



Propuesta de diseño estructural de un tanque agitador vertical para la mezcla de biofertilizante

Juan Sebastián Rozo Ibarra

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2020

Propuesta de diseño estructural de un tanque agitador vertical para la mezcla de biofertilizante

Juan Sebastián Rozo Ibarra

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):
Ingeniera Jenny Duran Torrejano

Línea de Investigación:
Diseño mecánico de elementos de maquinas

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2020

(La única diferencia entre el éxito o el fracaso es la capacidad de actuar)

A mis abuelos

Gustavo

María Olga

A mis padres

Herly Constanza

Alejandro

A Juanita Caviedes Ibarra

Resumen

Este documento es un estudio de diseño de un tanque agitador vertical para mezcla de fertilizante natural de 100 Litros, tema que se escogió como proyecto integrador de grado para el título de ingeniero mecánico.

Esta propuesta va enfocada al diseño apropiado de un tanque agitador para una mezcla de biofertilizante hecho por la empresa Fertimax partiendo de la viscosidad y la densidad de la mezcla.

En este documento dentro del marco teórico también están los conceptos básicos de la agitación y mezclado. En los capítulos se encuentran tipos y características principales de los tanques agitados tales como, tipos de tanques, tipos de flujo, tipos de impelente, con sus características principales. Se definieron y realizaron los cálculos para el diseño estructural del tanque agitador y por último se definieron los costos de materialización del tanque agitador.

Palabras clave: (Diseño, Tanque, Agitación).

Abstract

This document is a design study of a vertical agitator tank for mixing 100-liter natural fertilizer, a topic that was chosen as an integrative degree project for the title of mechanical engineer. This proposal is focused on the appropriate design of a shaker tank for a bio fertilizer mixture made by the Fertimax company based on the viscosity and density of the mixture. In this document within the theoretical framework there are also the basic concepts of stirring and mixing. In the chapters you will find main types and characteristics of agitated tanks such as, types of tanks, types of flow, types of impeller, with their main characteristics. The calculations for the structural design of the agitator tank were defined and carried out, and finally, the materialization costs of the agitator tank were defined.

Keywords: (Design, Tank, Agitation)

Contenido

1. Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual	3
1.1 Biofertilizante	3
1.1.1 Tipos de biofertilizante.....	4
1.1.2 Ventajas y beneficios.....	4
1.2 Tanques agitados.....	5
1.3 Geometría estándar de tanque agitado de turbina.....	7
1.4 Patrones de flujo en los tanques agitados.....	8
1.4.1 Flujo axial.....	9
1.4.2 Flujo radial	9
1.5 Impelentes.....	10
1.5.1 Características del Impelente tipo turbina.....	11
1.5.2 Impelente tipo hélice.....	14
1.5.3 Impelente tipo pala	15
1.5.3.1 Impelente tipo pala de ancla	16
1.5.3.2 Impelente tipo pala de paleta.....	17
1.6 Vórtice	17
1.7 Deflectores	18
1.8 Consumo de potencia en tanques agitados	19
1.8.1 Número de potencia	19
1.8.2 Número de Reynolds.....	20
1.8.3 Número de Froude	21
2. Capítulo 2 Método de Cálculo.....	22
2.1 Objetivo General	22
2.2 Objetivos específicos	22
2.3 Actividades	22
2.4 Investigación preliminar	23
2.4.1 Presentación del problema	23
2.4.2 Fabricación el biofertilizante.....	24
2.4.3 Precipitación de lluvia mensual promedio en La Plata-Huila	25
2.4.4 Temperatura promedio en La Plata-Huila.....	26
2.4.5 Condiciones actuales de agitación del biofertilizante	27
2.4.6 Geometría del tanque agitador actual.....	28
2.4.7 Calculo de numero de Reynolds tanque actual.....	30
2.4.8 Numero de Froude del tanque actual	30
2.4.9 Cálculo del número de potencia del tanque actual.....	31
2.4.10 Flujo interno del tanque actual(q).....	33
2.4.11 Tiempo de mezcla teórico según (Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, 2003)	34
2.4.12 Factor adimensional de mezclado teórico para líquidos miscibles	37
2.4.13 Calidad del mezclado	38
3. Capítulo 3. Diseño tanque agitador nuevo.....	40

3.1	Datos de entrada.....	40
3.2	Geometría del tanque nuevo	40
3.3	Impelente.....	42
3.4	Deflectores	44
3.5	Números Adimensionales	44
3.5.1	Número de Reynolds.....	45
3.5.2	Cálculo del número de potencia.....	45
3.5.3	Motor.....	47
3.5.4	Flujo interno teórico del tanque nuevo (q).....	48
3.5.5	Tiempo de mezcla teórico según (Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, 2003) dependiendo la viscosidad del fluido.....	49
3.5.6	Factor adimensional de mezclado teórico para líquidos miscibles dependiendo la geometría del fluido	50
3.5.7	Calidad del mezclado	52
3.6	Materiales	53
3.6.1	Características del acero.....	54
3.7	Calculo del Diámetro del eje	55
4.	Cotización de construcción del tanque	56
5.	Análisis de resultados	57
6.	Conclusiones	60
7.	Recomendaciones.....	61
	Bibliografía	67

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Tanque típico de proceso de agitación.....	6
Figura 1-2: Mediciones típicas de tanque agitado	8
Figura 1-3: Flujo interno de un tanque agitado	9
Figura 1-4: Patrón de Flujo turbulento radial en tanque sin deflectores.....	10
Figura 1-5: Agitadores para líquidos de viscosidad moderada: a) agitador hélice de 3 pala; b) turbina simple pala recta; c) turbina de disco; d) turbina disco de pala cóncava; e) turbina de pala inclinada.....	10
Figura 1-6: Rodetes de mezcla; Impelente tipo turbina de hojas planas y hojas curvas.	11
Figura 1-7: Impelente tipo turbina de hojas inclinadas	12
Figura 1-8: Impelente tipo turbina de disco con hojas planas	13
Figura 1-9: Impelente tipo hélice	14
Figura 1-10: Impelente tipo pala	15
Figura 1-11: Impelente tipo pala de ancla	16
Figura 1-12: Impelente tipo pala de paleta	17
Figura 1-13: Vórtice	18
Figura 1-14: Deflectores	19
Figura 2-1: Foto de los cultivos de tabaco la empresa fertymax donde aplican y experimentan el biofertilizante.	23
Figura 2-2: Foto tomada de la empresa fertymax del biofertilizante en etapa de fermentación.	25
Figura 2-3: Índice de precipitación mes por mes en el año en La Plata	25
Figura 2-4: Índice de temperatura promedio mes por mes en el año en La Plata	26
Figura 2-5: Fotos tomadas del estado del tanque agitador actual	27
Figura 2-6: Mediciones típicas de tanque agitado	28
Figura 2-7: Figura de la relación de las poleas del tanque agitador actual.....	29
Figura 2-8: Imagen del tanque agitador actual	29
Figura 2-9: tabla de número de potencia contra número de Reynolds para impelentes tipo turbina de 6 palas.	33
Figura 3-1: Medidas estándar de tanque agitador tipo turbina	42
Figura 3-2: Grafica de volumen del tanque contra viscosidad para la selección del impelente.	43
Figura 3-3: Impelente tipo turbina de disco con 6 hojas planas	43
Figura 3-4: Calculo del Numero de potencia según el número de Reynolds para impelente tipo turbina de disco.....	46

Figura 3-5: Relación de engranajes para la reducción de las RPM	48
Figura 3-6: Factor tiempo contra número de Reynolds para según la geometría del tanque agitador	51
Figura 5-1: Cantidad de litros por tiempo recomendado	59
Figura 5-2: Cantidad de litros por tiempo actual	59

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Ventajas y beneficios	5
Tabla 2-1: Cronograma de actividades	22
Tabla 2-2: Etapas del proceso de fabricación del biofertilizante	24
Tabla 2-3: Índice de numero de rotaciones para alcanzar el 95% de homogeneidad de la mezcla según la viscosidad del fluido	35
Tabla 2-4: Desempeño de mezclado en el tanque agitador teniendo en cuenta su velocidad lineal superficial.	39
Tabla 3-1: Datos de las condiciones de agitación del tanque a diseñar	40
Tabla 3-2 : Características del impelente tipo turbina de disco con hojas planas	44
Tabla 3-4: Desempeño de mezclado en el tanque agitador teniendo en cuenta su velocidad lineal superficial.	53
Tabla 3-5: Composición química y propiedades mecánicas del acero 304 L	54
Tabla 4-1: Composición química y propiedades mecánicas del acero 304 L	56

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
N_q	Flujo de descarga	m^2	
t_t	Tiempo de mezcla	s	
g	Gravedad	$\frac{m}{s^2}$	
T_m	Torque medio	$\frac{N}{m}$	
S_y	Resistencia de material	$\frac{N}{m^2}$	

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
ρ	Densidad	$\frac{Kg}{m^3}$	Np
μ	Viscosidad	$Pa \cdot s$	Figura 1-5

Subíndices

Subíndice	Término
q	Tasa de circulación

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>Min</i>	<i>Minutos</i>
<i>Seg</i>	<i>Segundos</i>
<i>Rps</i>	<i>Revoluciones por segundo</i>
<i>Rpm</i>	<i>Revoluciones por minuto</i>

Introducción

Desde el principio de la historia, el hombre de manera natural ha creado la necesidad de mezclar, ya sea desde mezclar alimentos utilizando los dedos o ramas de los arboles hasta la actualidad haciendo mezclas importantes de productos químicos, aleaciones de materiales. Los procesos de agitación y el mezclado son quizás unos de los procesos más utilizados en el campo de la ingeniería, la agitación es una operación unitaria que consiste en producir movimientos irregulares, en un fluido que por medio de dispositivos mecánicos que actúan sobre el mismo 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 y acelerando la transferencia de calor y de masa dentro de algún tipo de contenedor, esto sirve para acelerar ciertas operaciones en el ámbito industrial como absorción, extracción y transferencia calorífica. Mezclado es convertir un líquido con dos o más fases en una mezcla homogénea, es decir, si tengo una sustancia de una sola fase, puedo agitarlo, pero no mezclarlo, por ejemplo, si tengo agua en un recipiente puedo agitarlo, pero no mezclarlo, pero, si tengo agua con azúcar puedo agitarlo y mezclarlo.

En un tanque agitador lo que se busca es realizar las dos operaciones cuyas variables más importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar un tanque de agitación vertical son viscosidad del líquido, densidad, temperatura, velocidad y tiempo de agitación, ya que son ellas las que definen las características que deben tener el tanque agitador, tales como su geometría, tipo de tanque agitador, tipo de flujo, tipo de impelente (turbina, hélice, palas, ancla, paletas) si debe tener o no placas deflectoras y el motor. Lo que busca este estudio es presentar una propuesta de diseño de un tanque agitador apropiado para la mezcla de el biofertilizante.

En la empresa fertymax que está ubicada en el departamento del Huila cerca al municipio de La Plata fabrican un biofertilizante o fertilizante natural que es un insumo con microorganismos los cuales proveen y mejoran la absorción de nutrientes a los cultivos. Tienen como ventajas que permiten la producción a bajo costo ya que los fertilizantes químicos son mucho más costosos, protegen el medio ambiente y conservan el suelo desde el punto de vista de fertilidad.

Hay muchos tipos de biofertilizante y distintas maneras para el proceso de fabricación y de utilización, pero en este caso el biofertilizante es líquido que funciona para los productos solanáceas como la papa, tomate, uchuva, lulo, tabaco, etc...

El proceso de fabricación actual del biofertilizante consta de 3 etapas, la primera es se recogen aguas lluvias ya que estas no tienen cloro y se le adicionan algunos productos

biológicos donde se fermentan 30 días, pasados los 30 días se cuela la fermentación, la segunda etapa es que a esa mezcla se le aplican productos químicos donde se fermentan 15 días, la tercera y última etapa es donde se agita el producto por 60 minutos en un tanque de 20 litros donde actualmente este tanque presenta corrosión en varios puntos, el motor que tiene falla y tiene una capacidad que limita mucho el proceso de la última etapa de la fabricación.

Lo que busca con este proyecto es el diseño de un tanque agitador apropiado para la mezcla de el biofertilizante fabricado en la empresa fertymax con una mayor capacidad que el que hay actualmente y documentando si las características del tanque que hay actualmente son apropiadas para la mezcla de el biofertilizante.

1. Capítulo Marco Teórico Conceptual

1.1 Biofertilizante

Hace varios miles de años los hombres en su paso de nómada a sedentario obtenían el alimento se frutos, la caza y la pesca, pero cuando se creó la primera civilización conocida en la historia del hombre llamada Mesopotamia (actual Irak) donde formaron asentamientos fue que comenzó a agricultura. “Existen registros desde hace 2.500 años AC de la obtención de altos rendimientos de cebada en aquellas fértiles tierras ubicadas entre los ríos Tigris y Éufrates. Incluso algunos historiadores griegos de la antigüedad, como Heródoto, han dejado relatos sobre la feracidad de los suelos de ese lugar” (Sierra, 2017) donde fue que se sembraron los primeros cultivos con ayuda de las aguas de estos dos ríos y donde consiguieron cultivar los primeros frutos de alimento para la civilización mesopotámica. Con el paso del tiempo al ver que la tierra al ser utilizada frecuentemente que fue perdiendo la fertilidad, empezaron a practicar el uso de desechos vegetal y animal con el fin de restablecer la fertilidad al suelo y en busca de obtener mejores cosechas en sus cultivos. Los griegos lograron dominar gran parte de la agricultura donde después fueron copiados por los romanos. Entre los años 900 y 1000 Antes de cristo los griegos utilizaban el estiércol en sus cultivos de vino y los romanos señalaban la importancia de usar algunos desechos de leguminosas para mejorar y darle más fuerza al suelo. En el siglo XVI algunos escritos señalaban la importancia del agua como único alimento a las plantas y así como otros señalan la importancia de utilizar del estiércol y restos de plantas como mejoradores de suelo las cuales fueron las fuentes fertilizantes por muchos años. En el siglo XVIII tenían diversas teorías como que las plantas tenían fuego en estado de fijación y empezaron a probar como fertilizantes aceites, conchas de ostras, carbón, etc. En los siglos XIX y XX empezaron a estudiar y explicar factores de crecimiento de la planta y estudios la absorción de la planta del dióxido de carbono del aire, el hidrogeno del agua, la importancia del nitrógeno y el fosforo para la productividad de la planta y del suelo. En la época de los 60 fue que empezaron a fijar químicamente elementos como el fosfato, el amoniaco y el potasio a la planta y en la década de los 80 se empezaron a mezclar estos tipos de fertilizantes químicos y permitió elevar en la planta absorción de fosforo y potasio mejorándola en cuando a raíces y crecimiento, sim embargo, la manera indiscriminada del uso de estos fertilizantes químicos provoco una reacción de excesivos niveles de fósforo y potasio en

el suelo que hacían perder cultivos haciéndolos cada vez menos eficientes, la fertilidad y la biología del suelo con cada vez menos retención de agua. Con el paso del tiempo se crearon los biofertilizante que son productos amigables con la biología del suelo y de la planta, el biofertilizante o fertilizante natural que es un insumo con microorganismos los cuales proveen y mejoran la absorción de nutrientes a los cultivos. Los biofertilizante “han emergido como una panacea para la agricultura orgánica y sostenible donde estos biofertilizante pueden ser aplicados a las semillas, la superficie de las plantas o el interior de la planta, y promover el crecimiento al aumentar la disponibilidad de nutrientes primarios a la planta” (Natalí, 2017). Hay muchas clases de fertilizantes en el mundo que se utilizan en los cultivos ya sean fertilizantes químicos, residuos de cosechas, residuos de animales, lluvias y biofertilizante fabricados de diferentes maneras con sus características propias. En la actualidad “Colombia tiene 23 millones de hectáreas aptas para cultivar de las cuales solo se aprovechan 7 millones” (Alfonso, 2018) según el ministro de agricultura donde uno de los principales problemas que presentan es el uso de fertilizantes químicos ya que el uso indiscriminado podría generar pérdida de fertilidad en el suelo y contaminación en los cuerpos de agua.

1.1.1 Tipos de biofertilizante

El biofertilizante están hechos principalmente de bacterias, hongos y microorganismos dentro de los tipos están:

- Fijadores de Nitrógeno
- Microorganismos solubilizadores de fosfato
- Movilizadores de fosfato
- Movilizadores de zinc y potasio

1.1.2 Ventajas y beneficios

La mayor diferencia entre el biofertilizante y fertilizantes químicos es que los biofertilizante están hechos de productor biológicos naturales como los son los hongos y bacterias y los fertilizantes químicos están hechos de productos como amoniaco, sodio, nitrógeno, potasio, fosforo, entre otros. En la tabla 1-1 presentamos las ventajas y beneficios.

Tabla 1-1|: Ventajas y beneficios.

Fertilizantes químicos	Fertilizantes naturales
Alto costo	Bajo costo
Su uso indebido tiene como consecuencia contaminación	Enriquece al suelo ofreciendo gran cantidad de nutrientes
Perdida de fertilidad del suelo	Mejora la fertilidad del suelo
Fácil aplicación y elaboración	Aplicación y elaboración complicada
Agregan a la planta poca cantidad de nutrientes	Incrementa la vida en el suelo
Puede llegar a dañar la plantación si se aplica excesivamente	Humidifica la tierra
Provoca sequedad en la tierra	Mejora la estructura del suelo y protección contra patógenos

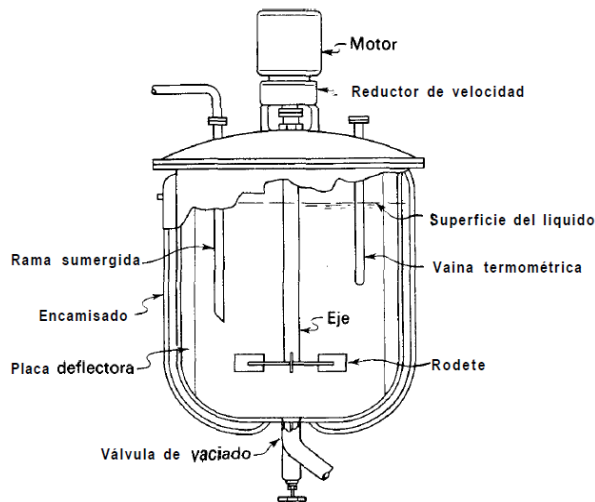
(Fuente: Propia)

1.2 Tanques agitados

La agitación es una operación unitaria utilizada por el hombre desde el principio de los tiempos que utilizaban la agitación mecánica para crear pasiones, alimentos, bebidas y hasta sus viviendas, después, cuando surgió la industria, esta operación unitaria tomó gran importancia en todas las ramas de la industria ya sea para la fabricación de productos alimenticios, productos cosméticos, productos farmacéuticos, metal, material para construcción, vidrio, papel, materiales polímeros, etc... fue tomando gran importancia en varias disciplinas como las ingenierías, biología y ciencias que encontraron junto con la utilización del método científico la mejora de procesos utilizando la agitación mecánica y fueron creando las nuevas tecnologías y métodos utilizados. “¡Hace cuarenta años, la determinación de la velocidad del agitador todavía requería un cronómetro o un estroboscopio!” (Stirring: Theory and Practice, 2011) y fue gracias a todos estos estudios y avances que junto con la tecnología y “La investigación está cambiando cada vez más hacia la simulación matemática de los procesos de agitación” (Stirring: Theory and Practice, 2011) donde garantizan un diseño estándar de agitadores donde la altura del líquido debe ser igual al diámetro del agitador y para cualquier operación unitaria, garantizan una mejor distribución de la potencia inducida al volumen del líquido y la utilización de diferentes equipos y procedimientos para la preparación desde una simple mezcla de leche en polvo con agua cristalina que necesita de

diferentes equipos y proceso de agitación que una mezcla de concreto. En el tanque aparte de la agitación también se produce otra operación unitaria que es el mezclado con el cual suelen confundirlo, el mezclado es una operación unitaria que consiste en agitar (aumentar la transferencia de calor) dos o más fases de un líquido y obtener una mezcla homogénea, es decir, de una fase. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que los términos como agitar y mezclar son procesos de operaciones de unificación. Los tanques son uno de los dispositivos más utilizados en las industrias debido a su inmensa flexibilidad al momento de diseño y en cuanto a las condiciones de flujo que se pueden realizar en este dispositivo. Los tanques agitados son dispositivos móviles o estáticos, Los móviles donde sus aplicaciones más trascendentes suelen ser en la industria cementera y están los mezcladores estáticos o de carcasa estacionaria donde en su interior se genera el mezclado.

Figura 1-1: Tanque típico de proceso de agitación



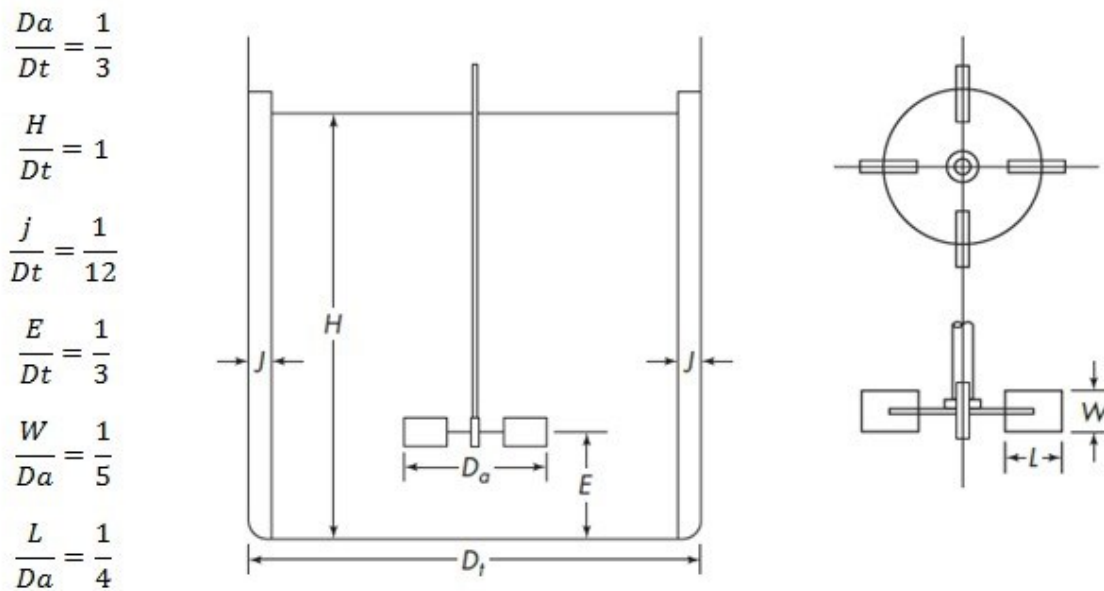
(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

El funcionamiento de un tanque agitador básicamente consiste en un recipiente cilíndrico y un agitador mecánico montado en un eje que es accionado por un motor eléctrico. Las proporciones y características del tanque agitador varían con respecto a su aplicación, el fondo del tanque debe ser redondeado para eliminar bordes rectos y que el flujo penetre todo el tanque, la altura del líquido es aproximadamente igual a la altura del tanque. Según el libro de procesos de transporte y operaciones unitarias los objetivos de la agitación son los siguientes:

- Mezclado de dos líquidos miscibles, tales como alcohol y agua.
- Disolución de sólidos en líquidos, tales como sal y agua.
- Dispersión de un gas en un líquido en forma de burbujas pequeñas, como en el caso del oxígeno del aire en una suspensión de microorganismos para la fermentación, o para el proceso de activación de lodos en el tratamiento de aguas de desperdicio.
- Suspensión de partículas sólidas finas en un líquido, tal como en la hidrogenación catalítica de un líquido, donde las partículas del catalizador sólido y las burbujas de hidrógeno se dispersan en un líquido.
- Agitación de un fluido para aumentar la transferencia de calor entre dicho fluido y un serpentín o una camisa en las paredes del recipiente.

1.3 Geometría estándar de tanque agitado de turbina

Históricamente los tanques agitados son producidos de diferentes tipos, tamaños, geometrías, impelentes, Sin embargo, en el período comprendido desde finales de los años 40 hasta principios de los 60 se definió una configuración geométrica estándar para los equipos de agitación en sistemas monofásicos turbulentos. “Esta configuración se desarrolló a partir de los estudios de consumo de potencia desarrollados por Rushton y colaboradores, y debe ser considerada como una configuración geométrica de referencia para comenzar cualquier estudio de agitación o mezclado en flujos” (García Cortés & Jáuregui-Haza, 2006), sin embargo, la configuración geométrica depende del proceso al que vaya proyectado el tanque, ya que ha limitado mucho las investigaciones sobre la configuración geométrica de un tanque agitado por que la toman como una configuración geométrica óptima para todo proceso. La toma de decisiones en el diseño de un tanque agitado como el tipo de impelente, el número de impelentes, proporciones del mismo tanque, número y proporciones de los deflectores influyen en los patrones de velocidad del líquido y el consumo de potencia. La proporción estándar es:

Figura 1-2: Mediciones típicas de tanque agitado

(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

1.4 Patrones de flujo en los tanques agitados

Haciendo una revisión bibliográfica se detectó que el flujo generado por una turbina de disco es la más estudiada ya que estas presentan una gran flexibilidad en cuanto al diseño del tanque apropiado y se dedujo que hasta los años 80 el mayor estudio fue dedicado a las mediciones del flujo en la corriente de descarga del impelente, mientras que los estudios de la corriente y las características del flujo en el resto del tanque eran pocos. Así que actualmente se le ha prestado más atención y se han hecho más estudios extendiendo las mediciones a las tres dimensiones, características de flujo generado por una turbina y el consumo de energía cinética del flujo en el tanque, garantizando una mejor distribución de la potencia inducida por el impelente al volumen del fluido. En los años 90 varios estudios de patrones de flujo realizados con velocímetro laser de efecto dobles con un solo impelente y con doble impelente y Galleti y colaboradores estudiaron “la transición del patrón de flujo doble lazo a un solo lazo, pasando por un estado transitorio, en dependencia de la claridad de la turbina con respecto al fondo de la vasija, en el sistema con un solo impelente.” (García Cortés & Jáuregui-Haza, 2006) y dedujeron que en el estado transitorio “el flujo varía entre los dos patrones de flujo de una forma periódica, con una frecuencia relacionada de forma lineal con la velocidad de rotación del impelente” (García Cortés & Jáuregui-Haza, 2006). Es decir que el flujo varía entre el

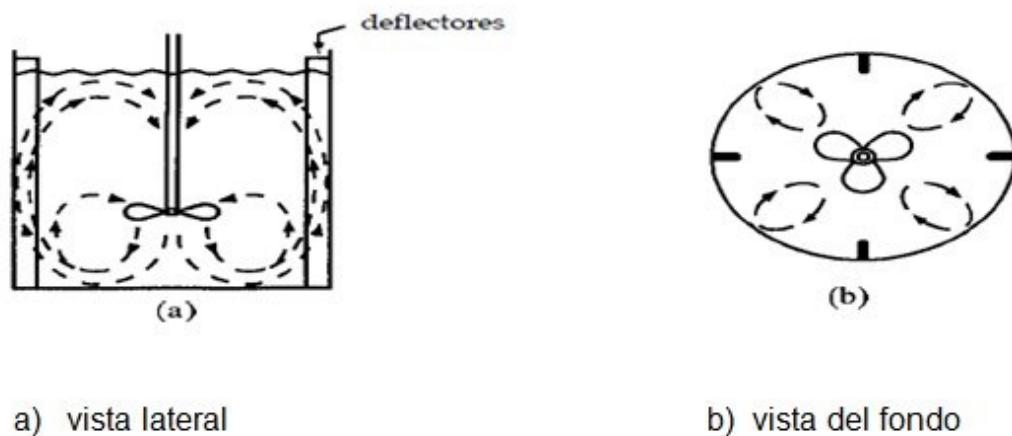
laminar y el turbulento, laminar en las paredes del tanque y turbulento en el impelente y que el flujo está relacionado de forma lineal con la velocidad de rotación del impelente.

Existen dos patrones de flujo en los tanques agitados, flujo axial, flujo radial, estos van a depender del tipo y tamaño de impelente, geometría del tanque y la utilización de deflectores. Un tanque sin deflectores a velocidades altas crea remolino o vórtice y en realidad el líquido no se mezcla.

1.4.1 Flujo axial

Generan corrientes paralelas al eje del impulsor. El fluido fluye axialmente hacia abajo del eje central y hacia arriba en los lados del tanque.

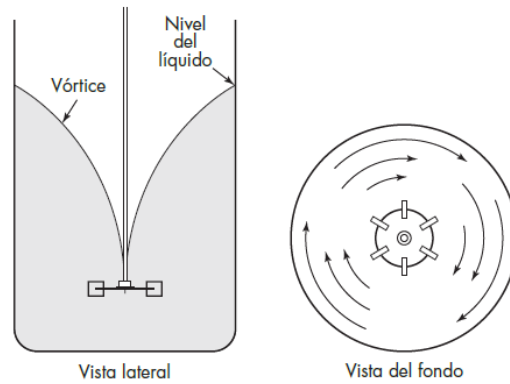
Figura 1-3: Flujo interno de un tanque agitado



(Fuente: (Geankoplis, 1998))

1.4.2 Flujo radial

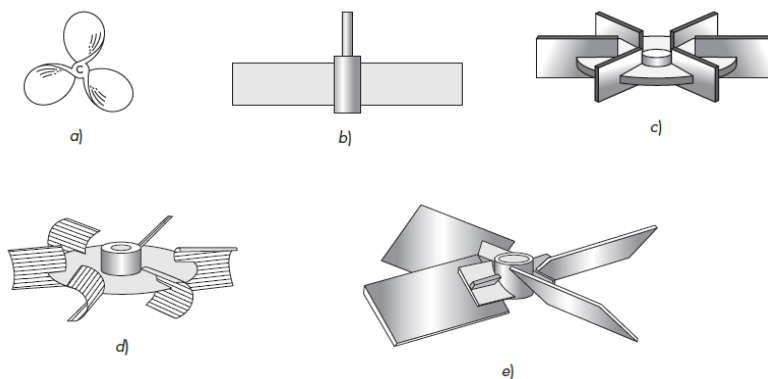
Generan corrientes en dirección radial tangencial al eje del impulsor. Flujo radial en un tanque sin deflectores.

Figura 1-4: Patrón de Flujo turbulento radial en tanque sin deflectores

(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

1.5 Impelentes

Los impelentes son los que crean el modelo de flujo del tanque agitado y se dividen en dos clases, los impelentes de flujo axial y los impelentes de flujo radial. Existen muchos tipos de impelente tales como de turbina, hélice, paletas, ancla, pala. Pero los primeros tres son los que resuelven tal vez el 95% de todos los problemas de agitación de líquidos.

Figura 1-5: Agitadores para líquidos de viscosidad moderada: a) agitador hélice de 3 pala; b) turbina simple pala recta; c) turbina de disco; d) turbina disco de pala cóncava; e) turbina de pala inclinada

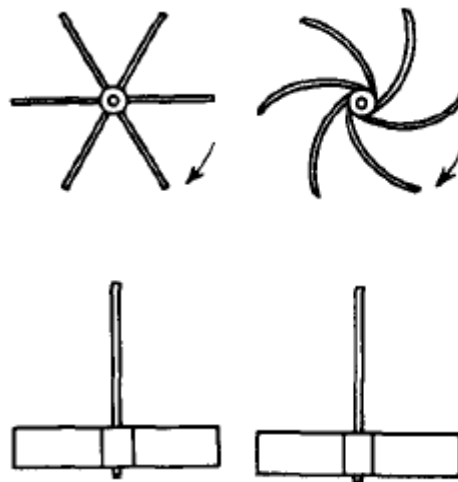
(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

1.5.1 Características del Impelente tipo turbina

- Giran a velocidades medias o elevadas, se consideran velocidades medias de 100 rpm a 300 rpm y altas de 300 rpm a 1000 rpm.
- El diámetro del impelente (D_a) puede variar entre un 30% y un 50% del diámetro del tanque (D_t).
- Eficaces para amplio intervalo de viscosidades.
- Intenso esfuerzo de corte y cizalladura.
- Flujo radial.
- En líquidos de baja viscosidad generan fuertes corrientes en todo el tanque destruyendo bolsas de fluido estancado
- Normalmente se utilizan de 4 a 6 aspas

1.5.1.1 Impelente tipo turbina de hojas planas y hojas curvas

Figura 1-6: Rodetes de mezcla; Impelente tipo turbina de hojas planas y hojas curvas

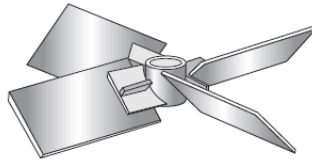


(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

- Flujo radial tangencial, crea corrientes que van en dirección a la pared del tanque
- Viscosidad del medio $< 0.11 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Velocidades entre 20 rpm y 150 rpm
- Hojas planas útiles para dispersión gas líquido
- Hojas curvas útiles para dispersar materiales fibrosos

1.5.1.2 Impelente tipo turbina de hojas inclinadas

Figura 1-7: Impelente tipo turbina de hojas inclinadas

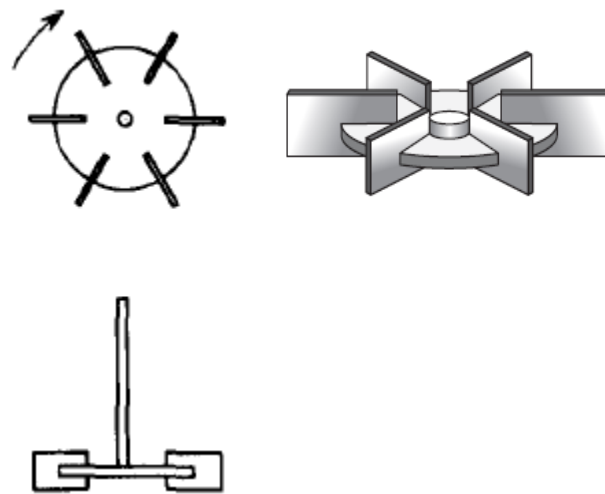


(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

- Se emplea cuando la circulación global es importante
- Combinación de flujo axial y radial las corrientes fluyen hacia abajo y luego levantan los sólidos
- Eficaces para sólidos en suspensión
- Tipo de flujo de transición y turbulento
- Velocidad tangencial 3 m/s a 8 m/s
- Viscosidad del medio $< 100 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

1.5.1.3 Impelente tipo turbina de disco con hojas planas

Figura 1-8: Impelente tipo turbina de disco con hojas planas

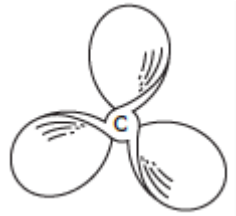


(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

- Se emplea con frecuencia para líquidos o dispersión de gas líquido
- El disco le da mayor estabilidad
- Crea zonas de alta velocidad de corte
- Tipo de flujo radial
- Régimen de flujo de transición o turbulento
- Velocidad tangencial de 3 m/s a 7 m/s
- Viscosidad del medio $< 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

1.5.2 Impelente tipo hélice

Figura 1-9: Impelente tipo hélice

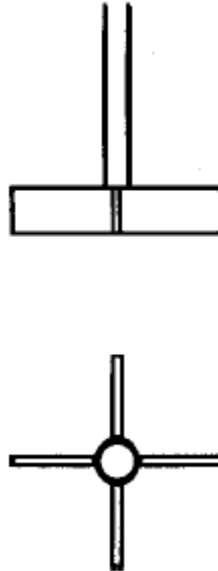


(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

- Flujo axial altamente turbulento las corrientes salen del impelente a una dirección determinada hasta que chocan con la pared del tanque.
- Trabaja a altas velocidades
- Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad del motor de 1150 rpm o 1750 rpm
- Las grandes giran de 400 rpm a 800 rpm
- Velocidad tangencial de 3 m/s a 15 m/s
- Viscosidad del medio $< 8 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Favorecen el intercambio de calor
- Se emplea para líquidos poco viscosos
- Cortan o cizallan fuertemente el líquido
- Eficaces para tanques de gran tamaño

1.5.3 Impelente tipo pala

Figura 1-10: Impelente tipo pala

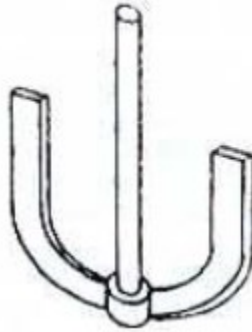


(Fuente: (Couper, Roy Penney, Fair, & Walas, 2012))

- Pueden ser de 2 o 4 palas
- Giran a bajas y medias velocidades entre 20 rpm y 150 rpm
- Flujo radial la corriente se desplaza hacia afuera del tanque y después hacia abajo
- El diámetro del impelente (D_a) puede variar entre un 50% a un 80% del diámetro del tanque (D_t)
- Cuando las palas giran a muy bajas velocidades no es necesario utilizar deflectores
- Régimen laminar
- A altas velocidades se usan deflectores, sin ellos el líquido hace remolinos y en realidad no se mezcla
- A bajas velocidades se crea una agitación suave
- Se suelen usar para procesar pastas de almidón, pinturas, adhesivos, cosméticos

1.5.3.1 Impelente tipo pala de ancla

Figura 1-11: Impelente tipo pala de ancla

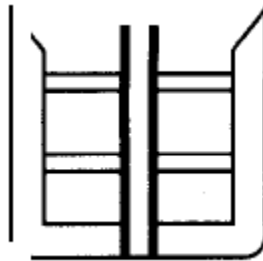


(Fuente: (Uribe, 2013))

- Su capacidad de mezcla con respecto a otros sistemas no es optima
- En la mayoría de los casos trabaja junto con un agitador de alta velocidad que gira en sentido contrario
- Flujo radial
- Velocidad hasta 2 m/s
- Viscosidad del medio hasta 1000 Pa·s
- Favorece el intercambio de calor
- Régimen laminar

1.5.3.2 Impelente tipo pala de paleta

Figura 1-12: Impelente tipo pala de paleta



(Fuente: (Uribe, 2013))

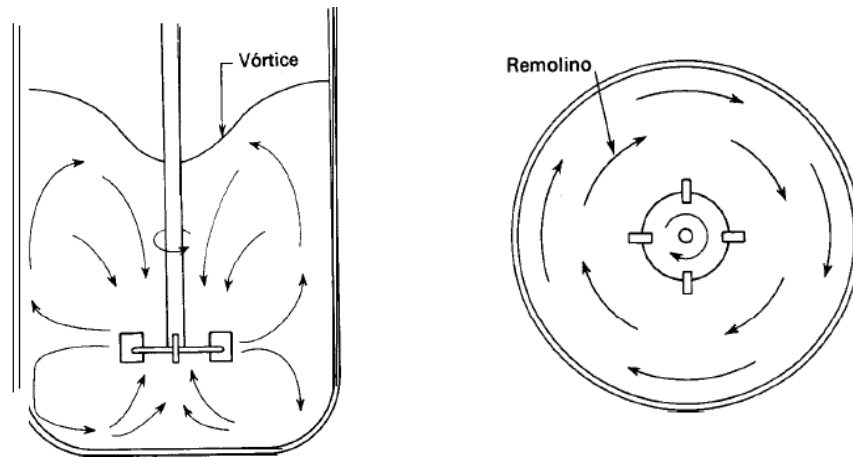
- Se utiliza principalmente para fluidos muy viscosos
- Trabaja a velocidades bajas de 2 m/s a 5 m/s
- Viscosidad del medio hasta 10 Pa·s
- Flujo radial
- A bajas velocidades se crea una agitación suave
- A altas velocidades se usan deflectores, sin ellos el líquido hace remolinos y en realidad no se mezcla

1.6 Vórtice

En un flujo circulatorio o remolino esto causa que se atrape el aire, oleadas y otros efectos perjudiciales ya que “las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga; desde ahí caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente, en vez de mezcla se produce la acción contraria, o sea, concentración. Debido a que en el flujo circulatorio el líquido fluye en dirección del movimiento de las palas del impulsor y, por consiguiente, disminuye la velocidad relativa que existe entre las palas y el líquido, se limita la potencia que puede ser absorbida por el líquido.” Según el libro de operaciones unitarias en ingeniería química.

Para viscosidades mayores de unos 2.5 Pa·s a 5 Pa·s o más, los deflectores no se necesitan porque hay poca turbulencia. En un tanque cuando la turbulencia es intensa y no posee deflectores es ahí cuando se crea el vórtice, pero cuando el flujo es suave no se necesitan deflectores.

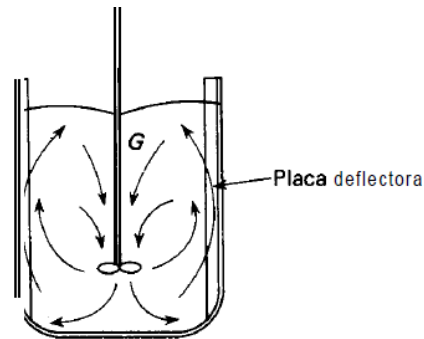
Figura 1-13: Vórtice



(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

1.7 Deflectores

Es una de las maneras para evitar el vórtice. Los deflectores son elementos que van ubicados radialmente en las paredes interiores del tanque. Generalmente se utilizan 4 deflectores que tengan la anchura de $1/12$ del diámetro del tanque (D_t) para turbinas y propulsores. Cuando existe flujo laminar el tanque consume la misma potencia con o sin deflectores, sin embargo, para flujos turbulentos o de transición que son $> 10 Re$ si son necesarias para evitar el vórtice.

Figura 1-14: Deflectores

(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

1.8 Consumo de potencia en tanques agitados

El consumo de potencia es la transferencia de energía mecánica generada por el impelente que se transfiere al fluido newtoniano por medio de fricción. Potencia suministrada es igual a la potencia consumida por el fluido, la potencia forma parte de la correlación que describe la hidrodinámica del tanque, y se expresan de la siguiente manera:

$$N_p = f(F_r, N_{Re}) \quad (1)$$

N_p : Numero de potencia.

F_r : Numero de Froude.

Re : Numero de Reynolds.

1.8.1 Número de potencia

El número de potencia es la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre unidad de área del impulsor y la fuerza de inercia. “es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia. la presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de

Reynolds". (DISEÑO-CONSTRUCCION E INSTALACION DE TANQUE AGITADOR, 2013)

$$N_p = \frac{P}{N^3 D a^5 \rho} \quad (1.1)$$

N_p : Numero de potencia

P : Potencia en J/s o Watts

N : Velocidad de rotación en rev/s

Da : Diámetro del impelente (Da) en m

ρ : Densidad del fluido en kg/m^3

1.8.2 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un factor trascendental ya que puede relacionarse con el régimen de flujo, ya que este es el que define la presencia o ausencia de turbulencia en un tanque agitado.

$$N_{Re} = \frac{Da^2 N \rho}{\mu} \quad (1.2)$$

N_{Re} : Numero de Reynolds

Da : Diámetro del impelente en m

N : Velocidad de rotación en rev/s

ρ : Densidad del fluido en kg/m^3

μ : Viscosidad del fluido en $Pa \cdot s$

“el flujo es laminar en el tanque cuando $N_{Re} < 10$, turbulento cuando $N_{Re} > 10000$ y para intervalo de 10 a 10000, el flujo es de transición, mostrándose turbulento en el impulsor y laminar en las partes más recónditas del tanque.” (Procesos de transporte y operaciones unitarias, 1998)

1.8.3 Número de Froude

Se utiliza para el cálculo del consumo de potencia a falta de placas deflectoras en un tanque que genera ondas importantes. Es una medida que relaciona la fuerza de inercia y la fuerza gravitacional por unidad de área que actúa sobre el fluido.

$$F_r = \frac{N^2 d}{g} \quad (1.3)$$

F_r : Numero de Froude

N : Velocidad de rotación en *rev/s*

d : Diámetro del tanque (Dt) en *m*

g : Aceleración de la gravedad en *m/s*

2. Capítulo Método de Cálculo

2.1 Objetivo General

Presentar una propuesta de diseño de un tanque agitador adecuado para el proceso de fabricación de un fertilizante natural en la empresa Fertimax.

2.2 Objetivos específicos

- Establecer las condiciones actuales del proceso de agitación del biofertilizante.
- Determinar parámetros de diseño del tanque agitador.
- Diseñar el tanque agitador.

2.3 Actividades

Tabla 2-1: Cronograma de actividades.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	SEMANAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Establecer las condiciones actuales del proceso de agitación del biofertilizante.	Evaluar y documentar el proceso actual de agitación del biofertilizante.	x	x														
	Estudiar y documentar las características físicas del biofertilizante.		x	x													
Determinar parámetros de diseño del tanque agitador.	Definir con base a los estudios realizados en las anteriores actividades, cuales son las características del tanque agitador apropiado a diseñar.			x	x	x											
	Realizar los calculos necesarios para el diseño del tanque agitador.					x											
	Calcular y seleccionar los elementos del tanque agitador						x	x									
	Evaluar y revisar los calculos y los parametros definidos para el diseño del tanque.							x	x								
Diseñar el tanque agitador.	Diseñar un tanque apropiado para el proceso de agitación del biofertilizante.								x	x	x	x	x	x	x	x	
	Definir el costo monetario que se debe invertir para materializar el tanque agitador.																x

(Fuente: propia)

2.4 Investigación preliminar

2.4.1 Presentación del problema

Actualmente en la empresa FERTIMAX ubicada en la Plata-Huila, una micro empresa que fabrica fertilizante natural con la necesidad de aumentar su producción y tecnificar el proceso de fabricación del biofertilizante, este proceso tiene unas etapas, la primera es donde se fermenta la materia prima en un tiempo determinado, la segunda etapa se fermenta en otro tiempo determinado la materia prima de la primera etapa con algunos productos químicos y la tercera etapa es donde se agita y se mezcla todo este proceso en el tiempo de 60 minutos. En esta tercera etapa es para la cual este proyecto está enfocado, en el proceso de agitación el tanque agitador actual de la empresa donde se lleva a cabo la tercera y última etapa del proceso, tiene una capacidad máxima de tan solo 20 litros, el proceso de agitación en el material es interrumpido por su poca capacidad, parte del material del que está hecho tiene corrosión, además, no tiene un sistema de envasado. Teniendo todo esto en cuenta lo que busca este proyecto es hacer una propuesta de diseño de un tanque agitador adecuado para proceso de biofertilizante, con una mayor capacidad del que hay actualmente.

Figura 2-1: Foto de los cultivos de tabaco la empresa fertymax donde aplican y experimentan el biofertilizante.



(Fuente: Propia)

Me es importante nombrar que este fertilizante esta aplicado mayormente para productos del genero Solanum y Colombia como país tropical puede garantizar la producción de

muchas especies de esta familia como lo es cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), papa criolla (*Solanum phureja*), tomate (*Solanum lycopersicon*), uchuva (*Physalis peruviana*), lulo (*Solanum quitoense*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), ají (*Capsicum sp.*), pimentón (*Capsicum annum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) son los principales cultivos de solanáceas de importancia económica.

2.4.2 Fabricación el biofertilizante

En la empresa fertymax la fabricación del biofertilizante de realiza en tres etapas.

Tabla 2-2: Etapas del proceso de fabricación del biofertilizante

Etapas del proceso de fabricación del biofertilizante			
Numero de etapa	Nombre de etapa	Descripción	tiempo de duración
Etapa 1	Fermentación de productos biológicos	Se recogen aguas lluvia (no contiene cloro) en un balde donde se le adicionan productos biológicos que no son nombrados por respeto a la empresa y su receta. Cantidad nominal del balde donde se recogen las aguas lluvias 100 L	30 Días
Proceso de colado			
Etapa 2	Fermentación con productor químicos	Se pasa colado a otro balde donde se le agregan productos químicos como el nitrógeno, el fosforo y otros más, donde se deja fermentando.	15 Días
Proceso de colado			
Etapa 3	Agitación en el tanque	Se vierte la fermentación en el tanque donde se mezcla	60 minutos

(Fuente: propia)

Cabe resaltar que no se nombraron todos los elementos que componen el fluido y las fermentaciones ya que estos son secretos propios de la fabricación del biofertilizante en la empresa y que las etapas están hechas a percepción visual y olfativa por lo cual es de manera subjetiva y se supervisan en cada etapa por parámetros como el olor y el color del fluido. La etapa 3 es donde está direccionado este proyecto donde la empresa nos dio unas condiciones físicas del biofertilizante antes de agitar son (μ) viscosidad del

fluido biofertilizante es entre 1.3 Pa·s y 1.5 Pa·s y la (ρ) densidad del fluido es de 1420 kg/m^3 .

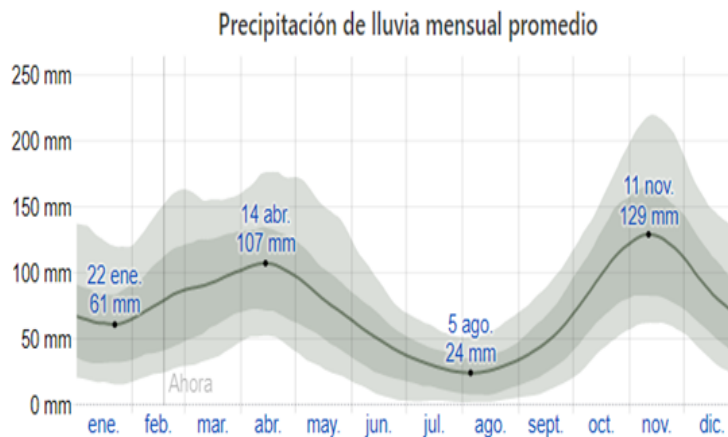
Figura 2-2: Foto tomada de la empresa fertymax del biofertilizante en etapa de fermentación.



(Fuente: Propia)

2.4.3 Precipitación de lluvia mensual promedio en La Plata-Huila

Figura 2-3: Índice de precipitación mes por mes en el año en La Plata



(Fuente: (Diebel, Norda, & Kretchmer, s.f.))

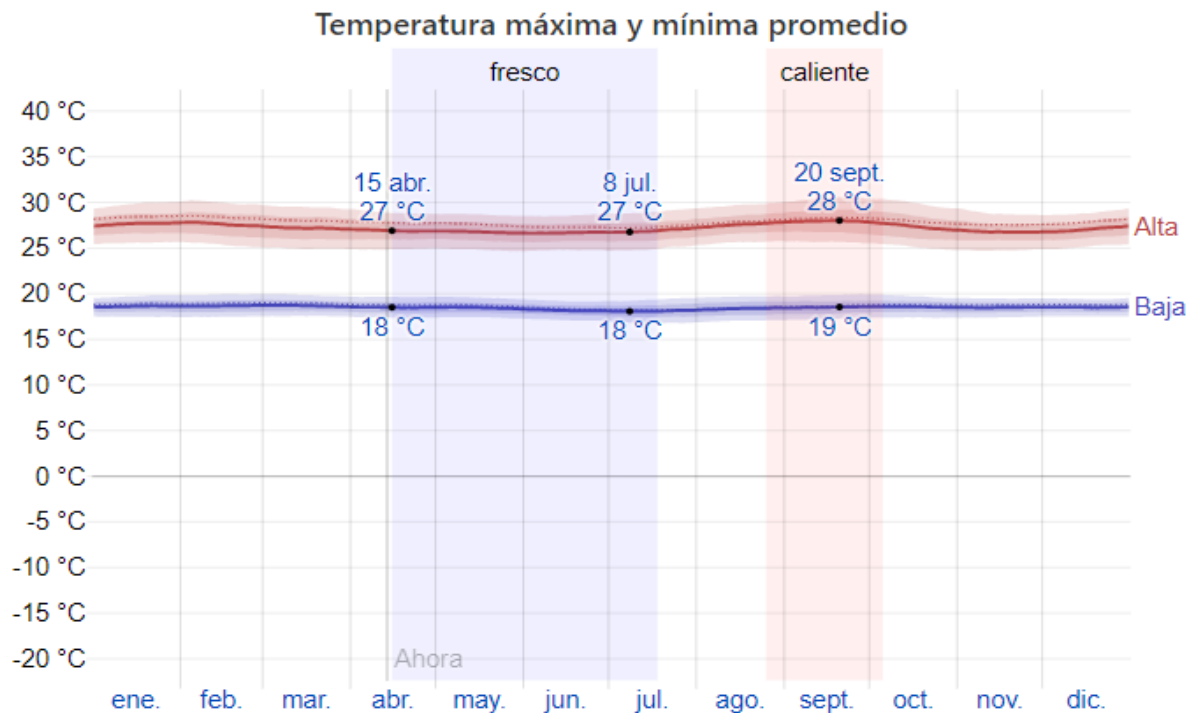
La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 11 de noviembre, con una acumulación total promedio de 129 milímetros. La fecha aproximada con la

menor cantidad de lluvia es el 5 de agosto, con una acumulación total promedio de 24 milímetros.

En La Plata-Huila llueve todo el año por lo cual el mayor insumo de la fabricación del biofertilizante que es el agua lluvia no es un problema ya que este insumo la empresa lo utiliza porque no contiene cloro y tendría que hacer otro proceso para tener agua sin cloro. Pero donde se presentan los picos más altos de precipitación de agua lluvia es en los meses marzo, abril, mayo, octubre y noviembre.

2.4.4 Temperatura promedio en La Plata-Huila

Figura 2-4: Índice de temperatura promedio mes por mes en el año en La Plata



(Fuente: Propia)

La temporada templada dura 1,4 meses, del 25 de agosto al 5 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 28 °C. El día más caluroso del año es el 20 de septiembre, con una temperatura máxima promedio de 28 °C y una temperatura mínima promedio de 19 °C.

La temporada fresca dura 3,1 meses, del 15 de abril al 18 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 27 °C. El día más frío del año es el 8 de julio, con una temperatura mínima promedio de 18 °C y máxima promedio de 27 °C.

La agitación del biofertilizante se hace a una temperatura ambiente, en la empresa no le adicionan calor al tanque agitador ni a la mezcla, entonces, la máxima temperatura a la que se agita este fluido es 28°C y la mínima es 18°C.

2.4.5 Condiciones actuales de agitación del biofertilizante

Actualmente la empresa realiza la etapa 3 del proceso de fabricación del biofertilizante en un tanque agitador con el cual no tuvieron ningún tipo de estudio previo a la utilización, solo fueron y lo compraron y no se percataron si las características de este tanque agitador eran idóneas para la agitación del biofertilizante teniendo en cuenta sus propiedades físicas. El tanque agitador actual presenta corrosión en algunas partes, con un impelente inusual de turbina ya que en libros cuya configuración se fijó en los años 60 pero este tipo de impelente no aparece dentro de las configuraciones estándar, el motor eléctrico de 1 hp que gira a 1800 rpm y tiene una polea reductora presenta fallas ya que han tenido que enviarlo a reparar.

Figura 2-5: Fotos tomadas del estado del tanque agitador actual



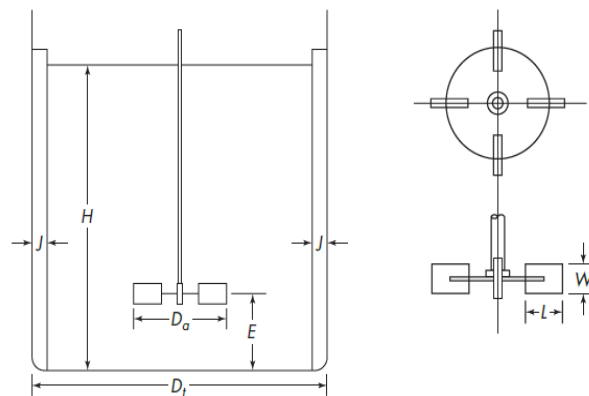
(Fuente: Propia)

- Fluido a agitar: Biofertilizante
- Tiempo de operación: 60 minutos
- Presión: 1bar
- Temperatura de trabajo: entre 19°C y 28°C

- Densidad del fluido: 1420 kg/m^3
- Viscosidad del fluido: entre $1.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ y $1.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Material: Acero inoxidable
- Espesor: calibre 16 (1.52 mm)
- Velocidad de rotación: $540 \text{ rpm} > 300 \text{ rpm}$ velocidad alta
- Volumen del tanque: 0.02 m^3
- Capacidad del taque: 20 Litros (0.2 m^3)

2.4.6 Geometría del tanque agitador actual

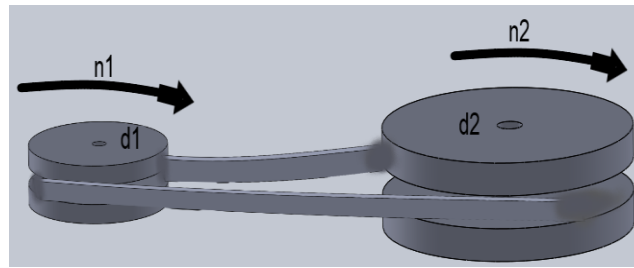
Figura 2-6: Mediciones típicas de tanque agitado



(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

- Diámetro del tanque (D_t): 29.4 cm
- Altura del tanque: 39 cm
- Altura del líquido (H): 29.4 cm
- Diámetro del Impelente (D_a): 9.8 cm
- Medida del fondo del tanque hasta el impelente (E): 10 cm
- Ancho de las aspas del impelente (W): 4 cm
- Sin deflectores
- Fondo plano cuya recomendación en tanques agitadores es que el fondo sea redondo para que no se acumule fluido y/o material

Presenta un motor monofásico de 1 hp que gira a 1800 rpm que tiene una polea reductora que reduce el rpm aproximadamente a 540 rpm.

Figura 2-7: Figura de la relación de las poleas del tanque agitador actual

(Fuente: propia)

- $n1$: 1800 rpm
- $d1$: 6 cm
- $d2$: 20 cm

$$i = \frac{n1}{n2} = \frac{d2}{d1}$$

i : Relación de transmisión

$n1$: Velocidad de giro de la polea motriz

$n2$: velocidad de giro de la polea conducida

$d1$: Diámetro de la polea motriz

$d2$: Diámetro de la polea conducida

Entonces; si $d1 < d2$ es un sistema reductor.

Figura 2-8: Imagen del tanque agitador actual

(Fuente: Propia)

$$\frac{d2}{d1} = i; \frac{20}{6} = 3.33$$

Seguidamente,

$$i = \frac{n1}{n2}$$

$$n2 = \frac{n1}{i}; n2 = \frac{1800 \text{ rpm}}{3.33};$$

$$n2 = 540 \text{ rpm}$$

$$540 \text{ rev/min} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 9 \text{ rev/s}$$

2.4.7 Calculo de numero de Reynolds tanque actual

Para el cálculo del número de Reynolds actual del tanque agitador se utilizaron las siguientes variables:

- Da : 0.098 m
- N : 9 rev/s
- ρ : 14020 kg/m³
- μ : 15 Pa·s

$$N_{Re} = \frac{Da^2 N \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{(0.098^2)(9)(1420)}{15} = 81.826$$

El régimen que presenta el tanque agitador es de transición ya que es $10 < 81.826 < 10000$, mostrándose turbulento en el impulsor y laminar en las partes más recónditas del tanque.

2.4.8 Numero de Froude del tanque actual

Como en este caso el tanque actual no cuenta con placas deflectoras se le calcula ya que es una medida que relaciona la fuerza de inercia y la fuerza gravitacional por unidad

de área que actúa sobre el fluido, cuando el tanque cuenta con placas deflectoras en el tanque no se generan ondas importantes.

$$N: 9 \text{ rev/s}$$

$$d: 0.294 \text{ m}$$

$$g: 9.81 \text{ m/s}$$

$$F_r = \frac{N^2 d}{g}$$

$$F_r = \frac{(9^2)(0.294)}{9.81} = 2.43$$

2.4.9 Cálculo del número de potencia del tanque actual

N_p es el numero proporcional a la fuerza de rozamiento que actúa sobre unidad de área del impulsor y la fuerza de inercia.

El consumo de potencia es la potencia requerida para mover el impelente y para estimarla se tienen correlaciones empíricas para los requerimientos ya que no puede predecirse teóricamente.

N_p : Numero de potencia

P : Potencia en J/s o Watts

$$N: 9 \text{ rev/s}$$

$$Da: 0.098 \text{ en } m$$

$$\rho: 1420 \text{ kg/m}^3$$

$$N_p = \frac{P}{N^3 D a^5 \rho}$$

Para el cálculo de N_p y de P el impelente que presenta el tanque agitado actual es un impelente tipo turbina de 3 palas planas cerrado el cual no se encuentra dentro los cálculos de las configuraciones estándares en los libros de operaciones unitarias de tanques agitados. Se sabe que es un impelente tipo turbina por su geometría, pero los impelentes tipo turbina estándar son de 6 palas rectas, inclinadas o curvas y mínimo de 4 palas. Entonces para hacer este estudio del tanque agitador actual y su N_p aproximado

se realizaron los cálculos con un tipo impelente de turbina estándar de 6 palas planas para un tanque sin deflectores con el fin de estimar la potencia.

Para el cálculo de N_p para un impelente tipo turbina de 6 palas planas con o sin placas deflectores es la siguiente gráfica. Allí se muestran los factores de forma relacionados con las medidas del tanque y del impelente donde es:

$$S1 = Da/Dt = 0.33$$

$$S2 = E/Da = 1$$

$$S3 = L/Da = 0.25$$

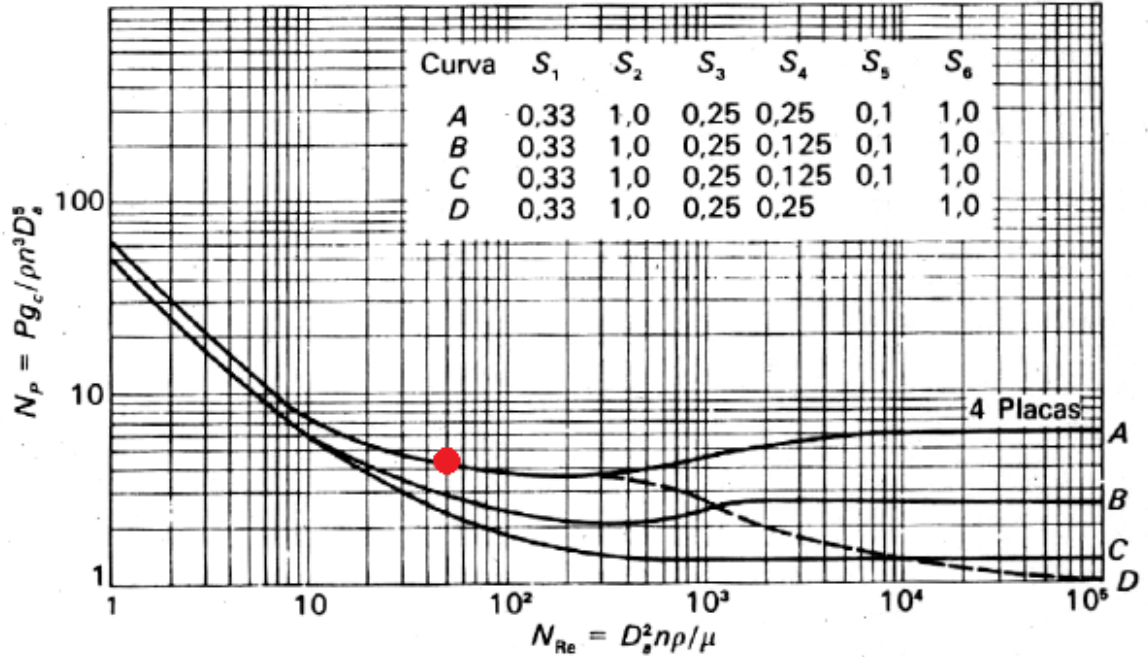
$$S4 = h/Da = 0,25$$

$$S5 = W/Dt = \text{No aplica}$$

$$S6 = H/Dt = 1$$

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

Figura 2-9: tabla de número de potencia contra número de Reynolds para impelentes tipo turbina de 6 palas.



(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

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

$$P = N_p (N^3 d^5 \rho)$$

$$P = (7)(9^3)(0.098^5)(1420) = 65.5 \text{ W} = 0.087 \text{ Hp}$$

2.4.10 Flujo interno del tanque actual(*q*)

Es la cantidad de flujo perpendicular al área de descarga del impelente. También es llamada la taza de circulación interna, se representa por la ecuación:

$$q = N_Q N D a^3$$

q : Tasa de circulación.

N_Q : es constante para cada tipo de impulsor. Esto permite calcular el flujo de descarga desde la punta del impulsor y no el flujo total generado. "La corriente de alta velocidad del líquido que abandona la punta del impulsor arrastra algo del líquido global que se mueve con lentitud y que desacelera el chorro, pero en cambio aumenta la velocidad de flujo total". (McCabe, Harriot, & Smith, 2007). Para una turbina estándar de pala plana, N_Q puede tomarse como 1.3.

- D_a : Diámetro del impelente en m .
- N : Velocidad de rotación en rev/s .

Entonces,

$$q = (1.3)(9)(0.098^3) = 0.011 \text{ m}^3/s$$

2.4.11 Tiempo de mezcla teórico según (Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, 2003)

La tasa de bombeo y el número de rotaciones determinan el tiempo de mezcla. El número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad es una función de la viscosidad del líquido.

$$t_{95} = \frac{n \cdot V}{q}$$

n : número de rotaciones para alcanzar el 95% de homogeneidad según la viscosidad

V : volumen del tanque m^3

q : Tasa de circulación m^3/s

Tabla 2-3: Índice de número de rotaciones para alcanzar el 95% de homogeneidad de la mezcla según la viscosidad del fluido

Número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad según la viscosidad				
Viscosidad (CP)	< 100	100 - 1000	1000 - 5000	> 5000
Numero de rotaciones para 95% de homogeneidad	3	10	50	> 100

(Fuente= (Paul, Atiemo-Obeng, Kresta, & North American Mixing Forum, 2003))

la viscosidad (μ): $1.5 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 1500 \text{ cp}$

$$t_{95} = \frac{50 \cdot 0.02}{0.011} = 90.9 \text{ s}$$

y para alcanzar el 99% de homogeneidad teórica de mezcla es mediante la ecuación:

$$t_{99} = 1.537(t_{95}) = 139.7 \text{ s}$$

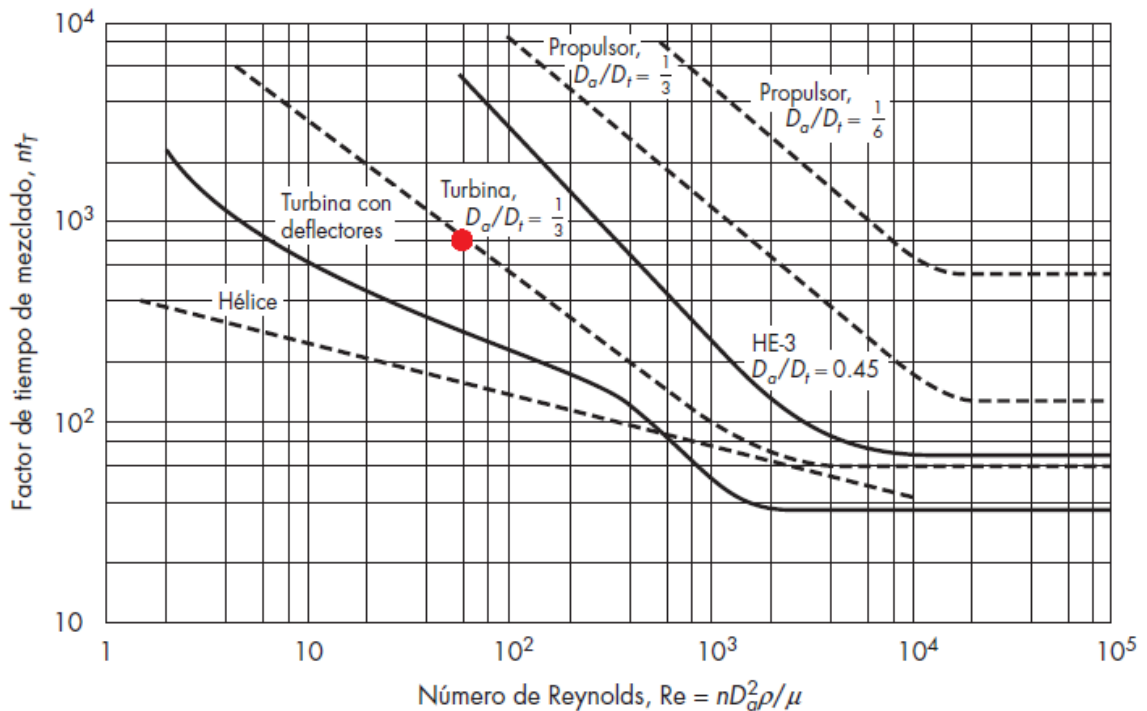
2.4.12 Factor adimensional de mezclado teórico para líquidos miscibles

Aunque ya sabemos que el tiempo de agitación actual del tanque agitado es de 60 minutos, se va a obtener un tiempo de mezcla teórico. “Los cálculos basados en este modelo muestran que debería alcanzarse una mezcla esencialmente completa (99%) si el contenido del tanque circulase alrededor de cinco veces. El tiempo de mezclado puede, por lo tanto, predecirse a partir de las correlaciones para el flujo total producido por distintos impulsores.” (McCabe, Harriot, & Smith, 2007)

$$f_t = \frac{t}{T} \frac{(nDa)^{\frac{2}{3}} (g)^{\frac{1}{6}} (Da)^{\frac{1}{2}}}{(H)^{\frac{1}{2}} (Dt)^{\frac{3}{2}}} = nt_T \left(\frac{Da}{Dt} \right)^2 \left(\frac{Dt}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{g}{n^2 Da} \right)^{\frac{1}{6}}$$

Entonces; según la tabla de tiempos de mezclado en tanques agitados.

Figura 2-10 Factor tiempo contra número de Reynolds para según la geometría del tanque agitador



(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

Las líneas discontinuas son para tanques sin deflectores; las líneas continuas son para tanques con deflectores. El nt_T de un impelente de turbina para un tanque sin deflectores es aproximadamente 900. "Los tiempos de mezcla son apreciablemente mayores cuando los números de Reynolds están comprendidos en el intervalo de 10 a 1 000, aunque el consumo de potencia no es muy diferente que el correspondiente al intervalo de flujo turbulento." (McCabe, Smith, & Harriott, 1991)

para; $N_{Re} = 81.826 = 900$

y con una velocidad de 9 rev/s

el nt_T es aproximadamente de 900 entonces,

$$t_T = \frac{900}{9} = 100 \text{ s}$$

2.4.13 Calidad del mezclado

La velocidad lineal superficial la tasa volumétrica de circulación interna por unidad de sección transversal del tanque es adoptada como una medida de la calidad del mezclado. (Walas, 1990) Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{q}{\text{Area del tanque}}$$

$$V = \frac{0.011}{\pi \frac{(0.294^2)}{4}} = 0.16 \frac{m}{s} = 0.54 \text{ ft/s}$$

Entonces, teniendo en cuenta la tabla del desempeño del mezclado en sistemas líquidos según la velocidad lineal superficial de (Walas, 1990)

Tabla 2-4: Desempeño de mezclado en el tanque agitador teniendo en cuenta su velocidad lineal superficial.

Desempeño de mezclado según la velocidad lineal superficial	
Pie/s	Descripcion
0.1 - 0.2	Bajo grado de agitacion
	a) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de la gravedad especifica sea igual a 0.1.
	b) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad si la relacion de viscosidades sea menor a 100
	c) Establecera el movimiento del liquido a travez del recipiente
	d) producira una superficie plana pero en movimiento
0.3 - 0.6	Agitacion moderada. Caracteristica de la mayoria de la agitacion utilizada en el procesamiento quimico; una velocidad de 0.6 pie/s
	a) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de la gravedad especifica sea igual a 0.6
	b) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad si la relacion de viscosidades sea menor a 10.000
	c) Suspendera trazas de solido (menos del 2%) con velocidades de cedimentacion de 2 - 4 pies/min
	d) producira una superficie ondulante a bajas viscosidades
0.7 - 1.0	Alto grado de agitacion; a una velocidad de 1.0 pie/s
	a) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de la gravedad especifica sea igual a 1.0
	b) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad si la relacion de viscosidades sea menor a 100.000
	c) Suspendera trazas de solido (menos del 2%) con velocidades de cedimentacion de 4 - 6 pies/min
	d) producira una superficie ondulada a bajas viscosidades

(Fuente: (Walas, 1990))

La velocidad superficial que presenta es una agitación excesiva para la geometría del tanque y para la viscosidad del líquido.

3. Capítulo Diseño tanque agitador nuevo

3.1 Datos de entrada

El Objetivo de este tanque es lograr una mayor capacidad de mezcla con las mismas condiciones de flujo anterior del tanque.

Tabla 3-1: Datos de las condiciones de agitación del tanque a diseñar

<i>Datos de entrada</i>	
<i>Fluido a agitar</i>	<i>Fertilizante Natural</i>
<i>Densidad fluido</i>	<i>1420 kg/m³</i>
<i>Viscosidad máxima</i>	<i>1.5 Pa·s</i>
<i>Presión de operación</i>	<i>1bar abs.</i>
<i>Temperatura de trabajo</i>	<i>19°C/ 28°C</i>
<i>Diámetro del estanque</i>	<i>0.5030 m</i>
<i>Altura del estanque</i>	<i>0.6030 m</i>
<i>Altura de relleno</i>	<i>0.5030 m</i>
<i>Volumen de llenado</i>	<i>0.1 m³</i>
<i>Fondo</i>	<i>curvo</i>

(Fuente:Propia)

Los parámetros de diseño más importantes a la hora de diseñar un tanque agitador el cual su correcto funcionamiento depende de la viscosidad, la densidad, tiempo de agitación, velocidad, temperatura, tipo de régimen (laminar, turbulento o de transición) y la geometría del fondo del estanque.

3.2 Geometría del tanque nuevo

para la geometría del tanque se utilizaron las medidas estándar que se fijaron. Donde se busca que la capacidad volumétrica que tenga este tanque sea de 0.1 m^3 (100 Litros). (Anexo A).

Entonces, si teniendo en cuenta la ecuación de volumen del cilindro:

$$V_c = \pi \left(\frac{Dt}{2} \right)^2 h$$

Donde,

V_c : Volumen del cilindro

Dt : Diámetro del tanque

h : Altura del tanque

$$V_c = \pi \frac{Dt^2}{4} h$$

$$0.1 = \pi \frac{Dt^2}{4} h$$

$$(0.1)(4) = \pi Dt^2 h$$

Sin embargo,

$$\frac{H}{Dt} = 1$$

Entonces,

$$(0.1)(4) = \pi Dt^2 (Dt)$$

$$(0.4) = \pi Dt^3$$

$$Dt^3 = \frac{(0.4)}{\pi}$$

$$Dt = \sqrt[3]{\frac{(0.4)}{\pi}}$$

$$Dt = 0.5030 \text{ m}$$

$$H = Dt = 0.5030 \text{ m}$$

$$Da = \frac{Dt}{3} = 0.167 \text{ m}$$

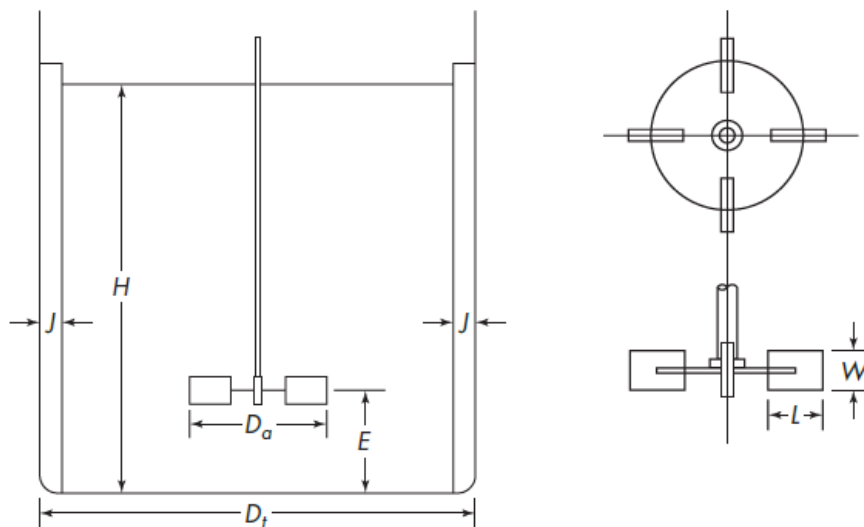
$$j = \frac{Dt}{12} = 0.041 \text{ m}$$

$$E = \frac{Dt}{3} = 0.167 \text{ m}$$

$$W = \frac{Da}{5} = 0.0334 \text{ m}$$

$$L = \frac{Da}{4} = 0.0417 \text{ m}$$

Figura 3-1: Medidas estándar de tanque agitador tipo turbina

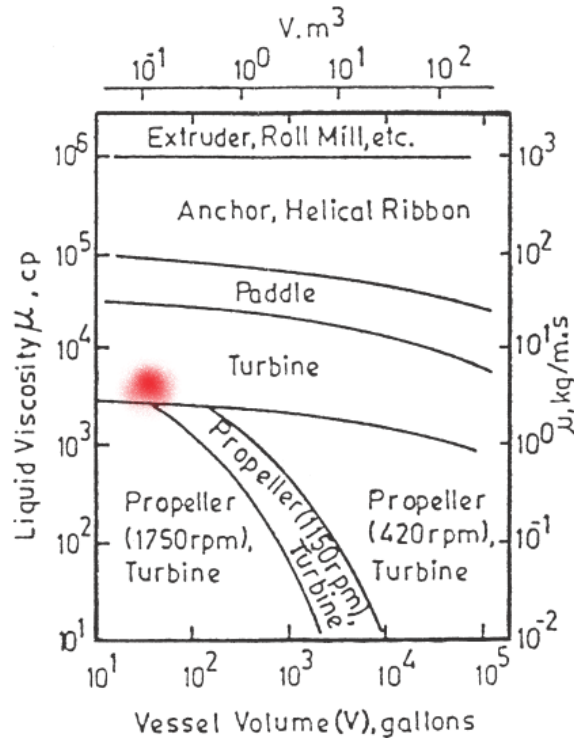


(Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 1991))

3.3 Impelente

Esta grafica que presenta el volumen horizontalmente contra la viscosidad del fluido, al unir los dos puntos se obtiene el tipo de impelente indicado.

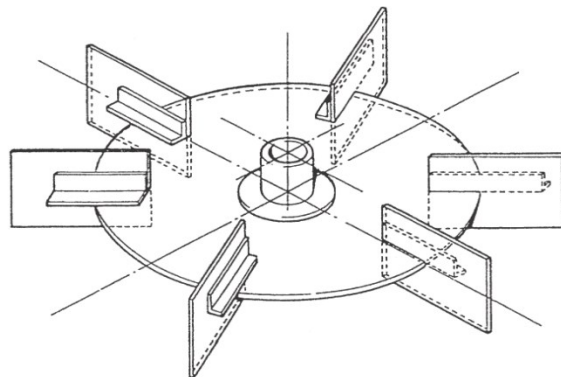
Figura 3-2: Grafica de volumen del tanque contra viscosidad para la selección del impelente.



(Fuente: (Penny, 1970))



Se definió utilizar un impelente de turbina tipo disco con 6 hojas planas ya que este impulsor trabaja para fluidos de baja viscosidad promedio de hasta 10 Pa.s con una velocidad tangencial de 3 a 7 m/s y descargando un tipo de flujo radial, además trabaja especialmente para régimen de transición o turbulentos. Este tipo de agitador resulta más económico y fácil de construir que un agitador de hélice o de turbina con hojas inclinadas.

Figura 3-3: Impelente tipo turbina de disco con 6 hojas planas



(Fuente: (Penny, 1970))

Tabla 3-2 : Características del impelente tipo turbina de disco con hojas planas

Impeller	Flow Pattern	Name and description	Applications
		D-6 Flat-blade disc turbine (Rushton turbine)	Gas dispersion, low and intermediate gas flows, Liquid-liquid dispersion, $N_p = 5.5$, $N_q = 0.75$

(Fuente: (Penny, 1970))

3.4 Deflectores

Las placas deflectoras son unos elementos soldados en las paredes radialmente de la parte interior del tanque y se usan cuando existe un agitador mecánico. Con los deflectores se logra una mayor turbulencia y una mejor mezcla del fluido, suelen utilizarse cuatro deflectores en la mayoría de configuraciones excepto en tanque de geometrías muy grandes.

Para números de Reynolds bajos (<10) cuando el tanque tiene régimen de flujo laminar el tanque consume la misma energía con o sin deflectores. Para número de Reynolds mayores a 10 con régimen de flujo de transición o turbulentos es necesaria la utilización de estas placas.

Para este tanque se utilizarán 4 placas deflectoras con el fin de que no se cree vórtice y sus medidas serán la doceava parte del diámetro del tanque y se realizaran los cálculos teniendo en cuenta la utilización de las mismas,

3.5 Números Adimensionales

Como lo que se busca es que el tanque de 100 L presente el mismo régimen de flujo que el de 20 L, cuyo número de Reynolds es de 81.826, donde el régimen que presenta el tanque agitador es de transición ya que es $10 < 81.826 < 10000$, mostrándose turbulento en el impulsor y laminar en las partes más recónditas del tanque.

3.5.1 Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{Da^2 N \rho}{\mu}$$

- N_{Re} : 81.826
- Da : 0.098 m
- N : Velocidad de agitación en *rev/s*
- ρ : 14020 kg/m^3
- μ : 1.5 $kg/m \cdot s$

como se quiere mantener el mismo régimen de flujo del tanque anterior el N_{Re} de 81.826 se mantiene y así obtenemos la velocidad del nuevo tanque.

$$N = \frac{N_{Re} \mu}{Da^2 \rho}$$

$$N = \frac{(81.826)(1.5)}{(0.098)^2 (14020)} = 3.1 \text{ rev/s (rps)} = 186 \text{ rev/min (rpm)}$$

3.5.2 Cálculo del número de potencia

N_p : Numero de potencia

P : Potencia en J/s o Watts

N : 9 *rev/s*

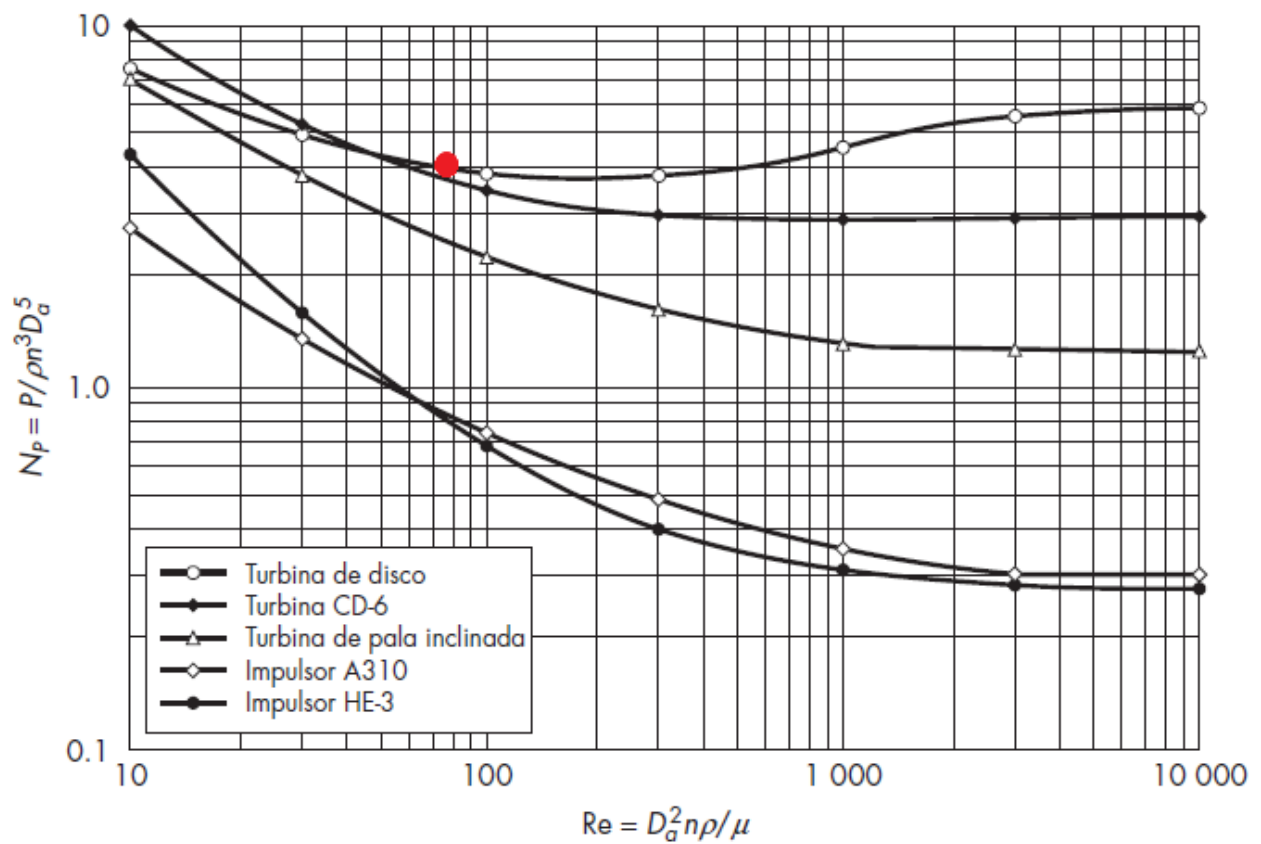
Da : 0.098 en m

ρ : 1420 kg/m^3

$$N_p = \frac{P}{N^3 Da^5 \rho}$$

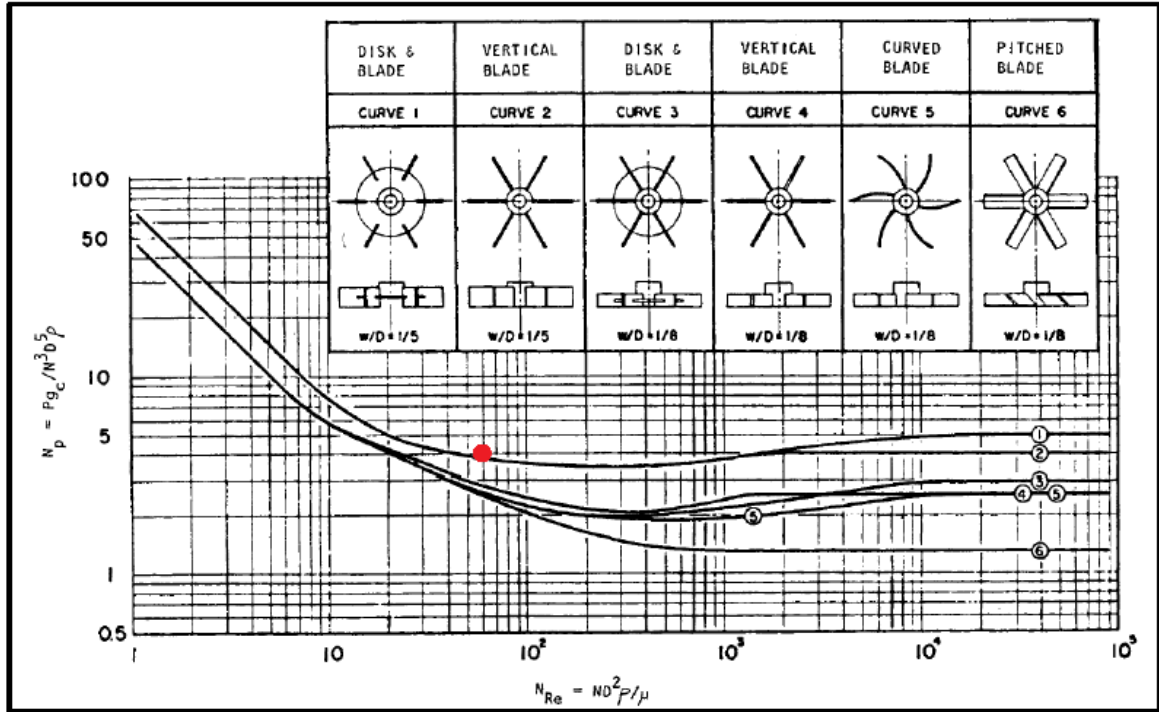
Donde N_p lo calculamos por tablas para turbina de disco de 6 hojas planas

Figura 3-4: Cálculo del Número de potencia según el número de Reynolds para impelente tipo turbina de disco.



(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

Figura 3-5: Calculo del Numero de potencia según el número de Reynolds para impelente tipo turbina de disco.



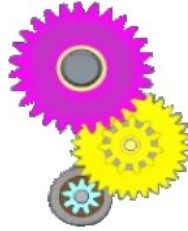
(Fuente: (Walas, 1990))

$$P = N_p (N^3 D a^5 \rho)$$

$$P = (5.5)(3.1^3)(0.167^5)(1420) = 30.22W = 0.04 Hp$$

3.5.3 Motor

Este elemento debe cumplir con las condiciones de un elemento mecánico expuesto a la intemperie y a la humedad. Teniendo en cuenta el cálculo de potencia requerida por el agitador que fue de 0.04 Hp con un motor de 0.5 hp monofásico 110/220V donde su velocidad sincrónica es de 1800 rpm, ya que son los más fáciles de conseguir añadiéndole una caja reductora de velocidad con una reducción:

Figura 3-5: Relación de engranajes para la reducción de las RPM

(Fuente: Propia)

- Piñón motor (conductor)(azul): Z9
- Rueda (conducida)(amarillo): Z30
- Piñón (conductor)(amarillo): Z9
- Engranaje de arrastre (conducido): Z27

$$i = \frac{9 \cdot 9}{30 \cdot 27} = 0.1$$

$\frac{1}{i} = 8.18$; donde i es la reducción que es la inversa a la relación de transmisión

Y con un motor con velocidad sincrónica de 1800 rpm.

$$Vs = Ve \cdot i = 1800 \text{ rpm} \cdot 0.1 = 180 \text{ rpm}$$

Para los tanques agitados con impelentes de turbina las velocidades medias van de 100 a 300 rpm por lo cual este tanque trabajará a velocidades medias

3.5.4 Flujo interno teórico del tanque nuevo (q)

Es la cantidad de flujo perpendicular al área de descarga del impelente. También es llamada la tasa de circulación interna, se representa por la ecuación:

$$q = N_Q N D a^3$$

- q : Tasa de circulación.
- N_Q : es constante para cada tipo de impulsor. Esto permite calcular el flujo de descarga desde la punta del impulsor y no el flujo total generado. “La corriente de alta velocidad del líquido que abandona la punta del impulsor arrastra algo del líquido global que se mueve con lentitud y que desacelera el chorro, pero en cambio

aumenta la velocidad de flujo total". (McCabe, Harriot, & Smith, 2007). Para una turbina estándar de pala plana, N_Q puede tomarse como 1.3.

- D_a : Diámetro del impelente en m .
- N : Velocidad de rotación en rev/s .

Los datos para los recipientes con deflectores se han correlacionado usando el número de flujo adimensional NQ :

Tabla 3-3: Numero de flujo estándar para impelentes

$N_Q = 0.5$ propulsor marino (paso = diámetro)

$N_Q = 0.75$ turbina de seis aspas con disco ($W/D_a = \frac{1}{5}$)

$N_Q = 0.5$ turbina de seis aspas con disco ($W/D_a = \frac{1}{8}$)

$N_Q = 0.75$ turbina con aspas inclinadas ($W/D_a = \frac{1}{5}$)

(Fuente: (Couper, Roy Penney, Fair, & Walas, 2012))

Entonces,

$$q = (0.75)(3.1)(0.167^3) = 0.010 \text{ m}^3/s$$

3.5.5 Tiempo de mezcla teórico según (Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, 2003) dependiendo la viscosidad del fluido

La tasa de bombeo y el número de rotaciones determinan el tiempo de mezcla. El número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad es una función de la viscosidad del líquido.

$$t_{95} = \frac{n \cdot V}{q}$$

n : numero de rotaciones para alcanzar el 95% de homogeneidad según la viscosidad

V : volumen del tanque m^3

q : Tasa de circulación m^3/s

Tabla 3-4: Índice de numero de rotaciones para alcanzar el 95% de homogeneidad de la mezcla según la viscosidad del fluido

Número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad según la viscosidad				
Viscosidad (CP)	< 100	100 - 1000	1000 - 5000	> 5000
Numero de rotaciones para 95% de homogeneidad	3	10	50	> 100

(Fuente: (Paul, Atiemo-Obeng, Kresta, & North American Mixing Forum, 2003))

la viscosidad (μ): $1.5 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 1500 \text{ cp}$

$$t_{95} = \frac{50 \cdot 0.1}{0.010} = 500 \text{ s}$$

y para alcanzar el 99% de homogeneidad teórica de mezcla es mediante la ecuación:

$$t_{99} = 1.537(t_{95}) = 1.537(500) = 768.5 \text{ s}$$

3.5.6 Factor adimensional de mezclado teórico para líquidos miscibles dependiendo la geometría del fluido

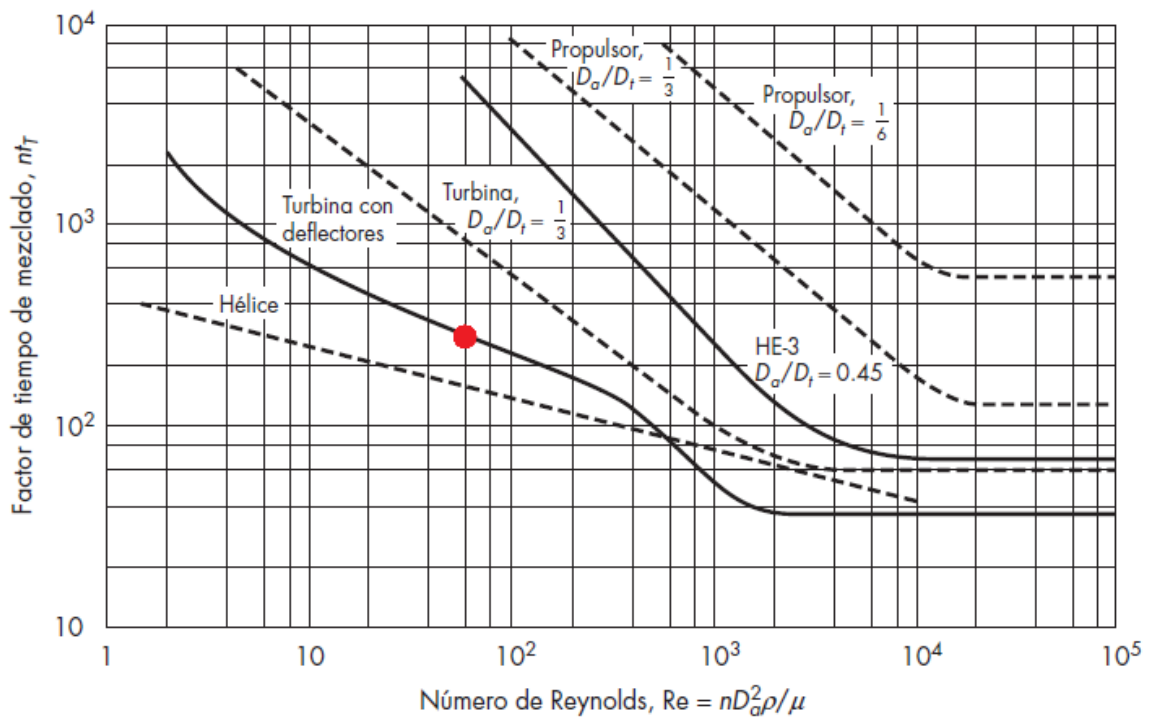
Aunque ya sabemos que el tiempo de agitación actual del tanque agitado es de 60 minutos, se va a obtener un tiempo de mezcla teórico. "Los cálculos basados en este modelo muestran que debería alcanzarse una mezcla esencialmente completa (99%) si

el contenido del tanque circularse alrededor de cinco veces. El tiempo de mezclado puede, por lo tanto, predecirse a partir de las correlaciones para el flujo total producido por distintos impulsores.” (McCabe, Harriot, & Smith, 2007)

$$f_t = \frac{t}{T(nDa)^{\frac{2}{3}}(g)^{\frac{1}{6}}(Da)^{\frac{1}{2}}} = nt_T \left(\frac{Da}{Dt}\right)^2 \left(\frac{Dt}{H}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{g}{n^2 Da}\right)^{\frac{1}{6}}$$

Entonces; según la tabla de tiempos de mezclado en tanques agitados.

Figura 3-6: Factor tiempo contra número de Reynolds para según la geometría del tanque agitador



(Fuente: (McCabe, Harriot, & Smith, 2007))

Las líneas discontinuas son para tanques sin deflectores; las líneas continuas son para tanques con deflectores. El nt_T de un impelente de turbina para un tanque con deflectores es aproximadamente 500.

para; $N_{Re} = 81.826$

y con una velocidad de 3.1 *rev/s*

el nt_T es aproximadamente de 500 entonces,

$$t_T = \frac{500}{3.1} = 161 \text{ s}$$

Teniendo en cuenta que estos cálculos están hechos para el tanque con deflectores por ende no se crea vórtice ni se acumula material, si no, que ayuda a mejor mezclado por la turbulencia y la transferencia de calor.

3.5.7 Calidad del mezclado

La velocidad lineal superficial la tasa volumétrica de circulación interna por unidad de sección transversal del tanque es adoptada como una medida de la calidad del mezclado. (Walas, 1990) Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{q}{\text{Area del tanque}}$$

$$V = \frac{0.010}{\pi \frac{(0.5030^2)}{4}} = 0.05 \frac{m}{s} = 0.164 \text{ ft/s}$$

Tabla 3-3: Desempeño de mezclado en el tanque agitador teniendo en cuenta su velocidad lineal superficial.

Desempeño de mezclado según la velocidad lineal superficial	
Pie/s	Descripcion
0.1 - 0.2	Bajo grado de agitacion
	a) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de la gravedad especifica sea igual a 0.1.
	b) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad si la relacion de viscosidades sea menor a 100
	c) Establecera el movimiento del liquido a travez del recipiente
	d) producira una superficie plana pero en movimiento
0.3 - 0.6	Agitacion moderada. Caracteristica de la mayoria de la agitacion utilizada en el procesamiento quimico; una velocidad de 0.6 pie/s
	a) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de la gravedad especifica sea igual a 0.6
	b) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad si la relacion de viscosidades sea menor a 10.000
	c) Suspendera trazas de solido (menos del 2%) con velocidades de cedimentacion de 2 - 4 pies/min
	d) producira una superficie ondulante a bajas viscosidades
0.7 - 1.0	Alto grado de agitacion; a una velocidad de 1.0 pie/s
	a) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de la gravedad especifica sea igual a 1.0
	b) Mezclara liquidos miscibles a la uniformidad si la relacion de viscosidades sea menor a 100.000
	c) Suspendera trazas de solido (menos del 2%) con velocidades de cedimentacion de 4 - 6 pies/min
	d) producira una superficie ondulada a bajas viscosidades

(Fuente: (Waldas, 1990))

Entonces, teniendo en cuenta la tabla del desempeño del mezclado en sistemas líquidos según la velocidad lineal superficial de (Waldas, 1990) Donde se aprecia que tendrá un bajo grado de agitación acorde a la viscosidad del líquido.

3.6 Materiales

Para todos los componentes del tanque agitado como lo es el impelente, la plancha y las paredes del tanque agitador. Es recomendable usar el acero inoxidable 304 L, considerando el medio húmedo al cual estará expuesto el tanque, por su resistencia a la corrosión, resistencia a bajas y altas temperaturas, además, es usado en la industria para contenedores procesadoras de alimento y en la industria química para la producción de nitrógeno. Para la estructura exterior que soporta al conjunto agitador se define

utilizar acero al carbono previamente galvanizado. Esta estructura deberá soportar el peso propio del conjunto, además de los esfuerzos de torsión propios producidos por el motor al eje del agitador.

El espesor de las paredes calibre 16 el cual es el más utilizado y económico para estos tanques.

3.6.1 Características del acero

“Acero inoxidable autentico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo, doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.) Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.” (Carbone Stainless Steel)

Propiedades del acero inoxidable 304

Tabla 3-4: Composición química y propiedades mecánicas del acero 304 L

COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*
PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm ³)	7.9
MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm ²)	193,000
ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO
CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16
COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 ⁶ C ⁻¹)	16.0 – 17.30
INTERVALO DE FUSIÓN		13981454

PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm ²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm ²)	210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A₅) MIN	(%)	≥ 45	
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm ²)	160 / 180	160 / 180

(Fuente: (Carbone Stainless Steel))

3.7 Calculo del Diámetro del eje

La ecuación utilizada fue la ecuación para un eje sometido a torque constante y flexión reversible que es la siguiente:

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

Como para este eje no hay fuerzas que lo sometan a flexión por eso $M_a = 0$. Entonces,

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

$$P = T_m \omega$$

Donde,

N_f : Factor de seguridad

P : Potencia requerida

ω : Velocidad angular

T_m : Torque medio

S_y : Resistencia del material

$$P = T_m \omega$$

$$T_m = \frac{P}{\omega} = \frac{30.22 \text{ w}}{3.1 \text{ rev/s} \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \right)} = 1.55 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$d = \left[\frac{16\sqrt{3}(2.5)}{\pi} \left(\frac{1.55}{17 \cdot 10^6} \right) \right]^{\frac{1}{3}} = 0.012 \text{ m} = 1/2 \text{ ''}$$

Este eje deberá ser puesto en el medio del tanque el cual contará con placas deflectoras para evitar el vórtice.

4. Cotización de construcción del tanque

Para la propuesta de diseño de tanque agitador es importante saber el costo en pesos colombianos de la construcción del tanque agitador, por ende, se cotizaron con algunas empresas dedicadas al trabajo de metalurgia en Bogotá Colombia.

Tabla 4-1: Valor de la construcción del tanque a nuevo

Valores de fabricación del tanque agitador			
Empresa	Ubicación	Descripción	Valor
Osmagum	Bogotá D.c Barrio Ricaurte	Fabricación y construcción del tanque agitador con las medidas del diseño y con el motor de 1/5 hp con su respectiva reducción y pintura anticorrosiva. Valor agregado soporte en acero galvanizado móvil al estilo de palanca	\$ 3.200.000
Mundo Acero	Bogotá D.c Barrio Ricaurte	Fabricación y construcción del tanque agitador con las medidas del diseño y con el motor de 1/5 hp con su respectiva reducción y pintura anticorrosiva. Valor agregado soporte estático con cuatro apoyos soldados al tanque	\$ 2.800.000
Electrilab	Bogotá D.c Barrio Ricaurte	Fabricación y construcción del tanque agitador con las medidas del diseño y con el motor de 1/5 hp con su respectiva reducción y pintura anticorrosiva. Valor agregado soporte con 3 apoyos estáticos.	\$ 2.600.000
Inoxidables Mesa	Bogotá D.c Barrio Ricaurte	Fabricación y construcción del tanque agitador con las medidas del diseño y con el motor de 1/5 hp con su respectiva reducción y pintura anticorrosiva. Valor agregado soporte con 4 apoyos y ruedas para facilitar la movilidad.	\$ 2.800.000
ICEGAS	Bogotá D.c Barrio Ricaurte	Fabricación y construcción del tanque agitador con las medidas del diseño y con el motor de 1/5 hp con su respectiva reducción y pintura anticorrosiva. Valor agregado soporte con 3 apoyos estáticos.	\$ 2.500.000

(Fuente:propia)

5. Análisis de resultados

El diseño de este tanque es un diseño apropiado teniendo en cuenta los parámetros de diseño más importantes en un tanque que son la viscosidad, la densidad del tanque, velocidad, temperatura, modelo de flujo, tipo de régimen de flujo (laminar, turbulento o de transición) y la geometría del tanque y del fondo del tanque.

La primera diferencia es en su geometría además de tener mayor capacidad (100 L) que el tanque anterior (20 L) y diseñado con la geometría estándar apropiada para tanques agitados, el fondo del tanque actual es de fondo plano y el fondo del tanque a diseñar es de fondo redondeado, no es plano, con el fin de eliminar rincón de donde no penetrarían las corrientes del fluido y evitar que se acumule material.

El material de construcción que se escogió es un acero inoxidable autentico el cual todas las partes del tanque agitador deberán ser construidas con este acero ya que, considerando el medio húmedo al cual estará expuesto el tanque, por su resistencia a la corrosión, resistencia a bajas y altas temperaturas, además, es usado en la industria para contenedores procesadoras de alimento y en la industria química para la producción de nitrógeno. Para la estructura exterior que soporta al conjunto agitador se define utilizar acero al carbono previamente galvanizado. Esta estructura deberá soportar el peso propio del conjunto, además de los esfuerzos de torsión propios producidos por el motor al eje del agitador.

El tipo de flujo, en el tanque actual con el que cuenta la empresa de 20 L es un tanque con un tipo de flujo radial, pero sin deflectores y con alta turbulencia por lo que causa vórtice, es decir, cuando en un tanque se crea este efecto las partículas del fluido caen en la parte central del fondo del tanque y en vez de mezclarse se produce la acción contraria que es concentración. En el tanque nuevo cuenta con 4 placas deflectoras con el fin de evitar el vórtice y se obtenga un mejor mezclado.

El tipo de impelente del tanque con el que cuenta la empresa actualmente es un impelente tipo turbina de hojas planas cerrado según (Agitación mecánica Conceptos útiles para mejores prácticas de agitación mecánica en el laboratorio., 2011) que el cual tienen un impelente tipo turbina de hojas inclinadas cerrado para dispersión de sólidos y líquidos pero que entre las configuraciones estándar no se encuentra este impelente de turbina para hacer los cálculos. El nuevo tanque cuenta con un impelente tipo turbina de disco con 6 hojas planas el cual se encuentra en las configuraciones estándar de los libros de operaciones unitarias, con el cual se realizaron todos los cálculos y donde es un

impelente apropiado para el proceso de agitación teniendo en cuenta el rango de viscosidad que maneja, volumen del tanque y su funcionamiento que es para mezcla de líquidos miscibles.

Para la Calidad del mezclado, teniendo en cuenta el desempeño de mezclado según la velocidad lineal superficial y la viscosidad para un líquido de esas características y para mezcla de líquidos miscibles para tener un mejor desempeño en la calidad del mezclado debe estar entre 0.1 y 0.2 ft/s que es un bajo grado de agitación, para viscosidades menores a 100 Pa el cual el tanque diseñado presento una velocidad lineal superficial de 0.16 ft/s. En el tanque viejo se presenta una velocidad lineal superficial de 0.54 ft/s que presenta una agitación media, apta para mezcla de líquidos miscibles con viscosidades menores 10.000 Pa.

En cuanto a los números adimensionales, como lo que se busca es mantener las mismas condiciones de agitado como el régimen del flujo, pero buscando un mejor mezclado y un diseño apropiado teniendo en cuenta los parámetros de diseño mencionados anteriormente. El número de Reynolds es el mismo en los dos tanques.

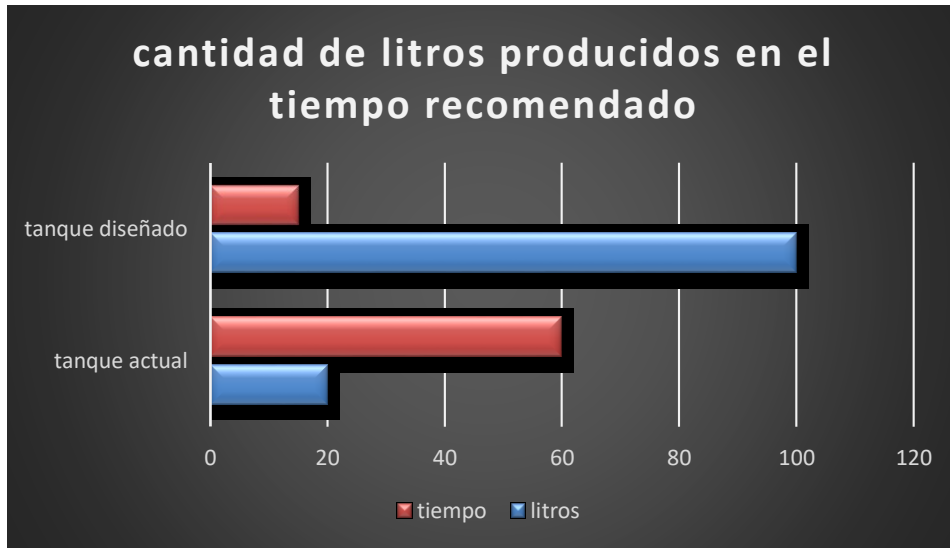
En el Tiempo de mezcla teórico según (Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, 2003) dependiendo la viscosidad en el tanque de 20 L el resultado es de 137 s para alcanzar el 99% de homogeneidad en la mezcla y en el tanque diseñado el resultado es de 768 s, donde entre mayor sea la geometría del tanque dependiendo su viscosidad, mayor será el tiempo de mezclado.

En el factor adimensional de mezclado teórico para líquidos miscibles el tiempo de mezcla del tanque de 20 L sin deflectores es de 100 s y en el tanque diseñado para un tanque con deflectores es de 161 s, lo cual concluimos que esto es gracias a que los deflectores aumentan la transferencia de energía al fluido por eso se mezcla en un tiempo teórico bastante cercano al tiempo teórico que presenta el tanque actual de 20 L.

La construcción del tanque agitado oscila entre los 2 millones y los 3 millones dependiendo del soporte que la empresa desee, si es movable o estático.

El más importante cambio con este proyecto es la relación de tiempo con cantidad de biofertilizante agitado. Es decir, si tenemos en cuenta el tiempo de agitación que la empresa viene utilizando que es de 60 minutos, en el balde donde se recogían las aguas lluvias para después fermentar la mezcla biológica y seguir con las etapas de la fabricación del biofertilizante, en el balde se recogen de 80 a 100 L, entonces el tiempo que se usa para obtener el producto final listo para agitar es aproximadamente 45 días y suponiendo que se recogieron y fermentaron los 100 Litros, como actualmente tienen un tanque agitador de 20 Litros demoran 5 horas para obtener la mezcla total de los 45 días de fermentaciones del biofertilizante, pero en el nuevo tanque solo van a tardar 1 hora.

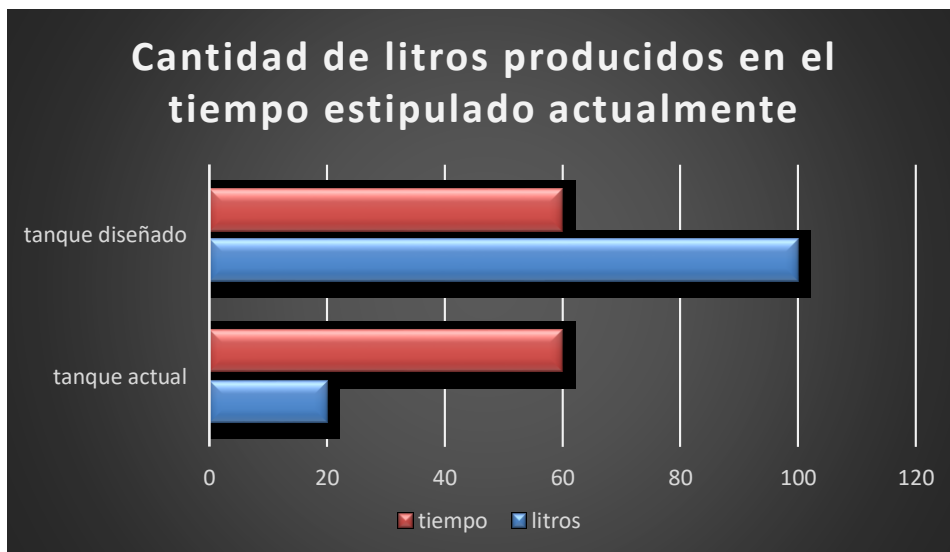
Figura 5-1: Cantidad de litros por tiempo recomendado



(Fuente: propia)

En conclusión, teniendo en cuenta el tiempo estipulado actualmente por la empresa donde indicamos que en el tanque diseñado con el tiempo recomendado se puede producir cinco veces más biofertilizante que con el tanque actual en 1/3 de tiempo menos. Se produce mayor cantidad de biofertilizante en menos tiempo.

Figura 5-2: Cantidad de litros por tiempo actual



(Fuente: propia)

Aquí podemos ver que la empresa puede fabricar 5 veces más biofertilizante en el mismo tiempo estipulado actualmente.

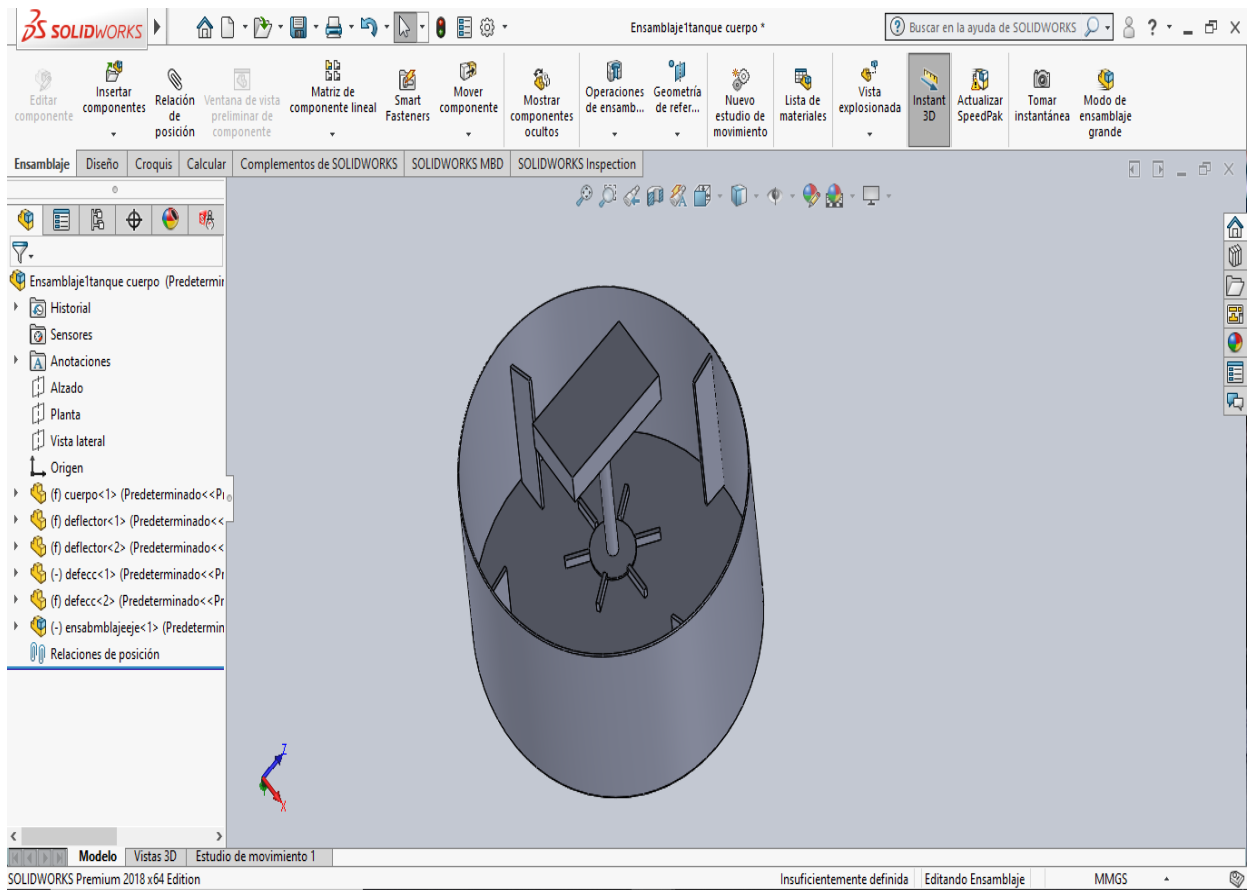
6. Conclusiones

Con este proyecto se logró estudiar el fluido y la agitación actual y compararlas con las características del tanque agitador nuevo ya que con este se logró mejorar en cuanto a capacidad de producción y en cuanto a mezcla con el uso de las placas deflectoras para evitar el vórtice y el uso del impelente tipo turbina de disco con 6 hojas planas. Las características del nuevo tanque mejoraran la producción, la calidad del mezclado y el tiempo del mezclado. Con el diseño de este tanque que es apropiado para la viscosidad y densidad del biofertilizante se lograron obtener que en el tanque actual de 20 L no se está logrando una agitación adecuada para la relación de viscosidad y densidad, ya que las revoluciones son altas para un tanque sin deflectores donde se creaba un efecto vórtice, el cual era agitado en un tiempo de 60 minutos. Con el diseño de este tanque agitador de mayor capacidad (100L) se lograron obtener unos tiempos de mezclado teóricos de entre 161 seg dependiendo su geometría con placas deflectoras y 768 seg dependiendo la viscosidad del biofertilizante, así que se recomienda que la agitación en el tanque diseñado sea de 15 minutos donde se podrá tener 5 veces más biofertilizante en menos tiempo comparado con el tanque actual de la empresa.

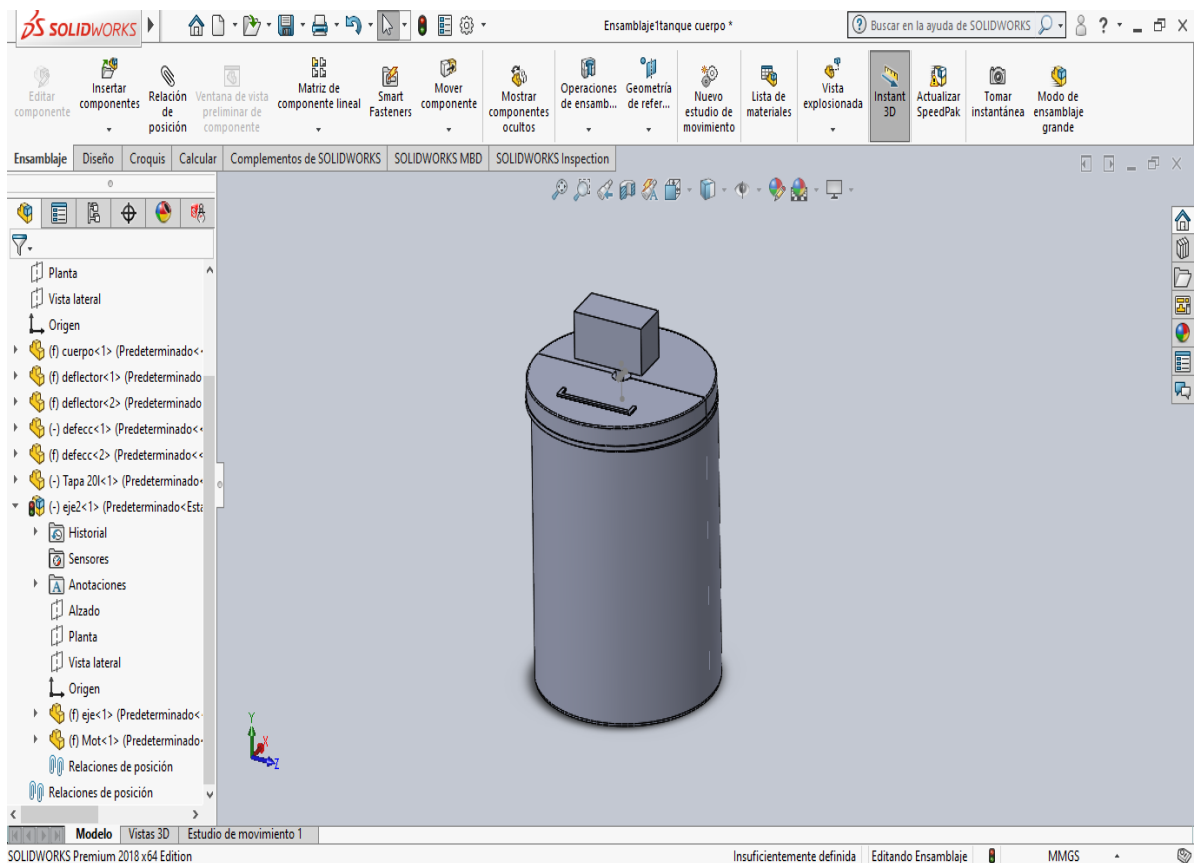
7.Recomendaciones

- En el momento de enviar a construir el tanque especificar si el tanque va a ser fijo o va a ser movible ya que hay una gran cantidad de variantes en cuanto a soportes de los tanques.
- Buscar tecnificar más el proceso con control de Ph.
- Estudiar el fluido y su mezcla para analizar si aumentando o disminuyendo la temperatura de la mezcla, mejora las propiedades del biofertilizante.
- Estudiar la mezcla y analizar si aplicando presión al tanque agitado mejora las propiedades del biofertilizante.
- Se recomienda disminuir el tiempo de mezclado de 3600 segundos a 1200 segundos, ya que solo se requieren entre 160 segundos según la geometría del tanque y 500 segundos según la viscosidad del fluido.

A. Anexo: Vista superior del cuerpo del tanque



B. Anexo: Vista frontal del cuerpo del tanque cerrado



Bibliografía

- Alfonso, K. (22 de enero de 2018). Colombia tiene 23 millones de hectáreas listas para cultivar. *LR LA REPUBLICA*.
- Carbone Stainless Steel. (s.f.). *Carbone Stainless Steel*. Obtenido de Carbone Stainless Steel: <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>
- Carreño Natalia, Vargas , A., Bernal, A. J., & Restrepo, S. (2007). Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros Phytophthora, Alternaria y Ralstonia en Colombia. *Agronomía Colombiana*.
- COLOMBIA, M. D. (s.f.). Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación importación, comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos. Bogota D.c, Colombia.
- Couper, J. R., Roy Penney, W., Fair, J. R., & Walas, S. M. (2012). *Chemical Process Equipment 3° Edition*. ELSEVIER BH.
- Diebel, J., Norda, J., & Kretchmer, O. (s.f.). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/about>
- Eduardo, R. F. (2016). Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes. Guayaquil, Ecuador.
- García Cortés, D., & Jáuregui-Haza. (2006). Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas. *Facultad de ingeniería universidad de Antioquia*, 16.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Ciudad de México: CONTINENTAL, S.A. DE C.V.
- María Elena Blanco Romero. (Junio de 2018). Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo. Barcelona, España.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química 4° edición*. Madrid: McGraw-Hill.

- McCabe, W., Harriot, P., & Smith, J. C. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química 7° edición*. Mexico D.F: McGraw-Hill.
- Natalí, A. B. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia . *Ingeciencia*, 11.
- Neyra Navarro, S. Z., Trigoso Saavedra, J. A., & Santa María Lomas, N. S. (2013). DISEÑO-CONSTRUCCION E INSTALACION DE TANQUE AGITADOR. Iquitos, Perú.
- Paul, E., Atiemo-Obeng, V., Kresta, S. M., & North American Mixing Forum. (2003). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. Wiley-Interscience.
- Penny, W. R. (1970). *Guide to Trouble-free Mixers*. Chem. Eng.
- Sierra, C. (22 de Junio de 2017). De lo antiguo a lo más moderno: Una mirada a la evolución de la fertilización de los suelos. *EL MERCURIO*.
- Torres Colunga, K. I., & Gonzales Ponce, M. (2015). DISEÑO DE UN TANQUE AGITADO PARA LA ETAPA DE HIDRÓLISIS EN LA PRODUCCIÓN DE MIEL DE AGAVE. *Jovenes en la ciencia*, 26.
- Uribe, V. C. (Octubre de 2013). DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS. Chile.
- util, R. q. (2011). Agitación mecánica Conceptos útiles para mejores prácticas de agitación mecánica en el laboratorio. *Revista química util* .
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipmen* . Butterworth-Heinemann.
- Zlokarnik, M. (2011). *Stirring: Theory and Practice*. Wiley-VCH.