriente. Una vez calentados los cantos a soldar hasta un estado plástico, se interrumpe la corriente y se hace un recalado. La soldadura por resistencia se emplea para unir piezas de aceros pobres en carbono y de aleaciones no ferrosas, con una superficie de las zonas a unir igual a unos $1\ 000\ mm^2$.

➤ Soldadura por fusión

Para soldar por fusión, la corriente se conecta antes de unir las piezas. Una vez conseguida la holgura determinada entre las piezas, se origina un chisporroteo y se funden los bordes. Acto seguido, se corta la corriente y se efectúa el recalado, a una presión de $250\ a\ 500\ kg/m^2$, para obtener un empalme soldado. La soldadura por fusión se emplea para unir cadenas, carriles, tubos, herramientas, piezas estampadas de chapas y también materiales de distinta naturaleza, a saber: acero-cobre, acero-latón, aluminio-cobre, acero al carbono, entre otros. La

ventaja de este procedimiento de soldar consiste en su elevada productividad y en la alta calidad del empalme soldado; su desventaja consiste en las pérdidas de metal debido a la quemadura originada. La soldadura por fusión intermitente se efectúa alternando la presión durante el contacto de las caras a soldar. Al calentarse las caras hasta la temperatura determinada, la descarga eléctrica provoca la fusión de los bordes. Una vez conseguida la fusión de la zona requerida, se aprietan enérgicamente las caras a soldar.

➤ Soldadura por fusión intermitente

La soldadura por fusión intermitente se recomienda en los casos en que la potencia de la máquina no es suficiente para soldar por fusión continua. La potencia de las máquinas de soldar a tope se calcula partiendo de 6 a 15 kW/cm^2 de sección a soldar. Al soldar las piezas con contornos cerrados la potencia ha de ser duplicada.

1.7.4. Aplicaciones de la soldadura a tope

La soldadura a tope es la usada comúnmente para la unión de alambres y tubos, muy utilizada en la fabricación de cestas, rejas, mallas, cadenas, en la actualidad se utiliza este tipo de soldadura en la unión de tubos de polietileno.

1.8. ANSYS

Este programa se desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real. ANSYS continuamente desarrolla tecnología enfocada en la simulación y a través del tiempo han adquirido otros software para ofrecer un paquete de aplicaciones que pueden ser unificadas para los problemas más complejos. Además presta soporte a la industria. Es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están provistos de una interfaz

gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Normalmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado también en ingeniería civil, eléctrica, física y química,(Orrego, 2009).

1.8.1. Características del ANSYS

Integrado

Permite la asociación de distintas tecnologías para el desarrollo de un producto sin abandonar una única plataforma. Además su integración permite la asociación con los software más avanzados de CAD. Por último, su sistema de integración permite incluirse sin dificultad en sistemas de documentación propios de cada empresa. (Orrego, 2009).

Modular

ANSYS permite que los clientes instalen una única aplicación para la solución de un problema específico. A medida que el usuario avanza en la solución, este puede necesitar análisis más complejos, hasta llegar al proceso de validación. Los distintos módulos de ANSYS permiten solucionar los problemas por partes(Orrego, 2009).

1.8.2. Desventajas de ANSYS

- La mayoría de los errores y desventajas de ANSYS, más que basarse en el programa mismo, se basan en el elemento finito utilizado por el programa para realizar los análisis.
- La solución otorgada por el programa es una compleja mezcla de cálculos discretos. Y los esfuerzos, temperaturas y otras propiedades representan parámetros continuos. Dicho esto, los resultados arrojados por ANSYS son aproximaciones que dependerán del número de elementos utilizados.

- La geometría del objeto que se deseé analizar, puede generar errores en la solución debido a que si el mallado realizado no mantiene ciertos parámetros en rango predeterminados como son los ángulos de las aristas, así como las relaciones de tamaño en las aristas, el método puede fallar en un punto lo cual afecta la convergencia del sistema.
- La densidad de elementos utilizados se debe ingresar de manera manual. Es decir el usuario debe hacer corridas de ANSYS aumentando consecutivamente la cantidad de elementos utilizados hasta conseguir una convergencia que varíe menos que el criterio de parada utilizado. Esto genera gran costo computacional y de tiempo por parte del usuario.
- Debido a la utilización de un rango discreto en cuanto a las propiedades de la materia, se debe aumentar la cantidad de puntos en el mallado del objeto en los puntos en que el gradiente de la propiedad analizada sea muy grande para obtener resultados más precisos.
- El tipo de elemento, así como algunas propiedades son ingresadas de forma manual por el usuario. Lo cual genera errores de tipo humano en la utilización de ANSYS, que en ocasiones el programa no muestra una alerta sobre los rangos normalmente utilizados.

1.9. SolidWorks

Las principales características que hacen de SolidWork una herramienta versátil, es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico —principal diferencia con respecto a otros programas— de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el gestor de diseño (FeatureManager) que facilita la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en sus documentos asociados. Este software está conformado por tres módulos: pieza, ensamblaje y dibujo.

Otras características:

- SolidWorks es un sistema conducido por cotas. Se puede especificar las cotas y las relaciones geométricas entre elementos. Al cambiar las cotas, cambian el tamaño y la forma de la pieza, sin por ello alterar la intención del diseño.

- Un modelo 3D de SolidWorks consta de piezas, ensamblajes y dibujos. Las piezas, los ensamblajes y los dibujos muestran el mismo modelo en documentos distintos. Los cambios que se efectúen en el modelo de un documento se propagan a los otros documentos que contienen dicho modelo.
- El usuario crea los croquis y los utiliza para construir la mayoría de las operaciones. Un croquis es un perfil o sección transversal 2D. Los croquis se pueden extruir, recubrir, se les puede aplicar una revolución o barrer a lo largo de un trayecto para crear operaciones.
- El software SolidWorks no exige la acotación de los croquis antes de utilizarlos para crear operaciones. Al agregar las cotas a un croquis, el estado del croquis se visualizará en la barra de estado. Un croquis de SolidWorks puede encontrarse en tres estados. Cada estado viene indicado por un color distinto.
- Es posible visualizar u ocultar todas las cotas de todas las operaciones de la pieza. Asimismo, se puede activar y desactivar la visualización de las cotas, ya sea individualmente o de operación en operación.
- Puede utilizarse Microsoft Excel para incrustar una tabla de diseño directamente en el documento de pieza. Una tabla de diseño permite construir varias configuraciones distintas de una pieza aplicando los valores de la tabla a las cotas de la pieza.

1.10. Materiales

Acero inoxidable A 316L:

Según la definición de la Norma Europea EN 10088-1, los aceros inoxidables deben tener un contenido mínimo de cromo del 1,05 % y un máximo del 1,2 % de carbono.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables puede mejorarse con la adición de otros elementos de aleación como níquel, molibdeno, nitrógeno y titanio (o niobio). Esto proporciona una gama de aceros inoxidables resistentes a la corrosión para un amplio espectro de condiciones de trabajo y, además, potencia otras propiedades útiles como son la conformabilidad, la fuerza y la resistencia térmica (al fuego).

AISI 316L: Posee el mismo rango de aplicación que el AISI 304, pero por la incorporación de Molibdeno en su estructura, su resistencia a la corrosión es superior al AISI 430 y al AISI 304 lo que permite emplearlo en medios más agresivos, como ácidos y atmósfera salina. Se utiliza para adornos arquitectónicos, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, laboratorios, etc.

Aplicaciones: El acero inoxidable tipo 304 es uno de los grados más comúnmente utilizados. Ambos aceros inoxidables 304 y 316L se utilizan en la industria de alimentos y bebidas. Los silos, las cubas, los tanques de queso y de frutas y los tanques de vino a menudo son hechos ya sea de acero inoxidable 304 o 316L. El acero inoxidable tipo 316 se utiliza a menudo en aplicaciones marinas como los accesorios de un barco. Este tipo de acero inoxidable también fue empleado para revestir el exterior de las Torres Petronas en Malasia y la torre Jin Mao en China.

Carbonato básico de níquel.

El carbonato de níquel es un sólido cristalino de color verde e inodoro. Este compuesto abunda en la naturaleza, se puede encontrar como componente principal de todas las formulaciones de piedras. Se utiliza para la fabricación de otros compuestos de níquel, vidrio coloreado, en aparatos eléctricos y también se utiliza en el tratamiento de aguas residuales. Es altamente soluble en ácidos minerales y orgánicos.

1.11. Conclusiones

- La revisión bibliográfica realizada, muestra que es amplio el estudio de los agitadores mecánicos y se demuestra la importancia del uso de simulaciones en el proceso de agitación.
- Se presentaron los principales criterios teóricos de las investigaciones consultadas que tratan aspectos relacionados con el tema.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Introducción

En el desarrollo de la metodología de cálculo para el diseño del tanque agitador es necesario tener en cuenta varios parámetros, tales como las características mecánicas y composición química de los fluidos a mezclar, además de los materiales utilizados en dicho proceso. Los procedimientos desarrollados en este capítulo van encaminados a lograr establecer los pasos adecuados para lograr una correcta metodología de cálculo y pasos a seguir en el software ANSYS para lograr la materialización del sistema.

Objetivo del capítulo

Establecer las técnicas experimentales y ecuaciones para el cálculo, diseño y simulación del tanque agitador mecánico.

2.1. Técnicas experimentales

Las técnicas experimentales son de trascendental importancia para el estudio de cualquier tipo de material que se desee agitar o mezclar, al aplicarlas nos muestran gran información, pues a través de ellas podemos conocer cuál es la composición química, densidad y otros parámetros.

Para poder realizar una descripción inicial de este pequeño proceso fue necesario llevar a cabo un análisis de las propiedades químicas y mecánicas fundamentales presentes en el carbonato básico de níquel y el licor amoniacal

2.2. Diseño del tanque

A continuación se disponen las consideraciones y los detalles de los cálculos realizados para el dimensionamiento del tanque. En este caso se sigue el código ASME (American Society of Mechanical Engineers), ya que se considera tanque a presión un recipiente diseñado para soportar una presión interna manométrica superior a 0,5 *bar*.

2.2.1. Diseño funcional (según VAM Industry)

Se necesita un tanque mezclador con capacidad para homogenizar 12 m^3 de licor amoniacal y 1120 kg de carbonato básico de níquel, estos productos pueden llegar a tener una temperatura de 80°C . El tiempo de mezcla puede ser de 10 h . A partir de este valor se puede calcular el volumen de mezcla en el tanque según la siguiente expresión:

$$V_{mezcla} = V_l + \frac{m_a}{\rho_a} \quad 2.1$$

Donde:

V_{mezcla} : Volumen de la mezcla ($\text{m}^3/\text{día}$)

V_l : Volumen del licor amoniacal (m^3)

m_a : Masa de la arenilla ($\text{kg}/\text{día}$).

ρ_a : densidad de la arenilla (kg/m^3).

A partir de la siguiente ecuación 2.2, se calcula el volumen mínimo del tanque teniendo en cuenta el espacio que se ha de dejar como medida de seguridad.

$$V_{tanque,mín} = \frac{V_{mezcla}}{(1-0.20)} \quad 2.2$$

Donde:

$V_{tanque,mín}$: Volumen mínimo del tanque (m^3).

V_{mezcla} : Volumen de la mezcla en el tanque (m^3).

2.2.2. Dimensionamiento (según VAM Industry)

Obtenido el valor mínimo del volumen del tanque se determinan las dimensiones del mismo. Este dimensionado será de la parte cilíndrica del tanque teniendo en cuenta la siguiente ecuación y relación entre altura y diámetro.

$$V_{tanque} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \quad 2.3$$

Donde:

V_{tanque} : Volumen del tanque.

D : Diámetro del tanque.

H : Altura del tanque.

Relación entre altura (H) y diámetro (D) del tanque $\frac{H}{D} = 1.5$.

2.2.3. Cálculo del diámetro y la altura (según VAM Industry)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{tanque}}{2 \cdot \pi}} \quad 2.4$$

Donde:

D : Diámetro del tanque.

V_{tanque} : Volumen del tanque.

A partir de la relación anterior, se obtiene la altura del tanque $H = 2 \cdot D$.

Seguidamente, se calcula el porcentaje de ocupación de la mezcla en el tanque de la siguiente manera:

$$\text{Volumen ocupado} = \frac{\frac{V_{mezcla}}{N.tanques}}{V_{tanque,real}} \cdot 100 \quad 2.5$$

Donde:

Volumen ocupado: Porcentaje de ocupación de la mezcla en el tanque.

V_{mezcla} : Volumen de la mezcla (m^3).

$N.tanques$: Número de tanques.

$V_{tanque,real}$: Volumen real del tanque (m^3).

2.3. Diseño mecánico

A continuación se procede con el diseño mecánico del tanque de mezcla el cual se hará según la normativa ASME, además de las dimensiones obtenidas anteriormente en cuanto al cuerpo cilíndrico del tanque se refiere.

Para determinar el material adecuado para el diseño del tanque se ha de tener en cuenta las propiedades del fluido. El licor amoniacal es un compuesto que produce corrosión, por lo tanto, será necesario que el material sea resistente.

Seguidamente es importante conocer la presión y temperatura de diseño.

2.3.1 Temperatura de diseño (según VAM Industry)

La temperatura de diseño se establece a 20°C por encima de la temperatura de operación del tanque.

$$T_{diseño} = T_{operacional} + 20^{\circ}C \quad 2.6$$

Donde:

$T_{diseño}$: Temperatura de diseño ($^{\circ}C$).

$T_{operacional}$: Temperatura de operación del tanque ($^{\circ}C$).

2.3.2. Presión de diseño (según VAM Industry)

Antes de calcular la presión de diseño, se ha de determinar la presión de carga hidrostática que ejerce el líquido para asegurar que la mezcla se mantenga licuada. Una vez obtenido el valor se le suma a la presión de operación, a partir de la cual se harán los cálculos de la presión de diseño.

$$P_{carga\ hidrostática} = g \cdot \rho \cdot h \quad 2.7$$

Donde:

$P_{carga\ hidrostática}$: Presión de carga hidrostática de la mezcla (bar).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

ρ : Densidad de la mezcla (kg/m^3).

$$h: \text{Altura que alcanza el fluido (m)}. h = \frac{4 \cdot V_{\text{fluido}}}{\pi \cdot D^2}$$

Teniendo en cuenta que la presión inicial de operación es de 1 bar se le suma la presión de carga hidrostática.

$$P_{\text{diseño}} = P_{\text{operacional}} + 1\text{bar} \quad 2.8$$

Donde:

$P_{\text{diseño}}$: Presión de diseño (Pa).

$P_{\text{operacional}}$: Presión operacional (Pa).

2.3.3. Espesor del cilindro (según VAM Industry)

Se procede para calcular el espesor del cilindro siguiendo el código ASME, a partir de la ecuación de la figura siguiente.

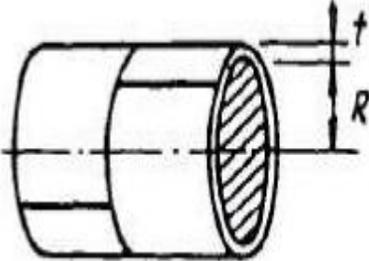
	CYLINDRICAL SHELL (LONG SEAM)¹	
	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$
	<p>1. Usually the stress in the long seam is governing. See preceding page.</p> <p>2. When the wall thickness exceeds one half of the inside radius or P exceeds 0.385 SE, the formulas given in the Code UA 2 shall be applied.</p>	

Figura 2.1 Espesor para el cilindro según ASME.

Se utiliza la ecuación 2.9 para el cálculo del espesor del cuerpo cilíndrico:

$$t_c = \frac{P_c \cdot R_{int,c}}{S \cdot E - 0.6 \cdot P_c} + C.A. \quad 2.9$$

Donde:

t_c : Espesor del cilindro (mm).

P_c : Presión interna del cilindro (atm).

$R_{int,c}$: Radio interno del cilindro (mm).

S : Esfuerzo del material (atm).

E : Factor de soldadura (0.85).

$C.A.$: Tolerancia de corrosión ($2\ mm$).

Una vez conocido el espesor que se usará para el diseño del equipo, se determina el diámetro externo del tanque comprobando que se corresponde con el diámetro externo de la base con la ecuación 2.10.

$$D_{ext,tanque} = D_{tanque} + 2 \cdot t_c \quad 2.10$$

Donde:

$D_{ext,tanque}$: Diámetro externo del tanque (m).

D_{tanque} : Diámetro interno del tanque (m).

t_c : Espesor del cilindro (m).

2.4. Peso del tanque.

Para determinar el peso del tanque se calculará el peso de las paredes del mismo y luego se le multiplicará la densidad del fluido para hallar peso de operación.

2.4.1. Peso del tanque vacío (según VAM Industry)

Se ha de conocer el volumen de las paredes del tanque para poder calcular el peso en vacío. Por eso, primero se calcula el volumen de la base de la siguiente manera:

$$V_b = \pi \cdot \frac{D_{i,t}^2}{4} \cdot H \quad 2.11$$

Donde:

V_b : Volumen de la base (m^3).

$D_{i,t}$: Diámetro interno del tanque (m).

H : Altura de la base del tanque (m).

➤ Cálculo del volumen interno del cilindro:

$$V_{int,c} = \pi \cdot \frac{D_{tanque}^2}{4} \cdot H \quad 2.12$$

Donde:

$V_{int,c}$: Volumen interior del cilindro (m^3).

D_{tanque} : Diámetro interno del tanque (m).

H : Altura del cilindro (m).

➤ Se calcula el volumen externo del cilindro:

$$V_{ext,c} = \pi \cdot \frac{D_{ext,tanque}^2}{4} \cdot H \quad 2.13$$

Donde:

- $V_{ext,c}$: Volumen exterior del cilindro (m^3).

- $D_{ext,tanque}$: Diámetro externo del tanque (m).

- H : Altura del cilindro (m).

La diferencia entre estos dos volúmenes es el volumen de la pared del cilindro:

$$V_{pared,cil} = V_{ext,cil} - V_{int,cil} \quad 2.14$$

Donde:

$V_{pared,cil}$: Volumen de la pared del cilindro (m^3).

$V_{ext,cil}$: Volumen exterior del cilindro (m^3).

$V_{int,cil}$: Volumen interior del cilindro (m^3).

A continuación se calcula el volumen de la pared del equipo, mediante la siguiente expresión:

$$V_{pared,tanque} = V_{pared,cil} + V_b \quad 2.15$$

Donde:

$V_{pared,tanque}$: Volumen de la pared del tanque (m^3)

$V_{pared,cil}$: Volumen pared del cilindro (m^3)

V_b : Volumen de la base (m^3)

Se obtiene el peso del tanque en vacío a partir de la densidad del acero inoxidable AISI 316L que es $7960 \text{ kg}/m^3$, de la siguiente manera:

$$M_{tanque,vacío} = 1.1 \cdot V_{pared,tanque} \cdot \rho_{acero,inox} \quad 2.16$$

Donde:

$M_{tanque,vacío}$: Peso del equipo vacío (kg).

$V_{pared,tanque}$: Volumen de la pared del tanque (m^3).

$\rho_{acero,inox}$: Densidad del acero inoxidable AISI 316L (kg/m^3).

2.4.2. Peso del tanque en operación (según VAM Industry)

Se procede a calcular el peso del tanque en operación, teniendo en cuenta la densidad del fluido y el volumen del tanque.

$$M_{tanque,en,op} = M_{tanque,vacío} + V_{tanque} \cdot \rho_{mezcla} \quad 2.17$$

Donde:

$M_{tanque,en,op}$: Peso del equipo en operación (kg).

$M_{tanque,vacío}$: Masa total del tanque vacío (kg).

V_{tanque} : Volumen del tanque (m^3).

ρ_{mezcla} : Densidad de la mezcla (kg/m^3).

2.5. Metodología de cálculo para la propuesta de diseño del agitador

A raíz de las características del tanque, se propone el diseño de un agitador que cumpla con todos los objetivos planteados, así como su metodología de cálculo. Norma DIN 28131. Suarez (2011).

2.5.1. Diseño del agitador propuesto

Agitación

Debido a que se trata de un tanque de mezcla donde su contenido es mayormente líquido, se instala un sistema de agitación para mantener el contenido homogeneizado.

Los principales tipos de agitadores que se usan en la industria son el de hélice, de paletas y de turbina mostrados en la siguiente figura.

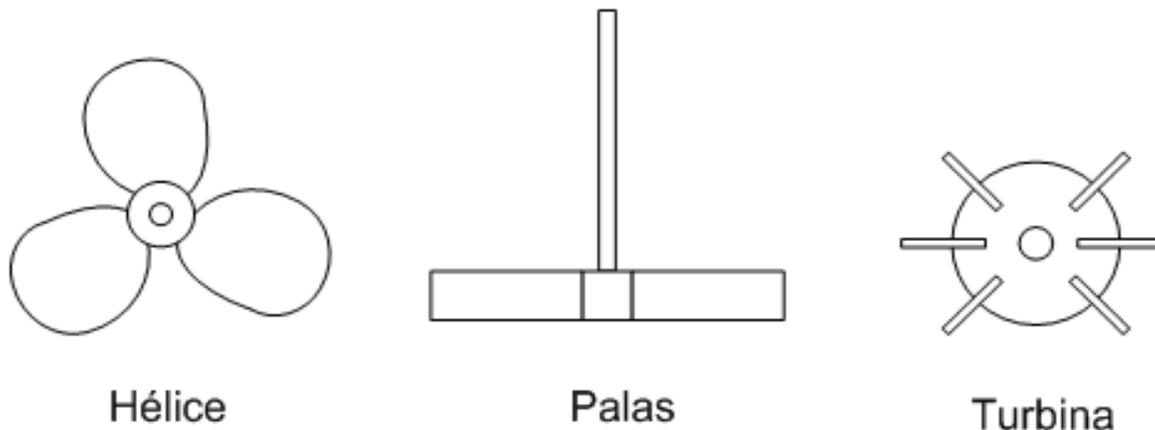


Figura 2.2 Tipos de agitadores según la norma DIN 28131.

Una vez escogido el tipo de agitador se calculan sus dimensiones teniendo en cuenta las relaciones geométricas de la siguiente figura:

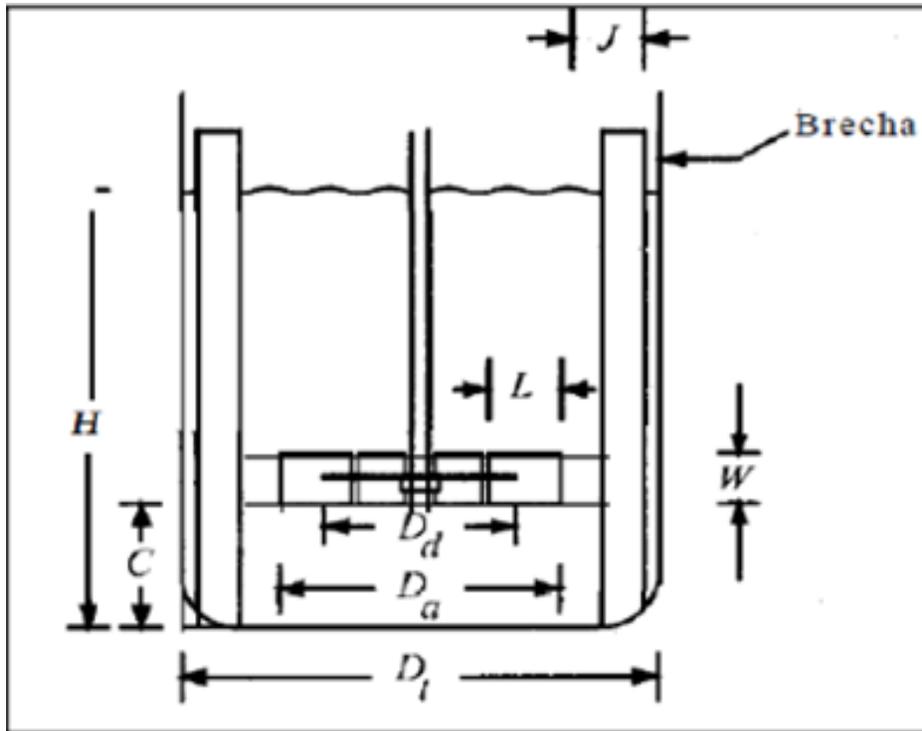


Figura 2.3 Agitador de turbina de palas según la norma DIN 28131.

Teniendo en cuenta que:

$$D_a = (0.2 - 0.5) \cdot D_t \quad 2.18$$

$$H_t = (0.5 - 1) \cdot D_t \quad 2.19$$

$$C = (0.17 - 0.34) \cdot D_t \quad 2.20$$

$$W = 0.177 \cdot D_a \quad 2.21$$

$$L = 0.177 \cdot D_a \quad 2.22$$

$$D_d = 0.66 \cdot D_a \quad 2.23$$

$$E_r = 0.1 \cdot L \quad 2.24$$

$$J = 0.0833 \cdot D_t \quad 2.25$$

Donde:

D_a : Diámetro del agitador (m)

D_t : Diámetro del tanque (m)

H_t : Altura de trabajo (m)

C : Altura del agitador (m)

W : Ancho de la paleta (m)

L : Longitud de la pala (m)

D_d : Diámetro del disco (m)

J : Ancho de los deflectores (m)

E_r : Espesor del rodete (m)

F : Distancia entre la pared y el deflector (m).

2.5.2. Cálculo del diámetro del eje de transmisión del agitador (según VAM Industry)

Se utilizó la ecuación para el diámetro de un eje sometido a torque constante y flexión completamente reversible (Norton, 2013).

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_f} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad 2.27$$

En este caso, no existen fuerzas transversales aplicadas que causen flexión, por lo tanto $Ma = 0$, y la ecuación 2.27 se reduce a:

$$d = \left[\frac{16\sqrt{3N_f}}{\pi} \left(\frac{T_m}{S_y} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad 2.28$$

Donde:

N_f : Factor de seguridad

P : Potencia consumida por el agitador (W)

ω : Velocidad angular (rad/s)

T_m : Torque medio (Nm)

S_y : Resistencia a la fluencia del material (Pa)

2.6. Cálculo de la potencia del agitador propuesto (según VAM Industry)

El número de Reynolds representa una medida de la magnitud relativa de los esfuerzos inerciales con respecto a los esfuerzos viscosos. Si los esfuerzos inerciales dominan respecto a los esfuerzos viscosos se dice que el flujo no puede ser laminar. La pérdida de laminaridad se le denomina simplemente turbulencia. La bibliografía no suele coincidir exactamente en el valor de los límites que separan cada uno de estos regímenes, así que a groso modo se expone una clasificación aproximada que es válida para flujos creados por el funcionamiento de turbinas dentro de depósitos:

- Régimen laminar: $Re \leq 100$
- Régimen transitorio: $100 < Re \leq 10000$
- Régimen turbulento: $Re > 10000$

Por lo tanto el número de Reynolds se define como:

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \quad 2.29$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

D_a : Diámetro del agitador (m)

N : Revoluciones por minutos (rpm)

ρ : Densidad (kg/m^3)

μ : Viscosidad ($Pa \cdot s$)

La potencia es un número adimensional que indica en cierta forma la potencia que utiliza el agitador y permite comparar este valor con los de otros tipos de agitadores.

$$P = K_T \cdot N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho \quad 2.30$$

Es necesario tener el valor de K_T , esta se busca en tabla de acuerdo al tipo de flujo con el que se esté trabajando (K_L -laminar y K_T -turbulento), el tipo de agitador empleado y el número de palas. (Ver en Anexo 1).

Para evitar un sobrecalentamiento del motor se debe trabajar con un factor de seguridad, que generalmente es decidido por el personal de diseño, el factor de seguridad del 30% indica un sistema completamente seguro, el 20% indica un sistema medianamente seguro y el 10% indica un sistema de protección bajo según Suarez, V.; Trujillo (2011).

Entonces se tiene la siguiente ecuación:

$$P_c = (r_s \cdot P) + P \quad 2.31$$

Donde:

P_c : Potencia corregida

r_s : Factor de seguridad

2.6.1. Selección del motor-reductor adecuado para el sistema de agitación propuesto (según VAM Industry)

Para la selección del motor-reductor de velocidad adecuado en el sistema de agitación donde se está trabajando se debe tener en cuenta varios parámetros de trabajo (la potencia, número de revoluciones, tamaño, relación de transmisión, condiciones ambientales, rendimiento, características de la carga, máquina de trabajo) si cumple con la potencia, entonces pasaremos a la selección. (Ver en Anexo 1).

Selección a través de la potencia:

$$N_r \geq k \cdot N_{rab} \cdot F_s \quad 2.32$$

Donde:

k : Factor de seguridad incrementado por la carga de 10 – 25 % de la potencia de trabajo varia de (1,1 - 1,25).

F_s : Factor de trabajo (depende de las horas de trabajo) varia de (1,25 - 1,50) para ocho horas de trabajo según (Reshetov).

N_{trab} : Potencia de trabajo.

2.7. Cálculo de los cimientos

La instalación de las máquinas y sistemas de tuberías, de manera adecuada, en los cimientos es uno de los elementos que asegura la capacidad de trabajo y garantiza la explotación, sin dificultades, de los mismos y de esa forma alcanzar el período de servicio fijado por los fabricantes, en función del régimen de trabajo, garantizando las posibilidades de operación, mantenimiento y reparación

Clasificación de los cimientos por su composición.

- Hormigón: compuesto por 1 parte de cemento, 2 de arena y 3 de piedra de 20 a 30 mm
- Hormigón ciclópeo: similar composición pero en el proceso de fundición se le añaden piedras de 40 a 300 mm.
- Hormigón armado: ídem al 1 pero se le añade una estructura de acero.
- De ladrillos.
- Metálicos.

Peso del cimiento.

$$G_c = K_c \cdot G_{trab} \quad 2.33$$

Donde:

G_c : Peso del cimiento

G_{trab} : Peso de la maquina encima del cimiento.

K_c : Coeficiente empírico que considera el tipo de carga (carga estática 0,6-1.5)

Altura del cimiento.

$$H_c = \frac{G_c}{A_c \cdot \gamma_c} \quad 2.34$$

Donde:

H_c : Altura del cimiento.

G_c : Peso de la máquina.

A_c : Área de la base de la maquina o estocada.

γ_c : Resistencia del terreno.

2.8. Soldadura en tanques

El estándar A.P.I. 650, se auxilia del Código A.S.M.E. sección IX para dar los alineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales. El Código A.S.M.E. sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado, el cual le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación de ésta. Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes y dureza, donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante.

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico sumergido, arco con gas inerte o electrodos recubiertos. Estos procesos pueden ser manuales o automáticos. En cualquiera de los dos casos, deberán tener penetración completa, eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura antes de aplicar sobre éste el siguiente cordón.

Las soldaduras típicas entre elementos, se muestran en las figuras 2.4; 2.5 y 2.6 La cara ancha de las juntas en "V" y en "U" podrá estar en el exterior o en el

interior del cuerpo del tanque dependiendo de la facilidad que se tenga para realizar el soldado de la misma. El tanque deberá ser diseñado de tal forma que todos los cordones de soldadura sean verticales, horizontales y paralelos, para el cuerpo y fondo.



Figura 2.4 Soldadura a tope en U, V y rectangular. Código ASME.

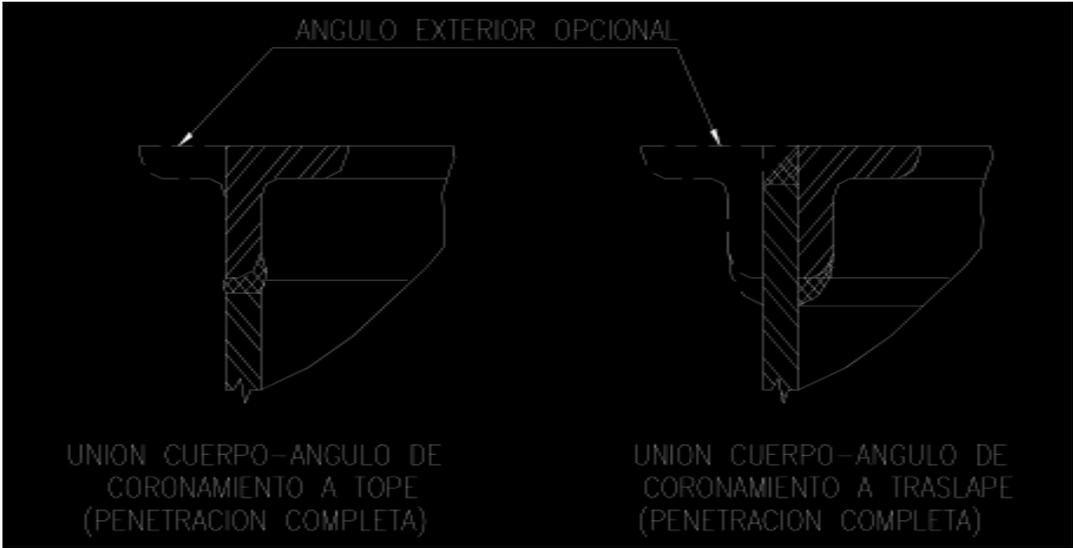


Figura 2.5 Unión cuerpo-ángulo de coronamiento a tope y a traslape. Código ASME.

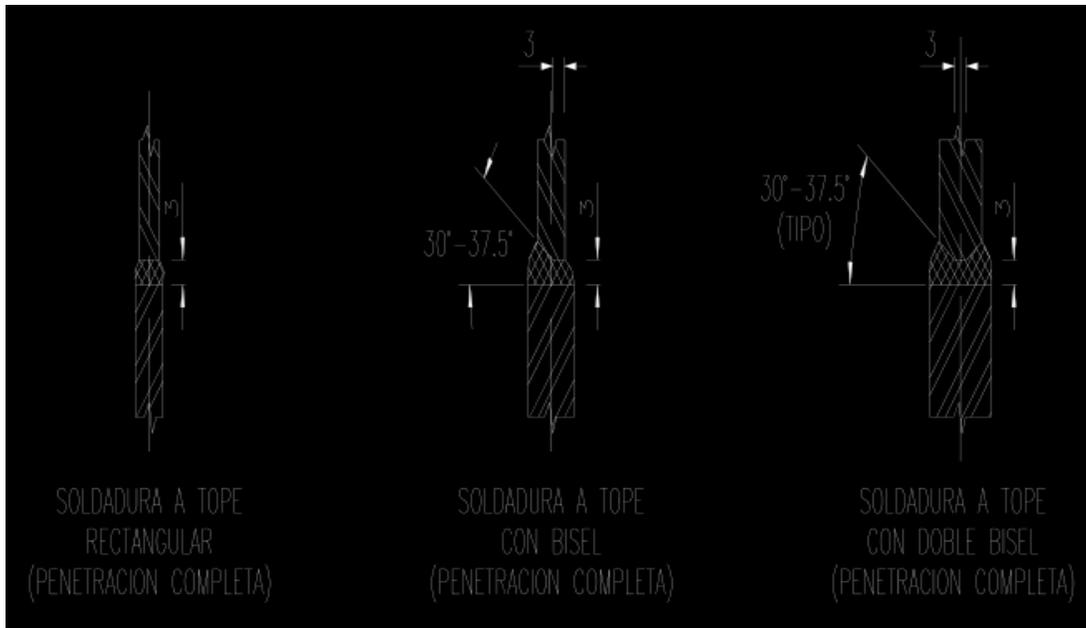


Figura 2.6 Soldadura a tope rectangular, con bisel y con doble bisel. Código ASME.

2.9. Coste del tanque de mezcla (según VAM Industry)

Para el debido cálculo del coste de tanques de mezcla, de las materias primas y también de los productos se empleara el método algorítmico y luego se actualizan los costes mediante la ecuación 2.29. Se harán los cálculos teniendo en cuenta el volumen de los equipos mediante las siguientes ecuaciones (VAM Industry apartado 07 evaluación económica).

Si $1300 < V < 2100gal$

$$C(\$) = 1.218 \cdot F_M \cdot e^{[2.631+1.6373 \cdot \ln(V)-0.06309 \cdot \ln(V^2)]} \quad 2.35$$

Donde:

$C(\$)$: Coste del tanque de mezcla.

V : Volumen del equipo (gal).

F_M : Factor de coste según el material de construcción. Se obtiene de la siguiente figura.

Material of Construction	Cost Factor F_M
Stainless steel 316	2.7
Stainless steel 304	2.4
Stainless steel 347	3.0
Nickel	3.5
Monel	3.3
Inconel	3.8
Zirconium	11.0
Titanium	11.0
Brick-and-rubber-or brick-and-polyester-lined steel	2.75
Rubber- or lead-lined steel	1.9
Polyster, fiberglass-reinforced	0.32
Aluminium	2.7
Copper	2.3
Concrete	0.55

Figura 2.7 Factor de coste F_M . (Couper, Apéndice C)

Método Algorítmico (Couper, Apéndice C): Se trata en la aplicación de sencillos algoritmos. Teniendo en cuenta que CEPCI (2002)=395.6.

En este caso el factor multiplicador de los costes de instalación será 1.8.

Índice CEPCI (Chemical Engineering Plan Cost Index): Sirve para calcular el coste del año actual de un equipo a partir de un coste conocido del mismo en años anteriores. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C_{E,actual} = C_{E,añoX} \cdot \left(\frac{CEPCI_{actual}}{CEPCI_{E,añoX}} \right) \quad 2.36$$

Donde:

$C_{E,actual}$: Coste del equipo a conocer del año actual.

$C_{E,añoX}$: Coste del equipo en un año anterior "X".

$CEPCI_{actual}$: Índice del año actual.

$CEPCI_{E,añoX}$: Índice de un año anterior "X".

Está fijado el valor del CEPCI correspondiente al año 2015 siendo este 573.74 aproximadamente.

2.10. Algoritmo para la simulación del agitador propuesto utilizando ANSYS

El algoritmo desarrollado por etapas para el análisis que desarrolla el paquete ANSYS fue:

Primera etapa: Modelado de la geometría del agitador.

En esta etapa se tuvo en cuenta la configuración geométrica del agitador, además se modeló la geometría del tanque para usarlo como referencia para las condiciones de frontera.

Segunda etapa: División del agitador en elementos finitos. (Mallado)

Para este caso se aprovecharon las bondades que brinda el ANSYS v 12.1 como herramienta para simular, utilizando el método de elementos finitos o FEM.

Tercera etapa: Condensación (Simulación)

En esta fase se le indican al software las propiedades de la mezcla y del agitador.

Cuarta etapa: Procesamiento de datos

Una vez analizados las propiedades que se introdujeron en la etapa anterior, se procede al análisis de la simulación, aquí se han de considerar los resultados que arroje el software después de la simulación. Estos valores quedan recogidos y explicados en el próximo capítulo.

Conclusiones

- Se plantea métodos con base experimental mediante la utilización de software y metodologías de cálculo para establecer las variables necesarias en el diseño del equipamiento del tanque con agitador.
- Se establece la propuesta de diseño del tanque agitador mecánico, el mismo conjuga los aspectos teórico metodológico y las expresiones matemáticas propuestas en investigaciones anteriores.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Introducción

En el presente capítulo se realizará la valoración de los resultados alcanzados en el trabajo, así como el análisis del impacto económico y ambiental siendo estos de gran importancia, pues permite valorar en qué medida el sistema de agitación propuesto contribuye o no al mejoramiento de la instalación donde se encuentra, enfocado en este sentido el **objetivo del presente capítulo**:

Valorar el resultado técnico, económico y ambiental asociado a la propuesta de diseño del tanque agitador mecánico.

3.1. Resultado del análisis de las muestras

La tabla 2.1 y 2.2 muestran los datos y los análisis realizados con cuatro muestras de arenilla tomada en la parte inferior de los alambiques de licor y disueltas en diferentes cantidades de licor de los precondensadores. El sedimento o arenilla que no se disolvió se filtró y se analizó para determinar contenido de hierro presente en la misma.

Tabla 3.1 Análisis de las muestras de arenilla tomada en la parte inferior de los alambiques.

	Mt(g)	H ₂ O	Ni	Ni	V	L/S	NH ₃	T
	Húm	(%)	(%)	Sól. (g)	(mL)		(g/L)	(°C)
M1	100	40,2	49,17	29,40	320	1/5.7	130	45
M2	100	40,2	49,17	29,40	460	1/8.2	170	80
M3	100	40,2	49,17	29,40	500	1/9.0	170	80
M4	100	40,2	49,17	29,40	600	1/10.7	170	80

Tabla 3.1 Continuación.

	Ni Sol(g/L)	Ni Sol(g)	%Dis.	Ni Sol(g/L)	Ni Sol(g)	%Dis.
	5 min	5 min		14 min	14 h	
M1	40.9	13,90	47,27	75.8	24,30	82,64
M2	34.3	15,80	53,73	61.0	28,10	95,57
M3	34.0	17,00	57,82	55.6	27,80	94,55
M4	32.3	19,40	65,98	46.7	28,00	95,23

Tabla 3.2 Análisis del sedimento.

	Mt(g)	H ₂ O	Fe	Fe	M.Sol.	Fe	Fe Sol.	Fe Sol
	Húm	(%)	(%)	Sól. (g)	Filt.(g)	(%)	Filt.(g)	Filt (%)
M1	100	40,2	0,41	0,25	12,3	1,46	0,18	73,24
M2	100	40,2	0,41	0,25	4,2	3,35	0,14	57,39
M3	100	40,2	0,41	0,25	3,91	5,28	0,21	84,20
M4	100	40,2	0,41	0,25				

Como se puede apreciar en cada una de las muestras había 26 g de níquel contenido y se disolvieron solo en 5 *min* entre el 47.27 y el 65.98 %. Es decir, a mayor relación líquido sólido mayor disolución. La temperatura tuvo su influencia también, pues el incremento de temperatura favoreció la disolución. Lo mismo pasó transcurrido las catorce horas donde se alcanzó hasta el 95.23 % de disolución en las muestras disueltas con alta temperatura y con mayor relación líquido sólido. Hay que aclarar que después de los cinco minutos las agitaciones de las muestras no fueron constante. Por lo que el tiempo de disolución en realidad no es catorce horas, sino alrededor de las diez horas.

Para el caso del Fe se logró obtener en el material filtrado hasta un 84,2 % con respecto a lo que entró. Es decir que el hierro contenido en la arenilla se disuelve y luego precipita

3.2. Análisis de los resultados del dimensionamiento funcional del tanque

Debido a que se trata de un tanque agitador, y por lo tanto, cuenta con un agitador, el depósito no ha de estar lleno totalmente porque la acción de este creará una especie de vórtice, lo cual ocasiona que en el centro disminuya el nivel del líquido, al revés que a las paredes donde la altura del líquido aumenta. Es por eso necesario dejar un espacio de un 20-25 % del volumen de total para que no se produzca pérdida del fluido o, en su defecto, debido a la presión pueda romperse dicho mezclador. En la siguiente tabla se muestran los resultados del dimensionamiento del tanque partiendo de el volumen de la mezcla que se va a agitar que está compuesta por el licor amoniacal y el carbonato básico de níquel.

Tabla 3.3 Dimensionamiento inicial del tanque.

Parámetros del tanque	Valores iniciales
Volumen de la mezcla	12,65 m^3
Volumen mínimo del tanque	15,812 m^3
Diámetro del tanque	2,159 m^3
Altura del tanque	3,238 m^3

Una vez obtenidos los valores de las dimensiones del cuerpo cilíndrico del tanque, estos se normalizan para lograr unas medidas estándar fácil de obtener y económicamente más viable cuando se valla a buscar con los proveedores. A partir del dimensionamiento del tanque y las medidas estándar se vuelve a calcular el volumen del tanque, siendo este el volumen real al cual se diseñará, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Dimensionamiento real de tanque.

Parámetros del tanque	Valores reales
Volumen del tanque	17 m ³
Diámetro del tanque	2,5 m
Altura del tanque	3,5 m
Volumen ocupado	75 %

3.3. Diseño mecánico del tanque

La temperatura de diseño va a ser igual a la temperatura de los materiales a mezclar aumentada en 20°C. Para el espesor del cilindro se utiliza los espesores estándares de chapa en Europa son: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, entre otros y se elige un valor de espesor del tanque. Para que el diseño, montaje y mantenimiento sea más fácil y con el objetivo de aminorar costos se decide utilizar un mismo grosor de chapa para todo el diseño, utilizando el espesor más grande entre la base y el cilindro teniendo en cuenta que a la base del tanque hay que aumentarle 2 mm como medida de seguridad.

Con el espesor del tanque se calcula el volumen del mismo para conocer el peso de este vacío y en operación utilizando la densidad del fluido y del material a utilizar en la construcción del tanque (acero inoxidable A 316L). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.5.

A continuación se muestra en la figura 3.1 el tanque dibujado mediante el software SolidWorks utilizando las medidas de los resultados alcanzados en la solución de la metodología de cálculo.

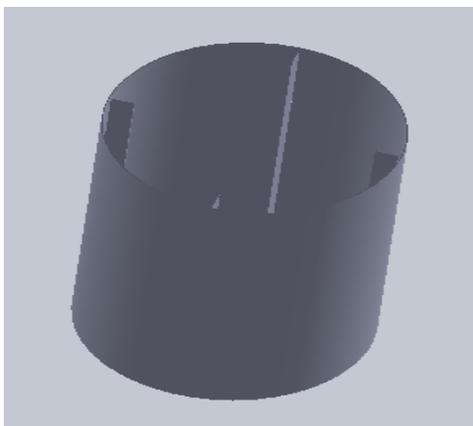


Figura 3.1 Tanque de almacenamiento. (SolidWorks)

Tabla 3.5 Valores del diseño mecánico del tanque.

Parámetros mecánicos	Valores
Temperatura de diseño	100°C
Presión de diseño	3,45 <i>bar</i>
Espesor del cilindro	10 <i>mm</i>
Diámetro exterior del tanque	2,520 <i>m</i>
Volumen de la base	0,05 <i>m</i> ³
Volumen externo del cilindro	17,50 <i>m</i> ³
Volumen de la pared del cilindro	0,5 <i>m</i> ³
Volumen de la pared del tanque	0,55 <i>m</i> ³
Peso del tanque vacío	4815 <i>kg</i>
Peso del tanque en operaciones	34140 <i>kg</i>

3.4. Resultados de los cálculos del diseño del agitador

Se escoge un agitador de turbina, ya que es adecuado para este proceso y trabaja en un amplio rango de viscosidad y favorece a que la mezcla se lo más homogénea posible. Este tipo de agitador trabaja entre 30-500 r/min y puede tener entre 4 y 14 palas de mezcla. En este caso se decide trabajar a 105 rpm y con 6 palas de mezcla. Además, se colocan 4 placas deflectoras, siendo este un valor estándar, y de esta manera se evitan posibles formaciones de vórtices. El diámetro interior del tanque es esencial en el cálculo de las dimensiones del agitador los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura.

Figura 3.6 Valores del diseño del agitador.

Parámetros del agitador	Valores
Diámetro del agitador	1,25 <i>m</i>
Altura de la mezcla	2,50 <i>m</i>
Altura del agitador	0,85 <i>m</i>
Ancho de la paleta	0,22 <i>m</i>
Longitud de la pala	0,312 <i>m</i>
Diámetro del disco	0,825 <i>m</i>
Ancho de los deflectores	0,20 <i>m</i>
Espesor del rodete	0,022 <i>m</i>
Diámetro del eje del agitador	0,030 <i>m</i>

En la siguiente figura se muestra como quedo el agitador a través de un dibujo realizado en SolidWorks

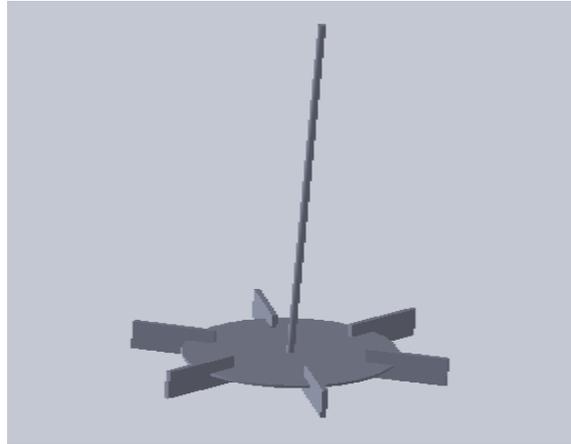


Figura 3.2 Agitador mecánico. (SolidWorks).

3.5. Cálculo de la potencia del agitador

Debido a que el número de Re es mayor a 10^5 , se considera un valor constante siendo este un valor de $Np = 5$. Para la selección del motor-reductor de velocidad adecuado en el sistema de agitación donde se está trabajando se debe tener en cuenta varios parámetros de trabajo (la potencia, número de revoluciones, tamaño, relación de transmisión, condiciones ambientales, rendimiento, características de la carga, máquina de trabajo) si cumple con la potencia, entonces pasaremos a la selección. Los resultados obtenidos se muestran en la figura siguiente.

Tabla 3.7 Resultados del cálculo de la potencia del agitador.

Parámetros del potencia del agitador	Valores
Numero de Reynolds	$6,7 \cdot 10^5$
Potencia del agitador	41 kW
Potencia corregida	53 kW

En la selección del motor-reductor adecuado para trabajar con el agitador propuesto, tuvimos en cuenta el parametro de potencia, tomando la potencia

corregida entramos al catalogo de Motor-reductores E/EB, y seleccionamos el motor-educor (ver Anexo 2) con las siguientes características:

Modelo E-102

Número de revoluciones de salida de $n_2=106$ (r/min)

Número de revoluciones de entrada de $n_1=1500$ (r/min)

Relación de reducción de 14,1 (iN)

Momento torsor de 607 ($kg \cdot m$)

Potencia de 55 (kW)

Según los regimenes de explotación enlazados y las condiciones de trabajo del agitador evaluado, es seleccionado el motoreductor E-102 capáz de evacuar las necesidad de potencia y velocidad que exige la propuesta de la instalación del agitador mecánico.

3.6. Resultado del cálculo de los cimientos

Para lograr una segura instalación del tanque mezclador se necesita de cimientos que soporten el peso del tanque en operación y de pernos de anclaje que aseguren que el mismo no se desplazará por las vibraciones de trabajo o alguna otra fuerza externa. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Resultado del cálculo de los cimientos.

Parámetros	Valores
Peso del cimiento	51210 kg
Altura del cimiento	35 cm

El cimiento se hará de hormigón armado que está compuesto por una parte de cemento, dos de arena, tres de piedra y una estructura de acero.

3.6. Soldadura del tanque

Juntas verticales del cuerpo.

Las juntas verticales deberán ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr con soldadura doble, de tal forma que se obtenga la misma calidad del metal depositado en el interior y el exterior de las partes soldadas para cumplir con los requerimientos del procedimiento de soldaduras.

Las juntas verticales no deberán ser colineales, pero deben ser paralelas entre sí en una distancia mínima de 5 veces el espesor de la placa.

Juntas horizontales.

Las juntas horizontales, deberán ser de penetración y fusión completa, excepto la que se realiza entre el ángulo de coronamiento y el cuerpo, la cual puede ser unida por doble soldadura a traslape, cumpliendo con el procedimiento de soldadura.

La junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberán tener una línea de centros o fibra media común.

Juta del cuerpo-fondo.

Para espesores de placa del fondo o de placas anulares que sean de 12.7 mm ($1/2\text{ pulg}$) o menores sin incluir corrosión, la unión entre el fondo y el canto de las placas del cuerpo tendrá que ser hecha con un filete continuo de soldadura que descansa de ambos lados de la placa del cuerpo.

El tamaño de cada cordón, sin tomar en cuenta la corrosión permisible, no será mayor que 12.7 mm . ($1/2\text{ pulg}$) y no menor que el espesor nominal de la más delgada de las placas a unir.

Recomendaciones para el procedimiento de soldadura.

Uno de los factores determinantes para el proceso de soldadura son las dilataciones térmicas porque, al soldar las placas de acero, se presentan

deformaciones, debido a que el incremento de temperatura es del orden de $2204^{\circ}C$ a $13870^{\circ}C$ ($4,000^{\circ}F$ a $2,500^{\circ}F$) dependiendo del proceso que se utilice.

Como el coeficiente de expansión o contracción térmica del material es del orden de 0.01651 mm para cada $38^{\circ}C$ ($100^{\circ}F$) se encogerá 1.6 mm . ($1/16\text{ pulg}$). Por tanto, si sumamos estas contracciones al diámetro del fondo para tanques de grandes dimensiones o las que se requieran en el casco de un tanque, la magnitud ya es considerable. Debido a ello, nos vemos obligados a considerar un procedimiento de soldadura que permita evitar las deformaciones que se presentan, recomendando que la secuencia de soldado se inicie en el centro del tanque y avance hacia la periferia del fondo, soldando juntas longitudinales y, a continuación, las placas del anillo anular, si éstas existieran, dejando pendientes las soldaduras transversales del fondo, mismas que serán terminadas cuando se haya avanzado en las soldaduras del primer anillo del casco.

Las pequeñas deformaciones que se permitan en el primer anillo deben ser las mínimas dentro de las tolerancias permitidas por el estándar, de lo contrario, se reflejarán en los últimos anillos, pero amplificando más o menos diez veces, por lo que las soldaduras verticales del casco deben ser alternadas y por el procedimiento de retroceso para obtener una verticalidad y circularidad aceptable.

El procedimiento debe llevar un estricto control de las dimensiones del casco, a medida que se van montando las placas de cada anillo, pero tomando en cuenta que las últimas soldaduras de cierre deberán ser siempre a una hora tal del día que se tenga la misma temperatura medida directamente sobre la superficie del material, a fin de controlar la expansión térmica.

Se usarán todos los herrajes que requiera el procedimiento con el objeto de mantener correctas las dimensiones y llevando un registro minucioso de las mismas para decidir, en el momento, oportuno, las correcciones pertinentes, debido a alguna desviación fuera de tolerancia. Para aplicar la soldadura de filete entre el primer anillo y la placa anular o la placa del fondo, se debe precalentar

una longitud de 304.8 *mm* (12 *pulg.*) hacia arriba del primer anillo a una temperatura de 100° *C* a 150° *C*.

Con el fin de verificar si una soldadura ha sido bien aplicada, se utilizarán varias formas de inspección. Entre ellas están el radiografiado y la prueba de líquidos

3.7. Resultados de la simulación por ANSYS

La pieza 3D es el bloque de construcción básico del software de diseño mecánico SolidWorks. Un modelo de SolidWorks se compone de piezas, ensamblajes y dibujos; generalmente se empieza con un croquis, se crea una operación base y a continuación se agregan más operaciones al modelo. Se puede completar libremente el diseño agregando, cambiando o reorganizando las operaciones.

Para la construcción del modelo del agitador se partió de un croquis o boceto 2D, que con posterioridad y aplicando las diferentes operaciones, llegaron a generar la pieza en 3D. (Ver figura 3.2)

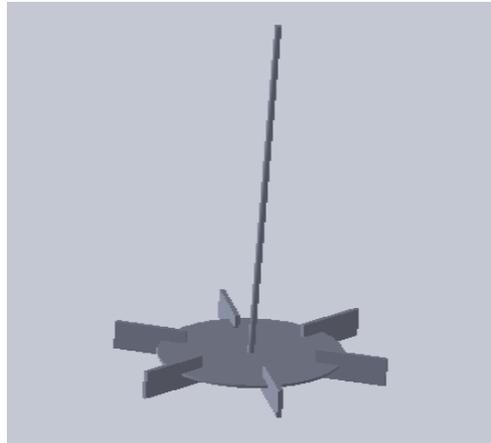


Figura 3.3. Modelo geométrico del agitador en SolidWorks.

Mallado del modelo.

El mallado es un paso crucial en el análisis. El mallado automático en el ANSYS genera una malla basada en el tamaño del elemento finito, la tolerancia y los parámetros de control de dicha malla. El software estima un tamaño de elemento global tomando en cuenta consideraciones tales como volumen, área superficial y

otros detalles geométricos (Ver figura 3.4). El mallado del modelo tiene las siguientes características:

En la figura 3.4 se muestra la estructura de la malla empleada de forma rectangular con 25 412 nodos, 45 215 elementos.

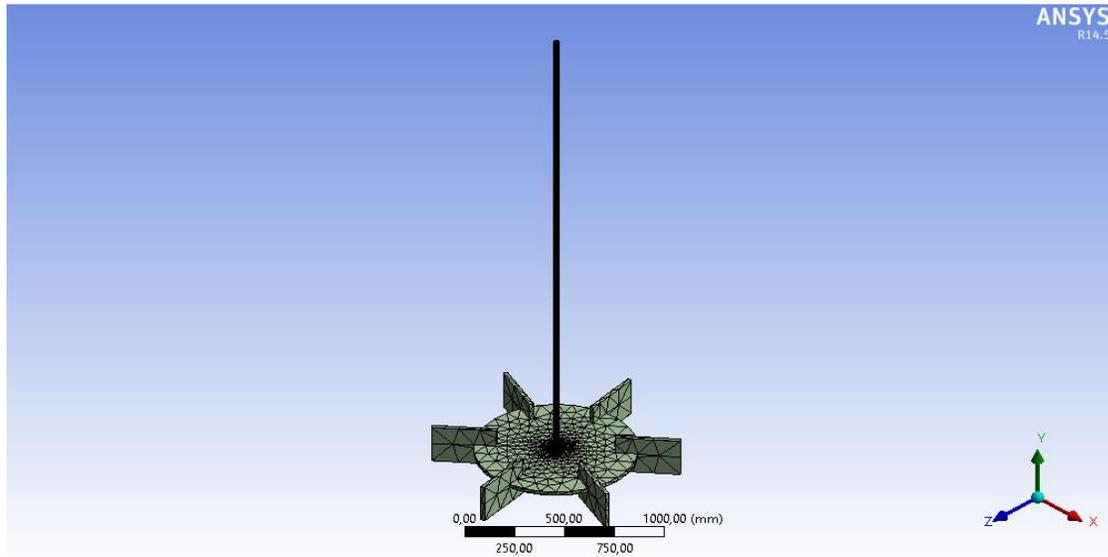


Figura 3.4 mallado del agitador.

Aplicación de las cargas.

Las cargas que se aplicaron sobre el agitador se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 3.9 Propiedades de la mezcla y del agitador

Propiedad	Valor	<i>U/M</i>
Densidad de la mezcla	1725	<i>Kg/m³</i>
Viscosidad de la mezcla	0.002	<i>Kg/ms</i>
Número de revoluciones de salida	106	<i>Rev/min</i>

Resultado del cálculo estático.

Después de terminado el análisis, se obtuvo como resultado los valores de presión a los cuales es sometido el agitador, que se pueden observar en la figura 3.5.

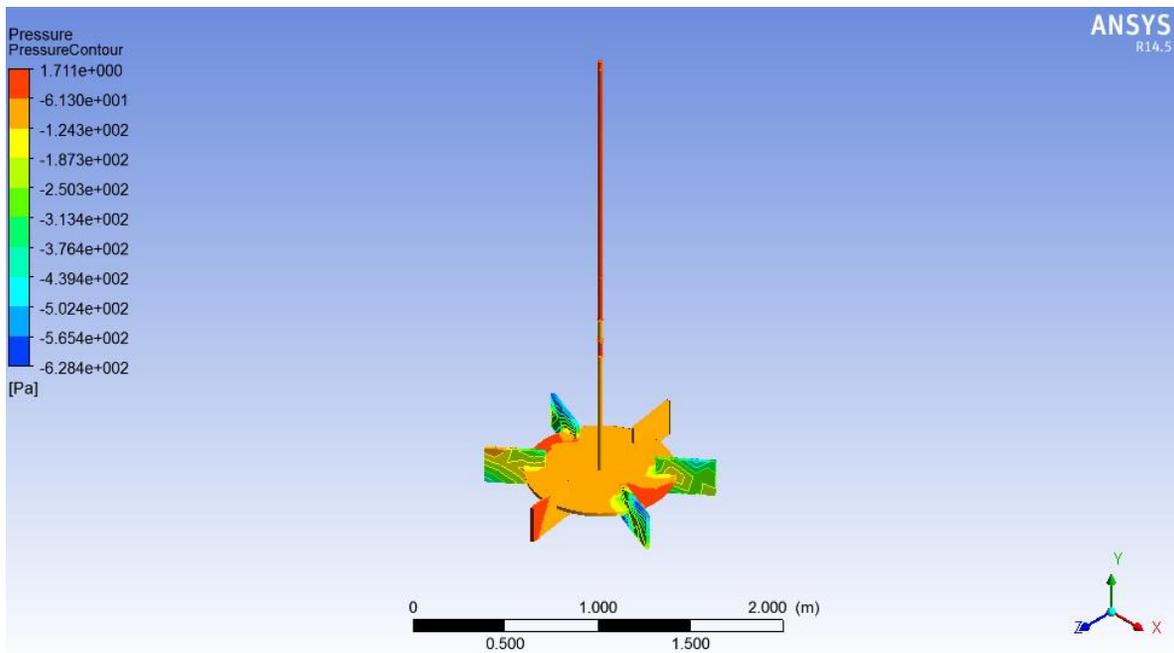


Figura 3.5 Presión a la que es sometida el agitador.

En la figura se puede observar que el eje del agitador es el que sufre la mayor presión.

3.8. Mantenimiento propuesto

El tanque mezclador fue diseñado para una vida útil de veinte años, sin embargo, con un mantenimiento adecuado se estima que la vida útil del tanque sobrepase los treinta años. Para lograr esto, se recomienda un plan de mantenimiento que incluya:

- El pintado periódico (cada seis meses) del tanque con una primera capa anticorrosiva y una segunda con pintura de aceite.
- La revisión y cambio de los componentes más susceptibles al fallo del motor-reductor, además de engrasar todas las partes necesarias y cambiar el lubricante.

Teniendo en cuenta que el tanque mezclador trabaja solo 10 h al día y únicamente mientras halla arenilla para procesar se puede aplicar el mantenimiento sin necesidad de detener la producción, por lo cual después de cada ciclo de trabajo se puede realizar una revisión pequeña al equipo y se le realizará una reparación

mediana cada tres meses y una reparación general a los seis meses para alargar la vida útil del equipo.

Mantenimiento motor-reductor:

Los engranajes, casquillos y rodamientos del motor-reductores están lubricados habitualmente por inmersión o impregnados en la grasa lubricante alojada en la carcasa principal. Por lo tanto, el mantenimiento pasa por revisar el nivel de aceite antes de la puesta en marcha. La carcasa tendrá visibles los tapones de llenado, nivel y drenaje del lubricante, que deben estar bien sellados. Debe mantenerse especialmente limpio el orificio de ventilación; también debe respetarse el tipo de lubricante recomendado por el fabricante, que suele ser el más adecuado a su velocidad, potencia y materiales constructivos.

Según el tipo del reductor, se suele recomendar una puesta en marcha progresiva, en cuanto a la carga de trabajo, con unas 50 horas hasta llegar al 100 %. Asimismo, es muy recomendable el sustituir el aceite la primera vez tras 200 horas de trabajo, pudiendo incluso el decidir en ese momento un "lavado" del reductor. A partir de ese momento, los cambios del lubricante deberán hacerse siempre de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, siendo plazos habituales cambios cada 2.000 horas de trabajo.

En caso de disponer de reductores de repuesto, estos deben permanecer completamente llenos del lubricante recomendado, para prevenir la oxidación de los elementos internos, así como protegidos los acoplamientos. Es importante marcar en el mismo reductor la necesidad de vaciar el lubricante sobrante antes de ser puesto en servicio.

Para finalizar, reiterar que los consejos aquí dados son solo recomendaciones generales, y que siempre que sea posible y conocidas, deben atenderse las recomendaciones específicas del fabricante para el modelo en cuestión.

Programa de mantenimiento de un reductor de velocidad.

➤ Cada semana:

-Revisar el nivel de aceite del reductor, y si es necesario reponerlo.

-Revisar si existen posibles fugas de aceite.

➤ Cada 3 meses:

-Revisar la alineación del grupo motor-reductor.

-Escuchar con un estetoscopio mecánico los ruidos del rodamiento y de los engranes.

➤ Cada año:

-Revisión general del reductor.

-Revisar los conos.

-Revisar tazas (de preferencia cambiarlas).

-Revisar engranes y piñones.

-Revisar el apriete del cono sobre la flecha.

-Ajustar las flechas del reductor.

-Revisar la bomba de aceite y sus conductos.

3.9. Valoración económica

Se utilizó el método algorítmico para calcular los costes económicos del tanque y sus componentes. Donde se obtiene el precio aproximado del tanque agitador en su totalidad usando valores de costos del mismo en años anteriores y multiplicándolo por un factor que considera la instalación del equipo. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 45 Costes económicos.

Elemento	Precio	Precio actual	Precio con la inst.
Coste del tanque de mezcla	\$ 49020	\$ 71093	\$ 127969

Teniendo en cuenta que el tanque mezclador en un solo ciclo recupera poco más de media tonelada de níquel, lo que representa con los precios actuales más de 8000 dólares. Suponiendo que el tanque mezclador tenga un trabajo constante

todo el año, de al menos cinco días a la semana, esto representaría un total de \$ 2080000 lo que hace el proyecto factible económicamente.

3.10. Impacto medioambiental

En vez de construir pesados y complicados prototipos, con el gasto energético, de tiempo y de recursos en general que ello supone, se puede recurrir a la tecnología informática y con un simple ordenador (o estación de trabajo) y el software adecuado (ANSYS v12.1), simular múltiples prototipos sin la necesidad de crearlos físicamente. Claro está, que el funcionamiento de uno o varios ordenadores consume recursos energéticos, pero no se equipara, ni de lejos, al consumo que supondría la construcción y prueba de prototipos. Por todo lo dicho anteriormente, cabe decir que el uso de CFD tiene una incidencia positiva sobre el medioambiente porque permite ahorrar, sobretodo recursos energéticos.

Conclusiones

- Se obtuvo los resultados de la metodología de cálculo planteada para el diseño del tanque y el agitador mecánico a partir del volumen de la mezcla a agitar.
- Se seleccionó el motor-reductor adecuado para las condiciones de trabajo del agitador mediante la potencia
- Mediante la simulación en ANSYS se determinó cuáles eran las partes más críticas del agitador sometidas a presión.
- Se demostró la factibilidad económica de la instalación del tanque agitador.

CONCLUSIONES GENERALES

- A partir del análisis químico de la arenilla se demostró la necesidad de recuperar eficientemente el carbonato básico de níquel.
- Se establece el sistema de ecuaciones para realizar los cálculos de diseño para el tanque mezclador, los datos del tanque y del agitador se pueden observar en las tablas 3.4 y 3.6 respectivamente.
- Para el agitador propuesto se selecciona un moto-reductor tipo E – 102 con una potencia de 55 kW, capaz de satisfacer la máxima condición de resistencia del sistema
- La simulación del sistema tanque agitador propuesto con la densidad de la mezcla, demostró que la propuesta de diseño del tanque agitador mecánico cumple con todas las condiciones requeridas para trabajar en la instalación.
- A partir de un método algorítmico se determinó el precio del tanque mezclador, obteniendo como valor \$127969, que es un resultado mucho menor de lo que se ganaría con el valor estimado de las ganancias del níquel recuperado en un año (\$ 2080000).

RECOMENDACIONES

- Diseñar una estructura para el soporte del tanque mezclador.
- Realizar la simulación con otras dimensiones y geometrías de agitador y tanque para determinar si existe otro prototipo mejor para utilizar.
- Realizar el diseño del sistema de tuberías y del transportador de banda para introducir y sacar la mezcla.
- Construir un techo que proteja al tanque de las inclemencias del clima.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agitadores Industriales. Disponibles en <http://www.agitador.es/>
2. American Petroleum Institute. (2013). API 650. Welded Tanks for Oil Storage. Washington, D.C., Estados Unidos.
3. ASME. (2013). ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Rules for construction of Pressure Vessels. New York, NY.
4. Darby, R.; *"Laminar and Turbulent Pipe Flows of Non Newtonian Fluids"*. In Flow Dynamics and Transport Phenomena.
5. DIN. (1992). Agitators and baffles for agitator vessels; types, terms and main dimensions. (Vol. 28131, pp. 8). Berlin: DIN.
6. Fernández, M.; *"Fórmulas magistrales semisólidas obtenidas por agitación... manual y mediante un sistema de agitación mecánica"*. Departamento de farmacia y tecnología farmacéutica. Madrid. 2007.
7. Greene, A. (1995). *Flujo de Fluidos*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
8. <http://www.ecuredr.cu/>
9. Irestal Group, ver www.irestal.com
10. Malishev, G. Nikolaiev, Y. Shuvalov. Tecnología de los metales. Traducido por Editorial MIR, Séptima edición, 1985. 311 - 312p.
11. Martínez, C.; *"Simulación de una turbina radial mediante el software CFD FLUENT"*. México. 2006.
12. Martin, H.; *"Predicción de datos de diseño en reactores provistos de turbina de flujo axial mediante CFD"*. Brasil. 2007.
13. McCabe, S.; *"Unit operations of chemical engineering"*. McGraw-Hill. New York. 1993.
14. Norma API 650 del Apéndice S, Tanques Soldados de Almacenamiento en Acero Inoxidable Austenítico.
15. Norton, R. L. (2013). Machine Design: An Integrated Approach. New Jersey: Pearson.

16. Orrego, S. (2009). Simulación de fluidos utilizando computadores: una moderna herramienta para el estudio y análisis de fluidos. Retrieved from <http://mecanica.eafit.edu.co>.
17. Oshinowo, V.; Bakker, P.; "*Symposium on Computational Modeling of Metals*". Minerals and Materials. TMS Annual Meeting. 2002.
18. Pérez, H. B. (2013). Propuesta de un sistema de agitación mecánica para la instalación semiindustrial de hidrotransporte del ISMM., Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.
19. Perry, R., H.; "*Manual del ingeniero Químico*". Mc Graw Hill. Séptima Edición. España. 2001.
20. Perry, R.H.; "*Perry's Chemical Engineering Handbook*". Mc Graw Hill. 1974.
21. Reshetov, D. (1985). *Elementos de Máquinas*. La Habana: Pueblo y Educación.
22. Ruiz, M.; "*Determinación de los requerimientos de la potencia de un motor para la agitación de soluciones, a partir de las rpm del motor y del par que se opone a su signo*". Universidad Autónoma Metropolitana. New York. 2004.
23. SolidWorks. (2013). Flow Simulation. Massachusset: Dassault Systemes.
24. Suarez, V.; Trujillo; "*Diseño y construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales*". Tesis de grado. Riobamba. Ecuador. 2011.
25. Taghavi. (2011). "Experimental and CFD investigation of power consumption in a dual Rushton turbine stirred tank". *Chemical Engineering Research and Design.*, 300.
26. Torres, E. (2000). Transporte de partículas en flujos de gases para el incremento de la eficiencia del proceso de secado. Paper presented at the Segunda Conferencia Internacional CINAREM.
27. VAM Industry, Apartado 07, Evaluación Económica.
28. VAM Industry, Apartado 11, Manual De Calculo.

29. Wilkens, O.; *“Principios de los fluidos que cumplen con la ley de potencia en los procesos de agitación”*. Suiza. 2003.

ANEXOS

Tabla A1. Valores de las constantes (K_L -laminar y K_T -turbulento) para el cálculo de la potencia.

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0	41	0.32
Paso 1.5	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas	65	5.75
Seis palas inclinadas	----	1.63
Cuatro palas inclinadas	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas	36.5	1.70
Impulsor HE-3	43	0.28
Ancla	300	0.35

Anexo 2

Tabla A2. Catálogo de Motoreductores y reductores E/EB de la firma Chesa 

Potencia Motor	n_1 r.p.m. salida	n_2 r.p.m. entrada	Relación de Reducción $\frac{n_1}{n_2}$	P_{in} mkg	Modelo	Potencia Motor	n_1 r.p.m. salida	n_2 r.p.m. entrada	Relación de Reducción $\frac{n_1}{n_2}$	P_{in} mkg	Modelo
Motor power	n_1 r.p.m.	n_2 r.p.m.	Reduction rate $\frac{n_1}{n_2}$	Torque mkg	Model	Motor power	n_1 r.p.m.	n_2 r.p.m.	Reduction rate $\frac{n_1}{n_2}$	Torque mkg	Model
20 C.V. (15 kw)	71,1	1.500	21,1	201,4	E-72	40 C.V. (30 kw)	25,9	1.500	57,9	1.105	E-113
	80,1	1.500	18,7	178,8			28,5	1.500	52,1	994	
	91,5	1.500	16,3	156,3			35,4	1.500	42,3	809	
	103,2	1.500	14,5	136,7			41	1.500	36,5	689	
	131	1.500	11,4	109,5	E-82		43,7	1.500	34,3	555	E-102
	144,6	1.500	10,3	99,1			49	1.500	30,8	584,5	
	160	1.500	8,3	79,6			60	1.500	25	477,5	
	198,6	1.500	7,5	72,1			82,3	1.500	24,1	459	
	208,2	1.500	4,8	46,5	E-71		88,7	1.500	21,5	417	E-92
	397	1.500	3,7	36			84,5	1.500	17,8	339	
556,4	1.500	2,7	25,7	96,3		1.500	15,5	297			
764	1.500	1,9	18,7	106,4		1.500	14,1	269			
25 C.V. (18,5 kw)	15,5	1.500	96,7	1.158	E-113	131,8	1.500	11,4	217	E-82	
	19,1	1.500	78,5	937,4		145,4	1.500	10,3	197		
	21	1.500	71,4	852		179,5	1.500	8,3	159		
	27,3	1.500	54,9	656		198,5	1.500	7,5	144		
	30,2	1.500	49,6	593	E-103	28,8	1.500	52,1	1.243	E-113	
	36,6	1.500	40,9	489		35,4	1.500	42,3	1.011		
	41,5	1.500	35,8	428,5		39	1.500	38,4	918		
	45,2	1.500	33,1	396,1		42,7	1.500	35,1	838,5		
	50,7	1.500	29,6	353,1	E-92	48,5	1.500	30,9	738,5	E-112	
	60,3	1.500	24,8	297		49	1.500	30,6	731		
	72,4	1.500	20,7	247,3		60	1.500	25	597		
	80	1.500	18,7	224		63	1.500	23,8	566,5		
	91,8	1.500	16,3	195,6	E-82	70,4	1.500	21,3	509	E-102	
	103,2	1.500	14,5	173,4		84,5	1.500	17,8	423		
	127,5	1.500	11,7	140,4		93,1	1.500	16,1	384		
	143,6	1.500	10,4	124,6		114,5	1.500	13,1	312		
179,7	1.500	8,3	99,6	E-72	131,8	1.500	11,4	272	E-82		
202,5	1.500	7,4	88,4		145,4	1.500	10,3	248			
19,1	1.500	78,5	1.124,9		179,5	1.500	8,3	199			
21	1.500	71,4	1.023		198,5	1.500	7,5	180			
25,9	1.500	57,9	829,5	E-113	39	1.500	38,4	1.102	E-112		
30,2	1.500	49,6	711,5		42,7	1.500	35,1	1.006,5			
36,6	1.500	40,9	587		48,5	1.500	30,9	866			
41	1.500	35,8	524		53,2	1.500	28,2	807			
45,2	1.500	33,1	475,3	E-102	60	1.500	25	718	E-102		
50,7	1.500	29,6	433,7		63	1.500	23,8	682			
60,3	1.500	24,1	344,8		70,4	1.500	21,3	610,5			
72,4	1.500	20,7	296,7		84,5	1.500	17,3	496			
80	1.500	18,7	268,5	E-82	105	1.500	14,1	405,5	E-112		
96,3	1.500	15,6	223,1		48,5	1.500	30,9	1.107,5			
106,4	1.500	14,1	201,8		53,2	1.500	28,2	1.009			
127,5	1.500	11,7	168,5		58,6	1.500	25,6	916,5			
143,6	1.500	10,4	149,6	E-72	64,4	1.500	23,3	834	E-112		
179,7	1.500	8,3	119,5		73	1.500	20,5	735			
202,5	1.500	7,4	106,1		85,5	1.500	17,3	629			
					105	1.500	14,1	507			

